



**HAL**  
open science

## Arles-Rhône 3. Un chaland gallo-romain du Ier siècle après Jésus-Christ

Sabrina Marlier

► **To cite this version:**

Sabrina Marlier. Arles-Rhône 3. Un chaland gallo-romain du Ier siècle après Jésus-Christ. CNRS Editions, 14, pp.330, 2014, Archaeonautica, Marie-Brigitte Carre, 978-2-271-07960-2. hal-04485972

**HAL Id: hal-04485972**

**<https://hal.science/hal-04485972>**

Submitted on 1 Mar 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# *Archaeonautica*

18 | 2014

*Arles-Rhône 3,  
un chaland gallo-romain  
du 1<sup>er</sup> siècle après Jésus-Christ*

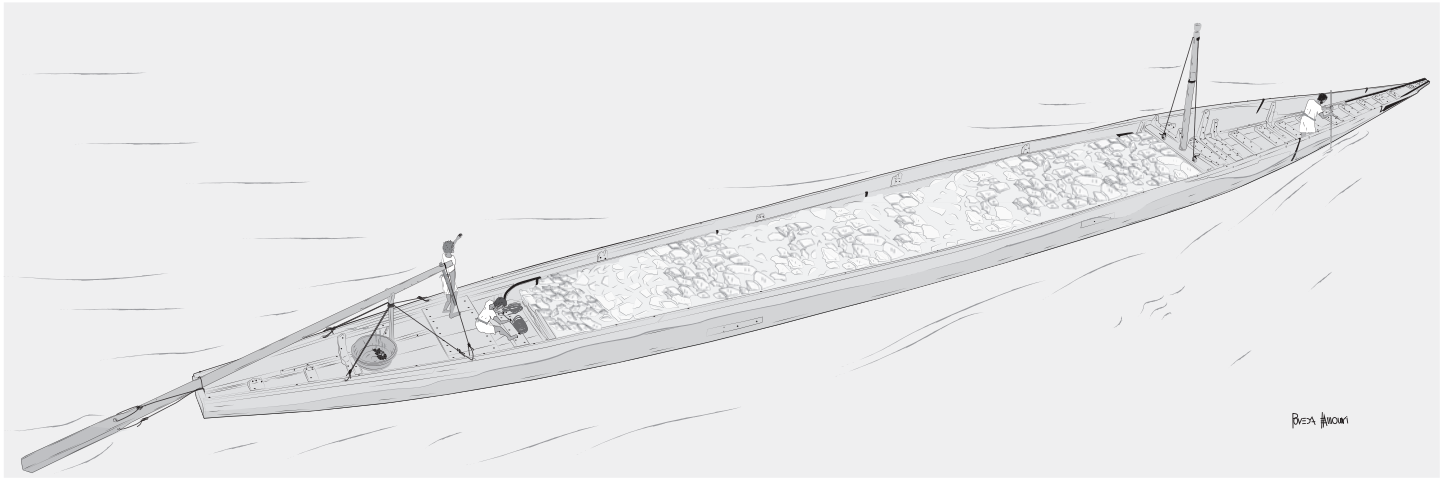
*Sous la direction de Sabrina Marlier*

CNRS EDITIONS



# ARCHAEOLOGICA

18 | 2014



# ARCHAEO NAUTICA

18 | 2014

*Arles-Rhône 3.*

Un chaland gallo-romain  
du 1<sup>er</sup> siècle après Jésus-Christ

Sous la direction de Sabrina Marlier

CNRS ÉDITIONS

15, rue Malebranche - 75005 Paris



# ARCHAEO NAUTICA

L'ARCHÉOLOGIE MARITIME ET NAVALE  
DE LA PRÉHISTOIRE À L'ÉPOQUE CONTEMPORAINE

---

La collection *Archaeonautica* publie les recherches d'archéologie sous-marine et subaquatique, françaises et étrangères, de la Préhistoire au XIX<sup>e</sup> siècle, sous la forme de monographies ou de numéros composés d'une suite d'articles variés. Une large part est faite aux publications de fouilles d'épaves, mais la collection comporte aussi des études spécifiques d'archéologie navale et portuaire, d'histoire économique, maritime, des techniques et des mentalités. *Archaeonautica* s'adresse aux chercheurs, archéologues, historiens, économistes, spécialistes d'archéologie et d'histoire maritime et navale.

## *Directrice :*

Marie-Brigitte Carre, CNRS, Centre Camille Jullian

## *Comité de rédaction :*

Pascal ARNAUD (IUF, Université de Lyon)  
Béat ARNOLD (Neuchâtel, Suisse)  
Gilbert BUTI (Aix-Marseille Université, TELEMME)  
Filipe CASTRO (Texas A&M University, USA)  
Jean-Yves EMPEREUR (CNRS, Centre d'Etudes Alexandrines)  
Dominique GARCIA (Inrap, Institut Universitaire de France, Aix-Marseille Université, CCJ)  
Michel L' HOUR (Ministère de la Culture, Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines)  
Xavier NIETO (Gérone, Espagne), Patrice POMEY (CNRS, Centre Camille Jullian)  
Eric RIETH (CNRS, LAMOP – Musée national de la Marine)  
Jean-Christophe SOURISSEAU (Aix-Marseille Université, CCJ)  
André TCHERNIA (EHESS, CCJ)  
Giuliano VOLPE (Université de Foggia, Italie)

## *Rédaction :*

Centre Camille Jullian  
Histoire et archéologie de la Méditerranée et de l'Afrique du Nord

## **Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme**

5, rue du Château de l'Horloge, BP 647  
13094 Aix-en-Provence cedex 2 (France)  
Tél. 04 42 52 42 68 – Fax : 04 42 52 43 75  
<http://ccj.cnrs.fr/>  
courriel : [archaeonautica@msh.univ-aix.fr](mailto:archaeonautica@msh.univ-aix.fr)



*Conseiller scientifique :* Éric Rieth

*CAO et DAO :* Pierre Poveda, Mourad El Amouri (Ipsa Facto)

*Relecture et mise aux normes :* Lucile Delavault

*Relecture et révision des textes :* Eric Rieth, Béat Arnold, Marie-Brigitte Carre, Patrice Pomey

*Traduction :* Colin Clement (Centre d'Etudes Alexandrines)

Les volumes 1, 1977 – 14, 1998 d'Archaeonautica sont en ligne sur le portail Persée :  
<http://www.persée.fr/web/revues/home/prescript/revue/nauti>

*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](mailto:cnrseditions@cnrseditions.fr)  
Site Internet : [www.cnrseditions.fr](http://www.cnrseditions.fr)

© CNRS ÉDITIONS, Paris, 2014 – Conseil général du Bouches-du-Rhône,  
Direction de la Culture, Musée départemental Arles antique  
ISBN : 978-2-271-07960-2  
ISSN : 0154-1854

Ouvrage publié avec la participation  
du ministère de la Culture et de la Communication,  
direction générale des patrimoines

*à monsieur Pomey*





# SOMMAIRE

<b>AUTEURS</b> .....	13
<b>CENTRES DE RECHERCHE ET SOCIÉTÉS</b> .....	15
<b>ABRÉVIATIONS</b> .....	16
<b>PRÉFACES</b> .....	17
PATRICE POMEY Directeur de Recherche émérite au CNRS. Ancien directeur du Centre Camille Jullian	
MICHEL L'HOUE Conservateur Général du Patrimoine. Directeur du Drassm. Membre de l'Académie de Marine	
XAVIER DELESTRE Conservateur Général du Patrimoine. Conservateur régional de l'archéologie. Direction régionale des affaires culturelles de Provence-Alpes-Côte d'Azur	
CLAUDE SINTÈS Conservateur en Chef du Patrimoine. Directeur du Musée départemental Arles antique	
<b>INTRODUCTION</b> .....	21
SABRINA MARLIER	
<b>CHAPITRE 1. HISTORIQUE DES MISSIONS ET DES RECHERCHES SUR L'ÉPAVE ARLES-RHÔNE 3</b>	
SABRINA MARLIER	
DE LA DÉCOUVERTE À LA FOUILLE PROGRAMMÉE.....	23
LA FOUILLE PROGRAMMÉE (2008-2010).....	28
LA FIN DE LA FOUILLE ET LE RELEVAGE DE L'ÉPAVE (2011).....	30
Le cadre de l'opération.....	30
Organigramme synthétique de l'opération.....	31
L'équipe du chantier de fouille-relevage.....	31
<b>CHAPITRE 2. MÉTHODOLOGIE. DE LA FOUILLE EN MILIEU SUBAQUATIQUE À L'ÉTUDE À TERRE : DÉFINITION DES CHÂNES OPÉRATOIRES MISES EN PLACE</b>	
FOUILLE SUBAQUATIQUE ET DOCUMENTATION.....	35
Difficultés des fouilles dans le Rhône.....	35
SABRINA MARLIER	
Fouille du dépotoir et documentation (2007-2011).....	36
DAVID DJAOUI, MOURAD EL AMOURI	
La conservation préventive du mobilier archéologique.....	38
ETHEL BOUQUIN, MARIE-LAURE COURBOULÈS, AURÉLIE MARTIN	

Fouille de l'épave et documentation (2007-2011) .....	40
SABRINA MARLIER ET SANDRA GRECK	
<b>LE RELEVAGE DE L'ÉPAVE</b> .....	46
Le démontage et le relevage des aménagements internes (2010 et 2011) .....	46
SABRINA MARLIER	
Le relevage des tronçons de l'épave (2011) .....	50
BENOÎT POINARD	
<b>ÉTUDE DES PIÈCES DE BOIS ET DES TRONÇONS DE L'ÉPAVE À TERRE</b> .....	54
Sur le chantier .....	54
SABRINA MARLIER, NICOLAS RANCHIN, SANDRA GRECK	
À l'atelier ARC-Nucléart et au laboratoire A-Corros .....	59
SABRINA MARLIER	
<b>CONCLUSION SUR LES MÉTHODES</b> .....	59
<b>CHAPITRE 3. LE CONTEXTE DE L'ÉPAVE</b>	
<b>LE CONTEXTE HISTORIQUE ET ARCHÉOLOGIQUE</b> .....	61
Le contexte historique : Arles au milieu du 1 <sup>er</sup> siècle ap. J.-C. ....	61
MARC HEIJMANS	
Le port d'Arles à l'époque romaine : un port fluviomaritime .....	62
SABRINA MARLIER	
Le contexte archéologique : le dépotoir portuaire recouvrant l'épave <i>Arles-Rhône 3</i> .....	63
DAVID DJAOUI	
<b>LE CONTEXTE PALÉOENVIRONNEMENTAL</b> .....	65
CLAUDE VELLA, CÉDRIC TOMATIS, OLIVIER SIVAN	
Introduction .....	65
Le chenal du Rhône dans la traversée d'Arles et le contexte géomorphologique.....	65
Les stratigraphies sédimentaires autour et sous l'épave .....	68
Les données granulométriques et leur traitement .....	69
Reconstitution du paléochenal du Rhône dans l'Antiquité .....	71
Discussion.....	72
Conclusion .....	73
<b>CHAPITRE 4. ENFOUISSEMENT DE L'ÉPAVE ET ACTIONS DE L'HOMME : DYNAMISME ET ÉTAT DE CONSERVATION DES VESTIGES</b>	
SABRINA MARLIER, SANDRA GRECK, HENRI BERNARD-MAUGIRON, PHILIPPE DE VIVIÉS	
<b>DYNAMISME D'ENFOUISSEMENT DE L'ÉPAVE ET DÉFORMATIONS</b> .....	75
<b>ÉTAT DE CONSERVATION DES VESTIGES ARCHITECTURAUX DANS L'EAU ET À LEUR SORTIE..</b>	76
<b>LE TRAITEMENT DE L'ÉPAVE ET SES INCIDENCES SUR LES VESTIGES ARCHITECTURAUX</b> .....	79
<b>CONCLUSION</b> .....	80

## CHAPITRE 5. LE CHALAND

<b>LA COQUE DU BATEAU : ÉTUDE ARCHITECTURALE</b> .....	81
Présentation et analyse du système architectural : une architecture de type « monoxyde-assemblée » .....	81
SABRINA MARLIER	
La monnaie votive du chaland .....	109
JOËL FRANÇOISE	
Les procédés d'étanchéité mis en œuvre dans le chaland <i>Arles-Rhône 3</i> .....	114
SABRINA MARLIER, FABIENNE MÉDARD, PAULINE BURGER, VALÉRIE ANDRIEU-PONEL, DAHVYA BELKACEM, PHILIPPE PONEL	
Les clous, éléments d'assemblage de l'ensemble des structures du chaland.....	136
SABRINA MARLIER, PHILIPPE DE VIVIÉS, JEAN-BERNARD MEMET, AVEC LA COLLABORATION DE JEAN-PAUL PERSY	
Les réparations.....	150
SABRINA MARLIER, FRANCK RICHARD, MATHIEU SAUVE, PIERRE-ARTHUR MOREAU	
Les aménagements internes.....	157
SABRINA MARLIER	
Marques au fer et graffites imprimés dans le bois du chaland <i>Arles-Rhône 3</i> : étude épigraphique.....	165
NICOLAS TRAN	
Le bois, matériau de construction : étude xylogologique, tracéologique et dendromorphologique du chaland <i>Arles-Rhône 3</i> .....	171
SANDRA GRECK, FRÉDÉRIC GUIBAL	
Principe et procédés de construction du chaland <i>Arles-Rhône 3</i> : une construction « sur sole ».....	202
SABRINA MARLIER, PIERRE POVEDA	
<b>PRÉSENTATION ET ANALYSE DU SYSTÈME MÉCANIQUE</b> .....	209
SABRINA MARLIER, PIERRE POVEDA	
La propulsion du chaland : le mât de halage et la question des perches et des rames éventuelles .....	209
La direction du chaland : la pelle de gouverne ou rame-gouvernail.....	213
<b>EN LIEN AVEC L'ARRIMAGE, LES MANŒUVRES ET L'AMARRAGE DU CHALAND : LE MATÉRIEL D'ACCASTILLAGE DU CHALAND</b> .....	216
Les cordages .....	216
SABRINA MARLIER, PIERRE POVEDA, SANDRA GRECK, FABIENNE MÉDARD	
Les perches .....	220
SABRINA MARLIER, PIERRE POVEDA, SANDRA GRECK	
Une équoirre ? .....	222
SABRINA MARLIER	
<b>RESTITUTION DES FORMES ET ÉTUDES HYDROSTATIQUES</b> .....	222
PIERRE POVEDA	
Méthodologie.....	222
Restitution des formes et du système mécanique.....	224
Études hydrostatiques et tonnage .....	228
<b>LA NAVIGATION DU CHALAND</b> .....	231
SABRINA MARLIER	

## CHAPITRE 6. MOBILIER DE BORD ET CARGAISON

LE MOBILIER DE BORD DU CHALAND <i>ARLES-RHÔNE 3</i> .....	233
L'étude du mobilier céramique: la vaisselle .....	233
DAVID DJAOUÏ, THIERRY MARTIN	
L'étude du mobilier en bois et en métal: l'outillage .....	241
SANDRA GRECK	
Le bois de chauffage et le foyer à bord.....	246
CARINE CENZON-SALVAYRE, SANDRA GRECK	
LA CARGAISON DU CHALAND <i>ARLES-RHÔNE 3</i> : UN CHARGEMENT DE PIERRES DE CONSTRUCTION .....	248
Étude géologique: nature et provenance des blocs de pierre de la cargaison .....	248
PHILIPPE BROMBLET, JÉRÉMIE BERTHONNEAU, LISE LEROUX, PIERRE GAUDON, VINCENT MERCURIO	
Étude archéologique.....	253
PIERRE EXCOFFON	

## CHAPITRE 7. DATATION, NAUFRAGE ET DURÉE DE VIE DU CHALAND *ARLES-RHÔNE 3*

LA DATATION DU CHALAND .....	259
La datation radiocarbone .....	259
La datation par le mobilier de bord.....	259
DAVID DJAOUÏ	
La datation dendrochronologique .....	260
FRÉDÉRIC GUIBAL, SANDRA GRECK	
La datation par la monnaie votive ?.....	263
JOËL FRANÇOISE	
La datation par la stratigraphie .....	263
CLAUDE VELLA	
Conclusions sur la date de construction et la date du naufrage.....	264
SABRINA MARLIER	
LA CAUSE DU NAUFRAGE.....	264
SABRINA MARLIER	
LA QUESTION DE LA DURÉE DE VIE D' <i>ARLES-RHÔNE 3</i> ET DE CELLE DE LA LONGÉVITÉ DES CHALANDS GALLO-ROMAINS DU BASSIN RHODANIEN.....	265
SABRINA MARLIER, ÉRIC RIETH	

## CHAPITRE 8. ORIGINE, FONCTION, ZONE DE VIE, ESPACE DE NAVIGATION ET ARMEMENT DU CHALAND

L'ORIGINE DU CHALAND: LE LIEU DE CONSTRUCTION PRÉSUMÉ.....	267
L'origine géographique des arbres .....	267
FRÉDÉRIC GUIBAL, SANDRA GRECK	
L'origine des poix d'étanchéité.....	268
PAULINE BURGER, VALÉRIE ANDRIEU-PONEL	
Conclusions sur le lieu de construction présumé .....	268
SABRINA MARLIER	

LA FONCTION DU CHALAND .....	270
SABRINA MARLIER, DAVID DJAOUI	
LA VIE À BORD .....	271
DAVID DJAOUI, SANDRA GRECK	
L'ESPACE DE NAVIGATION DU CHALAND ET LA QUESTION DE SON ARMEMENT .....	271
SABRINA MARLIER	
L'espace de navigation : un espace circonscrit à la section inférieure du Rhône ? .....	272
L'armement du chaland et l'organisation de la navigation sur le fleuve .....	275
la question du commanditaire et des marchandises transportées en navigation montante .....	276
Conclusion .....	278
 <b>CHAPITRE 9. LE CHALAND <i>ARLES-RHÔNE 3</i> DANS LA BATELLERIE GALLO-ROMAINE : ÉTUDE TYPOLOGIQUE ET INTERPRÉTATION HISTORIQUE</b>	
ÉRIC RIETH	
EN GUISE D'INTRODUCTION .....	279
RETOUR SUR LA TRADITION « RHÔNE-SAÔNE » .....	279
LE CHALAND <i>ARLES-RHÔNE 3</i> ET LA TRADITION « RHÔNE-SAÔNE » .....	281
LE CHALAND <i>ARLES-RHÔNE 3</i> ET LA CITÉ PORTUAIRE D'ARLES .....	285
CONCLUSION .....	287
 <b>CONCLUSION</b> .....	289
SABRINA MARLIER	
 <b>RÉSUMÉS</b> .....	291
 <b>ABSTRACTS</b> .....	298
 <b>ANNEXE 1. GLOSSAIRE</b> .....	305
 <b>ANNEXE 2. LE CHANTIER DE FOUILLE-RELEVAGE (2011) DE L'ÉPAVE <i>ARLES-RHÔNE 3</i>. CADRE ADMINISTRATIF ET FINANCIER</b> .....	309
 <b>ANNEXE 3. LA RESTAURATION ET LE REMONTAGE DU CHALAND</b> .....	311
HENRI BERNARD-MAUGIRON, PHILIPPE DE VIVIÉS	
 <b>ANNEXE 4. LES NUMÉROS DE FOUILLE ET LES NUMÉROS D'INVENTAIRE LIÉS AU CHALAND <i>ARLES-RHÔNE 3</i></b> .....	315
 <b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	317
 <b>REMERCIEMENTS</b> .....	329



# AUTEURS

## **Valérie ANDRIEU-PONEL**

Palynologue. Maître de conférences.  
Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale.  
Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université, IMBE UMR 7263, 13397, Marseille, France.  
valerie.andrieu-ponel@imbe.fr

## **Dahvya BELKACEM**

Technicien CNRS.  
Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale.  
Aix Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université, IMBE UMR 7263, 13397, Marseille, France.  
dahvya.belkacem@imbe.fr

## **Henri BERNARD-MAUGIRON**

Conservateur-Restaurateur.  
ARC-Nucléart.  
henri.bernard-maugiron@cea.fr

## **Jérémie BERTHONNEAU**

Géologue. Postdoctorant.  
Centre Interdisciplinaire des Nanosciences de Marseille.  
Aix Marseille Université, CNRS, CINaM UMR 7325, 13288, Marseille, France.  
Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine.  
berthonneau@cinam.univ-mrs.fr

## **Ethel BOUQUIN**

Conservatrice-restauratrice. Ipso Facto.  
ethelbouquin@yahoo.fr

## **Philippe BROMBLET**

Géologue. Ingénieur de recherche.  
Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine.  
philippe.bromblet@cicrp.fr

## **Pauline BURGER**

Chimiste. Postdoctorante.  
Département de Conservation et de Recherche Scientifique du British Museum.  
burgerpauline@gmail.com

## **Marie-Laure COURBOULÈS**

Conservatrice-Restauratrice.  
Musée départemental Arles antique/Conseil général des Bouches-du-Rhône.  
laure.courboules@cg13.fr

## **Carine CENZON-SALVAYRE**

Archéologue, anthracologue.  
carine.cenzon@gmail.com

## **David DJAOUI**

Archéologue territorial. Attaché de conservation.  
Musée départemental Arles antique/Conseil général des Bouches-du-Rhône.  
Chercheur associé au Centre Camille Jullian.  
david.djaoui@cg13.fr

## **Mourad EL AMOURI**

Archéologue. Ipso Facto.  
mourad.el-amouri@ips-o.fr

## **Pierre EXCOFFON**

Archéologue. Attaché de conservation.  
Service du Patrimoine de la ville de Fréjus.  
Chercheur associé au Centre Camille Jullian.  
p.excoffon@gmail.com

## **Joël FRANÇOISE**

Conservateur-Restaurateur. Directeur d'ARC-Numismatique.  
joelfrancoise13@gmail.com

## **Pierre GAUDON**

Géologue. Ingénieur.  
École des Mines d'Alès.  
Pierre.Gaudon@mines-ales.fr

## **Sandra GRECK**

Archéologue, xylologue. Ipso Facto.  
Chercheur associée à l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale et au Centre Camille Jullian.  
sandra.greck@ips-o.fr

## **Frédéric GUIBAL**

Dendrologue. Chargé de recherche CNRS.  
Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale.  
Aix Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université, IMBE UMR 7263, 13397, Marseille, France.  
frederic.guibal@imbe.fr

## **Marc HEIJMANS**

Archéologue. Ingénieur de recherche CNRS.  
Centre Camille Jullian.  
Aix Marseille Université, CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication, CCJ UMR 7299, 13094, Aix en Provence, France.  
heijmans@wanadoo.fr

## **Lise LEROUX**

Géologue. Ingénieur de recherche.  
Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques.  
lise.leroux@culture.gouv.fr

## **Sabrina MARLIER**

Archéologue. Chargée de mission.  
Musée départemental Arles antique/Conseil général des Bouches-du-Rhône.  
Chercheur associée au Centre Camille Jullian.  
sabrina.marlier@cg13.fr

**Aurélie MARTIN**

Conservatrice-Restauratrice.  
Musée départemental Arles antique/Conseil général des  
Bouches-du-Rhône.  
aurelie.martin@cg13.fr

**Thierry MARTIN**

Céramologue.  
thierry.martin.b@wanadoo.fr

**Fabienne MÉDARD**

Archéologue. Anatex.  
Chercheur associée au laboratoire d'Archéologie et histoire  
ancienne : Méditerranée – Europe (UMR 7044, Strasbourg).  
fabienne.medard@anatex.fr

**Jean-Bernard MÉMET**

Docteur en Sciences des Matériaux, spécialité corrosion.  
A-Corros.  
jbmemet@a-corros.fr

**Vincent MERCURIO**

Préparateur, Litholamelleur.  
Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du  
Patrimoine.  
vincent.mercurio@cicrp.fr

**Pierre-Arthur MOREAU**

Mycologue. Maître de conférences.  
EA 4483 Impact de l'environnement chimique sur la santé  
humaine.  
Laboratoire des sciences végétales et fongiques - Faculté des  
Sciences Pharmaceutiques et Biologiques - Université Lille 2.  
pierre-arthur.moreau@univ-lille2.fr

**Benoît POINARD**

Scaphandrier. Chef de chantier.  
O'Can.  
b.poinard@gmail.com

**Philippe PONEL**

Entomologiste. Chargé de recherche CNRS.  
Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et  
continentale.  
Aix Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université,  
IMBE UMR 7263, 13397, Marseille, France.  
philippe.ponel@imbe.fr

**Pierre POVEDA**

Archéologue. Ipso Facto.  
Chercheur associé au Centre Camille Jullian.  
pierre.poveda@gmail.com

**Nicolas RANCHIN**

Archéologue.  
nicolas.ranchindundas@gmail.com

**Franck RICHARD**

Mycologue. Maître de conférences.  
CEFE UMR 5175, CNRS – Université de Montpellier – Univer-  
sité Paul Valéry – EPHE.  
franck.richard@cefe.cnrs.fr

**Éric RIETH**

Archéologue. Directeur de recherche CNRS.  
Laboratoire de Médiévisique Occidentale de Paris/Université  
de Paris 1-CNRS.  
Musée national de la Marine.  
e.rieth.cnrs@gmail.com

**Mathieu SAUVE**

Généticien. Ingénieur d'étude au CNRS.  
CEFE UMR 5175, CNRS – Université de Montpellier – Univer-  
sité Paul Valéry – EPHE.  
mathieu.sauve@cefe.cnrs.fr

**Olivier SIVAN**

Géomorphologue. Chargé d'opération et de recherche Inrap.  
INRAP-CEPAM UMR 7264.  
oliviersivan@yahoo.fr

**Cédric TOMATIS**

Archéologue. Doctorant.  
Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géo-  
sciences de l'Environnement.  
Aix Marseille Université, CNRS, IRD, CDF, CEREGE UM 34,  
13545, Aix en Provence, France.  
cedric.tomatis@gmail.com

**Nicolas TRAN**

Professeur d'histoire romaine.  
Université de Poitiers, Institut Universitaire de France.  
nicolas.tran@univ-poitiers.fr

**Claude VELLA**

Géomorphologue. Maître de conférences.  
Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géo-  
sciences de l'Environnement.  
Aix Marseille Université, CNRS, IRD, CDF, CEREGE UM 34,  
13545, Aix en Provence, France.  
vella@cerege.fr

**Philippe de VIVIÉS**

Conservateur-restaurateur de Biens Culturels. A-Corros.  
devivies@a-corros.fr



# CENTRES DE RECHERCHE ET SOCIÉTÉS

## **A-Corros expertises**

23 chemin de Séverin  
13200 Arles  
www.a-corros.fr

## **Anatex**

5 rue du maréchal Foch  
68510 Sierentz

## **ARC-Nucléart - CEA/Grenoble**

17 rue des Martyrs  
38054 Grenoble Cedex 9

## **ARC-Numismatique**

33 rue Jaubert  
13005 Marseille

## **Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE)**

1919 route de Mende  
34293 Montpellier cedex 5

## **Centre Camille Jullian (CCJ)**

Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme  
5 rue du Château de l'Horloge  
BP 647  
13094 Aix-en-Provence

## **Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine (CICRP)**

21 rue Guibal  
13003 Marseille

## **Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE)**

Europôle Méditerranéen de l'Arbois  
Avenue Louis Philibert  
BP 80  
13545 Aix-en-Provence cedex 04

## **École des Mines d'Alès (EMA)**

6 avenue de Clavières  
30319 Alès cedex

## **Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques Université Lille**

Nord de France BP 83  
59006 Lille Cedex

## **Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale (IMBE)**

Europôle Méditerranéen de l'Arbois  
BP 80  
13545 Aix-en-Provence Cedex 4

## **Ipsso Facto**

10 rue Guy Fabre  
13001 Marseille

## **Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (LRMH)**

29 rue de Paris  
77420 Champs-sur-Marne

## **Laboratoire des sciences végétales et fongiques**

Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques  
Université Lille 2  
BP 83  
59006 Lille cedex

## **Musée départemental Arles antique/CG13**

Presqu'île du cirque romain  
13200 Arles

## **Musée national de la Marine**

Palais de Chaillot  
17 Place du Trocadéro  
75116 Paris

## **O'Can**

Les Grillottes  
07250 Le Pouzin

## **Université de Poitiers**

8 rue René Descartes  
86000 Poitiers

# ABRÉVIATIONS

## **AISMT**

Association Interprofessionnelle de Santé et de Médecine du Travail

## **AMU**

Aix-Marseille Université

## **BRGM**

Bureau de Recherches Géologiques et Minières

## **C2FN**

Centre de Carottage et de Forage National

## **CCJ**

Centre Camille Jullian. Archéologie Méditerranéenne et Africaine  
Aix Marseille Université, CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication, CCJ UMR 7299, 13094, Aix en Provence, France.

## **CEFE**

Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive  
UMR 5175, CNRS – Université de Montpellier – Université Paul Valéry – EPHE

## **CEREGE**

Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement  
Aix Marseille Université, CNRS, IRD, CDF, CEREGE UM 34, 13545, Aix en Provence, France.

## **CICRP**

Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine. Marseille

## **CNR**

Compagnie Nationale du Rhône

## **Drassm**

Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines / Ministère de la Culture et de la Communication

## **IMBE**

Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale  
Aix Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université, IMBE UMR 7263, 13397, Marseille, France.

## **IMEP**

Institut Méditerranéen d'Écologie et de Paléoécologie

## **Inrap**

Institut National de Recherches Archéologiques Préventives

## **IRAA**

Institut de Recherche sur l'Architecture Antique  
Aix Marseille Université, CNRS, Université de Pau, Université Lyon2, IRAA USR 3155, 13094, Aix-en Provence, France.

## **IS2M**

Institut des Sciences des Matériaux de Mulhouse  
CNRS-UMR 7361-UHA

## **LAMOP**

Laboratoire de Médiévisitisme Occidentale de Paris  
UMR 8589, Université Paris 1 - CNRS

## **LSIS**

Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes  
Aix Marseille Université, CNRS, ENSAM, Université de Toulon, LSIS UMR 7296,13397, Marseille, France.

## **MCC**

Ministère de la Culture et de la Communication

## **MdAa**

Musée départemental Arles antique / Conseil général des Bouches-du-Rhône

## **VNF**

Voies Navigables de France

## **2ASM**

Association pour l'Archéologie Sous-Marine

# PRÉFACES

Patrice POMEY

*Directeur de Recherche émérite au CNRS  
Ancien directeur du Centre Camille Jullian*

Au-delà d'une simple fouille, l'épave *Arles-Rhône 3* a donné lieu à une opération complexe et de grande envergure dont rend compte le présent ouvrage. À la fouille et à l'étude de l'épave, poussée jusqu'à sa restitution, s'ajoutent les délicates opérations d'extraction et de conservation-restauration en vue de sa présentation au Musée départemental Arles antique. Pour mener à bien ce projet ambitieux, c'est une chaîne opératoire complexe qu'il a fallu mettre en œuvre et qui, à ce jour, reste unique dans le domaine de l'archéologie subaquatique française des eaux intérieures. À cet égard, l'opération *Arles-Rhône 3*, marquera l'histoire de l'archéologie subaquatique comme la fouille de l'épave de la Madrague de Giens a marqué en son temps l'histoire de l'archéologie sous-marine.

La réussite d'une telle opération implique la réunion de nombreux concours et la coordination de compétences multiples dans des domaines aussi différents que le travail en milieu subaquatique, l'étude archéologique et la conservation des bois gorgés d'eau. Mais elle suppose aussi la prise de conscience aiguë que toutes les phases des travaux sont étroitement liées et que chaque intervention aura des conséquences directes sur le résultat final. C'est ainsi qu'il a fallu respecter l'intérêt patrimonial exceptionnel de cette épave de chaland gallo-romain pour pouvoir effectuer sa présentation muséographique. Mais sans compromettre pour autant son étude archéologique justifiée par un intérêt scientifique majeur dû à l'originalité de son type et à son appartenance au bassin rhodanien caractérisé par des influences méditerranéennes. Soit un double objectif parfaitement réussi dont le mérite revient à l'équipe dirigée par Sabrina Marlier qui a su maîtriser des contraintes souvent peu compatibles. À cet égard, on peut se réjouir du rôle joué par le Centre Camille Jullian et par les membres de l'équipe lui appartenant, ou lui ayant appartenu, dans la prise en compte des objectifs scientifiques de l'opération en raison de son expérience dans le domaine de l'archéologie navale, notamment au niveau des relevés, de l'étude archéologique et des restitutions.

Un dernier aspect mérite d'être souligné. Pendant longtemps, les principales sources de renouvellement de nos connaissances en archéologie navale antique ont été fournies par les épaves sous-marines, puis au cours de ces vingt dernières années les fouilles terrestres en contexte portuaire ont pris le relais en apportant leur lot d'épaves souvent inédites. Aujourd'hui, l'opération *Arles-Rhône 3*, ouvre un nouveau chapitre dans le développement de l'archéologie nautique et confirme la richesse des fleuves et rivières et l'exploitation qui peut en être faite.

La présente publication illustre de façon exemplaire ces divers aspects et devrait constituer, de ce fait, un ouvrage de référence pour l'archéologie nautique future. Il est heureux qu'elle ait trouvé toute sa place dans la collection du CNRS *Archaeonautica* dirigée par le Centre Camille Jullian.

Michel L'Hour

*Conservateur Général du Patrimoine*

*Directeur du Drassm*

*Membre de l'Académie de Marine*

Devenu emblématique d'une recherche archéologique sous-marine que les scientifiques français ont très largement contribué à inventer et dont ils restent aujourd'hui les chefs de file incontestés, le gentilé *Arles-Rhône 3* ne fut d'abord qu'un simple nom de code inscrit dans une litanie de désignations commodes : celles par lesquelles l'on identifie tour à tour depuis plusieurs décennies les épaves découvertes dans le lit du Rhône, sur le territoire d'Arles. Découverte en 2004 lors d'une expertise archéologique conduite par les archéologues du Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines, l'épave ainsi nommée s'est toutefois imposée dès 2007 dans la lumière, après qu'une équipe de jeunes chercheurs en a entrepris l'exploration méthodique. Plongée après plongée, le potentiel de l'épave s'est en effet alors affirmé, révélant un chaland gallo-romain du 1<sup>er</sup> siècle ap. J.-C. magnifiquement conservé. Sertie dans une stratigraphie archéologique formée au fil des siècles par une accumulation mobilière d'une richesse presque indécente, *Arles-Rhône 3* a bientôt focalisé l'attention de tous. Il n'en fallait sans doute pas plus pour que l'on ajoute en 2010 au défi scientifique un projet muséographique d'une folle ambition : réaliser en moins de trois ans la fouille exhaustive de l'épave et la ramener au jour, en assurer la conservation puis la présentation dans un espace muséal spécifiquement construit à son intention et, finalement, livrer à l'ensemble des publics les données essentielles de son analyse scientifique. Ce triple objectif, dont il n'était envisageable en aucun cas de sacrifier la moindre composante, a été atteint. Prélevé par tronçons, traité au sein du laboratoire ARC-Nucléart de Grenoble, le chaland restauré navigue aujourd'hui au cœur du musée d'Arles entouré des objets du commerce qui ont fait l'importance et la richesse de l'Arles antique, cette *Arelate* qu'Ausone qualifiait de *petite Rome des Gaules*. Restait à satisfaire à la première loi que les archéologues se doivent à eux-mêmes de s'imposer sans jamais renoncer à ses principes : livrer à la postérité une étude rigoureuse des vestiges étudiés. C'est précisément l'objet de la présente publication. Les pistes ici ouvertes, les sujets de réflexion abordés, les propositions d'interprétation énoncées alimenteront, n'en doutons pas, bien d'autres travaux car la problématique des chalands gallo-romains construits dans le bas bassin rhodanien, à l'interface de la Méditerranée et du Rhône, vient de trouver en Arles le socle de données sur lequel l'on fondera désormais toute recherche sur le même thème. Ce n'est pas là le moindre succès de ce projet *Arles-Rhône 3* qui a pourtant déjà justifié depuis quatre années l'usage de bien des superlatifs. S'imposant à la croisée exacte entre le discours inspiré d'un grand musée et un monde de chercheurs passionnément attaché à décoder les traces cachées de notre histoire collective, cette étude attendue de l'épave *Arles-Rhône 3* légitime définitivement un projet archéologique majeur auquel nombre d'entre nous ont apporté, chacun à son niveau, une collaboration enthousiaste autant qu'opiniâtre. À l'orée de cette publication, on se réjouit d'avance, pour le lecteur, du bonheur qu'il éprouvera d'en arpenter les pages !

Xavier DELESTRE

*Conservateur Général du Patrimoine  
Conservateur régional de l'archéologie  
Direction régionale des affaires culturelles de Provence-Alpes-  
Côte d'Azur*

Je suis très heureux de voir l'aboutissement de cette passionnante recherche.

De cette fouille exemplaire, je garde en mémoire une série de clichés. D'abord, celui d'un écran de contrôle installé dans un conteneur sur le quai face au site exploré. Pendant de longues minutes, je me souviens avoir essayé de distinguer dans cette eau fortement chargée de sédiments un indice archéologique ; je n'ai vu, au mieux, que la silhouette d'un scaphandrier...

À quelques pas de là dans un hangar j'ai, sous la conduite d'une équipe toujours disponible, pu suivre le parcours parfaitement rythmé des tonnes de fragments de céramiques et objets divers mis au jour. J'ai vu comment une découverte anonyme, recouverte de vase, retrouvait une nouvelle vie en passant par « l'atelier lavage ». Comme par magie, toutes les couleurs d'origine apparaissaient et plus lorsque, par chance, devenaient visibles, des graffitis et des inscriptions peintes sur des cols d'amphores. Des lettres et des mots qui nous rapprochaient encore un peu plus du quotidien de ces Romains. Dans cette chaîne logique, l'objet continuait son périple en passant par « l'atelier photo », premier catalogage avant de se soustraire au regard en disparaissant dans des caisses standardisées en l'attente de leur transport vers les réserves du musée. Là prenait corps cette notion « de la fouille au musée ».

Autres moments émouvants, les opérations de relevage des sections du chaland soigneusement préparées au fond du fleuve. Des pièces de bois qui confirmaient l'excellent état de conservation et la justesse de ce « pari insensé » et même davantage !

Tous ces éléments mis bout à bout constituent pour moi un excellent souvenir et surtout un magnifique témoignage de la très haute qualité technique et scientifique de cette équipe pluridisciplinaire.

La synthèse élaborée en un temps record – autre exploit pour l'équipe – livre une foule d'informations sur l'architecture navale et le commerce fluvial. Un trésor scientifique dont les générations à venir d'archéologues tireront sans nul doute encore des renseignements inédits et fondamentaux pour la Gaule Narbonnaise et *Arelate* en particulier.

À la satisfaction de voir achever cette étude dans les délais annoncés – grâce aussi à une météo particulièrement favorable et exceptionnelle – s'ajoute celle de constater que cette remarquable découverte est accessible au public dans un écrin muséographique dédié au sein du magnifique musée de l'Arles antique.

En tant que conservateur régional de l'archéologie et au nom des experts de la commission interrégionale de la recherche archéologique Sud-Est qui ont suivi toutes les étapes de ce travail, j'exprime à tous les acteurs, et en particulier à Sabrina Marlier responsable de l'opération, ma gratitude et mes félicitations pour ce beau travail qui restera, j'en suis certain, une référence tant pour ses prouesses techniques que pour ses apports scientifiques.

Claude SINTÈS

*Conservateur en Chef du Patrimoine  
Directeur du Musée départemental Arles antique*

Il y a un peu moins de 2000 ans, un bateau de travail chargé de pierres a subitement été englouti dans les eaux du Rhône. Ce modeste fait divers n'a pas dû émouvoir bien longtemps les habitants de la cité d'Arles ; on espère seulement, même si cela n'a plus aucune importance, que les bateliers n'ont pas été punis trop cruellement par l'armateur si jamais la responsabilité du naufrage leur a incombé.

Bien évidemment personne à l'époque n'a pu imaginer que ce chaland pourrait être visible à nouveau un jour, et encore moins enfermé dans un bâtiment. Et si d'aventure un citoyen farfelu s'est livré à une réflexion aussi futile, il lui a fallu convoquer l'intervention des dieux pour qu'un tel prodige soit envisageable.

Contre toute probabilité, contre toute logique même, l'intervention divine a bien eu lieu. Tous ceux qui ont vu le fleuve s'apaiser quelques jours avant le début de la fouille-relevage de 2011 puis se remettre à dévaler, gonflé de boue et de branchages, trois heures seulement après la dernière plongée de ce chantier, tous ceux-là en sont persuadés. Si les dieux ont été magnanimes, les humains n'ont pas failli non plus : les préfaces précédentes ont fort justement souligné l'exploit scientifique et technique qu'a représenté cette opération de relevage et de présentation. Seule une organisation parfaite, une adhésion enthousiaste au projet, une inventivité de chaque instant, mais aussi des budgets adaptés, ont pu permettre ce résultat. Ils sont si nombreux, celles et ceux par qui le miracle a eu lieu, que les remerciers individuellement reviendrait à mobiliser de nombreuses pages de cet ouvrage : qu'ils sachent, car ils se reconnaîtront, à quel point je leur suis reconnaissant.

Avec ce volume d'*Archaeonautica*, le chercheur devrait avoir tous les éléments de l'étude architecturale qui lui importent, de l'analyse du plus modeste clou à la description de la moindre membrure, sans oublier la reconstitution de son histoire, de la construction au naufrage. Mais au-delà de ce travail exemplaire qui a mobilisé plus d'une vingtaine de collaborateurs scientifiques, nous sommes heureux et fiers, car c'est le travail d'un musée, d'avoir rendu à chacun une parcelle de notre histoire commune. Aujourd'hui, le résultat est tellement saisissant que le public qui se presse autour du chaland s'apitoie sur les esclaves déchargeant les pierres une à une avant de repartir, tirant avec peine le câble de halage pour tracter le bateau à contre-courant, il imagine les bateliers prendre un rapide repas près du *dolium* fumeux et les voit cabaner à la proue, espérant qu'un vieux bout de prélat tendu sur le manche d'une gaffe saura les garantir de l'orage qui approche...



**Fig. 1 :** Le Musée départemental Arles antique, au premier plan, fait face au Rhône où se sont déroulées les fouilles de l'épave Arles-Rhône 3 (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).

# INTRODUCTION

Sabrina MARLIER

*Arles-Rhône 3* est une épave exceptionnelle à bien des égards.

C'est tout d'abord une épave extrêmement bien conservée, celle d'un chaland gallo-romain daté du milieu du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. qui a fait naufrage dans les eaux du Rhône, à Arles, avec toute sa cargaison, son mobilier de bord, ses équipements de navigation et sa monnaie votive. Rapidement enfouie sous les limons du fleuve, ceux-ci l'ont préservée des actions du courant et de l'attaque des micro-organismes en la soustrayant à la lumière et en la privant d'oxygène durant près de 2000 ans.

C'est ensuite une épave qui a connu une destinée exceptionnelle. Découverte en 2004, elle a fait l'objet d'opérations d'expertises et de sondage avant qu'une opération de fouille programmée ne se mette en place à partir de 2008. Et après trois campagnes archéologiques qui ont révélé tout l'intérêt scientifique et le potentiel muséographique de cette épave (Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011), celle-ci a été désignée, parmi une quinzaine d'épaves recensée dans le fleuve, à Arles (Long, Picard (dir.) 2009, p. 232-239), pour faire l'objet d'une opération de renflouage. L'année 2011 a ainsi vu la fin de la fouille de l'épave *Arles-Rhône 3* et son relevage. Cette opération, d'une grande complexité, s'est inscrite dans un ambitieux projet lancé par le Conseil général des Bouches-du-Rhône, en partenariat avec le Drassm, dans le cadre de « Marseille-Provence, Capitale Européenne de la culture 2013 ». D'une durée de trois ans (2011-2013) et doté d'un budget global de 9 millions d'euros, il s'agissait d'un important projet muséographique qui, au-delà de la fouille et du relevage, comprenait la restauration de ce chaland de 31 m de longueur ainsi que sa présentation au sein du Musée départemental Arles antique spécialement agrandi de quelque 800 m<sup>2</sup> pour l'occasion. Plus de 480 objets, issus essentiellement des fouilles du Rhône et de l'embouchure, ayant trait au commerce, à la navigation et aux activités du port fluvio-maritime d'Arles à l'époque romaine, viennent aussi enrichir cette nouvelle aile du musée qui est aujourd'hui visitée par des milliers de personnes venus du monde entier.

C'est enfin une épave exceptionnelle en raison de l'étude, ou plutôt, des études et des analyses dont elle a fait l'objet. Archéologues, céramologues, dendrologues, géomorphologues, numismate, spécialiste de l'étude des textiles, chimiste, palynologues, experts en métallographie, mycologue, épigraphiste, anthracologue, géologues et géomorphologues, c'est en tout une vingtaine de chercheurs et de spécialistes qui ont travaillé, durant près de dix ans pour certains, sur ce chaland qui constitue une source archéologique aux dimensions multiples. Chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, doctorants ou jeunes docteurs, archéologues territoriaux ou vacataires, gérants de sociétés... cette équipe, en réunissant des femmes et des hommes issus des universités, de laboratoires de recherche du CNRS, d'établissements culturels ou encore de sociétés privées, illustre l'état de la recherche en France, aujourd'hui, en une publication qui se veut résolument pluridisciplinaire autour d'un seul et unique objet d'étude.

C'est le fruit de ces travaux qui est aujourd'hui livré dans ce dix-huitième volume de la collection *Archaeonautica*.

Après un rappel historique des missions et des recherches conduites sur l'épave *Arles-Rhône 3*, la méthodologie d'ensemble est présentée avec les chaînes opératoires mises en place pour sa fouille, son relevage et son étude. Le contexte de l'épave, historique, archéologique et paléoenvironnemental, est posé avant que ne soit présenté l'état de conservation des vestiges. L'essentiel de l'ouvrage est ensuite consacré à l'étude globale du chaland, d'un point de vue architectural bien sûr, mais complétée par une étude dendrologique exhaustive et enrichie par des études épigraphiques, numismatiques et des analyses des textiles et des poils d'étanchéité, des analyses polliniques et mycologiques ainsi que par une étude métallographique de quelques échantillons de clous d'assemblage du chaland. À cette étude s'ajoute l'analyse du système mécanique et une présentation du matériel d'accastillage du chaland avant que ne soit proposée une restitution des formes accompagnée des études hydrostatiques. Le mobilier de bord et la cargaison font ensuite l'objet d'une présentation et d'une étude approfondie. L'ensemble de ces données aboutit à proposer la date de construction du chaland, celle de son naufrage et les causes de celui-ci. À partir de

l'estimation de sa durée de vie estimée, une réflexion est engagée à propos de la longévité des chalands gallo-romains du bassin rhodanien. L'origine, la fonction, la zone de vie ainsi que l'espace de navigation d'*Arles-Rhône 3* sont ensuite discutés avant que le chaland ne fasse finalement l'objet d'une étude typologique et d'une interprétation historique au sein de la batellerie gallo-romaine.

Il me paraît également important de souligner le remarquable travail de CAO et de DAO réalisé, pour cette publication, par Pierre Poveda et Mourad El Amouri dans le cadre d'une aide à la préparation de la publication accordée par la sous-direction de l'archéologie (Ministère de la Culture et de la Communication). Loin d'être un simple travail d'illustration, les planches, résultant d'une authentique analyse archéologique, contribuent à l'interprétation même de l'épave.

La préparation de ce manuscrit a été suivie de façon très rigoureuse et assidue par Éric Rieth, en tant que conseiller scientifique, et par Marie-Brigitte Carre, en tant que directrice de la collection *Archaeonautica*. Béat Arnold, en tant que rapporteur du manuscrit, a également suivi de près l'étude architecturale du chaland et la relecture des différentes contributions. La rédaction, la coordination d'une publication associant une vingtaine d'auteurs et la préparation d'un tel manuscrit représentant un travail aussi colossal qu'exigeant, qu'il me soit permis de les remercier tous trois chaleureusement ici.

Au final, ce volume représente la synthèse de près de dix années de recherche sur cette épave. Si ce travail est avant tout destiné aux archéologues et aux historiens, nous avons souhaité rendre ces connaissances abordables à tous les publics qui souhaiteraient accéder à cette documentation de première main. Aussi, pour ceux qui feront l'effort de se plonger dans cette monographie, nous avons joint au texte des schémas explicatifs pour illustrer le vocabulaire employé et un glossaire a été ajouté en fin de volume (Annexe 1). Y sont définis les termes de la batellerie gallo-romaine, de l'étude des pierres de chargement, de celle des textiles, des analyses radiocarbone et isotopiques ou encore des analyses polliniques et mycologiques ainsi que des études géomorphologiques. Au final, cette publication est bien, comme nous l'avons souhaité, le fruit d'une co-édition de CNRS Éditions et du Musée départemental Arles antique.

Aussi, au nom de tous les auteurs, je souhaite que cette plongée en eaux claires au fil de ces quelque 330 pages soit aussi enrichissante pour le lecteur que la fouille et l'étude l'ont été pour tous ceux réunis autour d'*Arles-Rhône 3*...

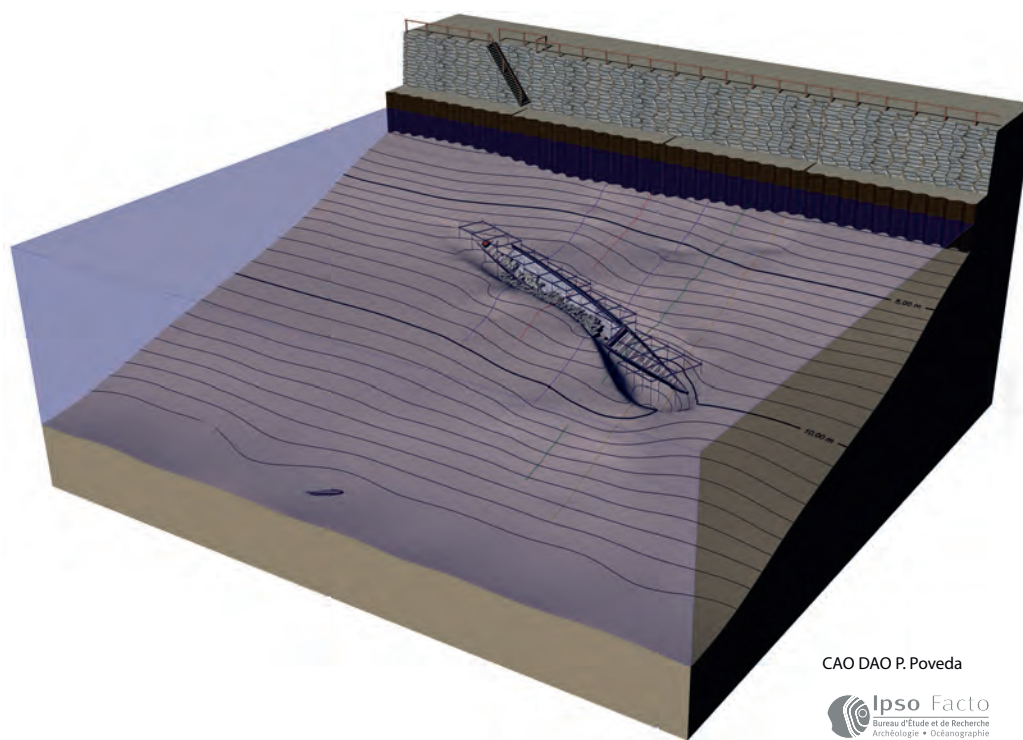


**Fig. 2 :** Le chaland Arles-Rhône 3 au milieu des collections dédiées aux activités fluviomaritimes du port d'Arles à l'époque romaine (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).



# CHAPITRE 1. HISTORIQUE DES MISSIONS ET DES RECHERCHES SUR L'ÉPAVE *ARLES-RHÔNE 3*

Sabrina MARLIER



**Fig. 3 :** Position de l'épave dans le fleuve restituée à partir des relevés topographiques réalisés depuis la terre et des coupes bathymétriques levées sous l'eau. La dépression au niveau de la proue correspond au sondage réalisé en 2010.

Située sur la rive droite du Rhône, à Arles, à cinquante mètres en amont du pont de la voie rapide N113, l'épave *Arles-Rhône 3* se trouvait à proximité du quai actuel, entre 4 et 9 m de profondeur, avec une gîte de 35° sur son flanc tribord (fig. 3).

## DE LA DÉCOUVERTE À LA FOUILLE PROGRAMMÉE

### 2004 : LA DÉCOUVERTE

L'épave a été découverte à l'automne de l'année 2004 par Pierre Giustiniani<sup>1</sup> au cours d'une prospection conduite dans le cadre d'une des missions de carte archéologique conduite par Luc Long (Drassm) dans le fleuve (Long 2008, p. 120-124 ; Long 2009b, p. 233-234). La campagne portait alors sur les vestiges du vaste dépotoir portuaire antique, riche en amphores et en céramiques, qui s'étend de part et d'autre du pont de la voie rapide (Gisement A) et dans lequel était incluse l'épave (fig. 4). Seule une partie de l'épave émergeait alors des sédiments : correspondant à un des bordés de flanc en demi-tronc du bateau, les fouilleurs pensaient avoir affaire à une pirogue monoxyle. Afin d'en déterminer la longueur apparente, un dégagement très superficiel de l'épave a eu lieu tandis qu'un prélèvement de bois a été réalisé afin d'en préciser sa chronologie au moyen d'une analyse radiocarbone.

1. P. Giustiniani était alors le président de l'association 2ASM.



1. Enceinte - 2. Cardo - 3. Decumanus - 4. Forum - 5. Monument à exèdre (forum adiectum)  
 6. Théâtre - 7. Rue Truchet - 8. Arc du Rhône - 9. Ile des Sables - 10. Ecole Anaïs Gibert  
 11. Gare Maritime - 12. Rue P. Brossolette

DAO M. Heijmans (CCJ/CNRS)  
 et M. El Amouri (Ipsos Facto)

## 2005 : UNE PREMIÈRE EXPERTISE

L'année suivante, en 2005, une première expertise a été menée sur l'épave, toujours dans le cadre des missions de carte archéologique conduites par Luc Long (Long, Rival 2005) (fig. 5). L'expertise architecturale a été assurée par Michel Rival (CCJ), assisté de Sandra Greck (ZASM), pour les prélèvements et l'étude dendrologique des bois<sup>2</sup>. Deux objectifs prioritaires avaient été fixés pour cette mission. Le premier concernait le dégagement des faces extérieure et intérieure du flanc de l'embarcation, sur une longueur de 9 mètres, afin « de mieux en apprécier les formes et les assemblages avec les autres pièces de la charpente interne ». Le second « visait à étendre le dégagement de cette épave sur une plus grande surface, dans une zone comprise entre la membrure 100 et la membrure 102, pour y préparer un prélèvement de bois » (Rival 2005). Le dégagement de l'épave, en longueur, a permis de mettre au jour des pierres en calcaire blanc dont le bateau était chargé (fig. 6). Le caractère local de la provenance de ces pierres a également été reconnu puisque le rapport d'expertise indique comme possible provenance

**Fig. 4 :** Plan de situation de l'épave Arles-Rhône 3 (AR3) et des autres épaves découvertes dans le Rhône à Arles dans le système de repérage (Z1 à Z17 correspondant au gisement A) mis en place par L. Long (Drassm) sur un fond de carte d'Arles au <sup>er</sup> s. ap. J.-C. D'après un fond de plan de M. Heijmans (2008, p. 63), et une compilation de cartes de V. Dumas (rapport AR3 2008) et L. Long (2008, p. 117).

2. F. Guibal (IMEP) assurant l'étude dendrochronologique des bois en laboratoire.



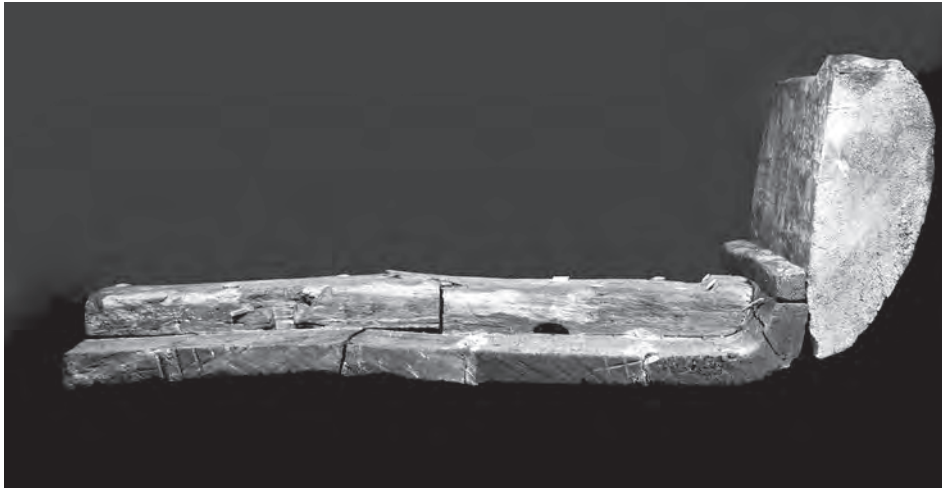
**Fig. 5 :** L'Archéonaute sur le Rhône, lors de la mission de carte archéologique en 2005. Au premier plan, à gauche, la section prélevée de l'épave Arles-Rhône 3 (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

les carrières de Beaucaire ou de Saint-Gabriel (*Ernaginum*). Les pierres dégagées ont été systématiquement enlevées afin d'accéder aux structures architecturales du bateau dans le but d'en effectuer un relevé *in situ*. Le second objectif a consisté à prélever une section de l'épave, de 1,40 m sur 60 cm, qui a été ramenée à la surface pour y être étudiée (fig. 7). Dessinés puis démontés afin de mieux comprendre les systèmes d'assemblage et les procédés d'étanchéité, les bois ont ensuite fait l'objet d'études dendrologiques et n'ont pas été conservés. Le travail réalisé *in situ* et le prélèvement de cette section d'épave ont permis de reconnaître qu'il s'agissait d'une « embarcation à coque monoxyle-assemblée » avec des caractéristiques architecturales originales (notamment une « longue pièce de bois monoxyle sciée tangentiellement dans une grume de sapin avoisinant les 70 à 80 cm de diamètre » pour en constituer les flancs) (fig. 8). Ce qui permettait à M. Rival de conclure son rapport de la façon suivante : « Cette épave, qui est la première embarcation localisée dans le Rhône au niveau d'Arles, constitue un jalon important et contribue à une meilleure connaissance de la batellerie antique du Bas-Rhône sous l'empire romain ». L'analyse radiocarbone a par la suite permis de confirmer le caractère « antique » de cette embarcation en la situant dans une fourchette chronologique comprise entre 15 av. et 130 ap. J.-C. (*infra*, p. 259).

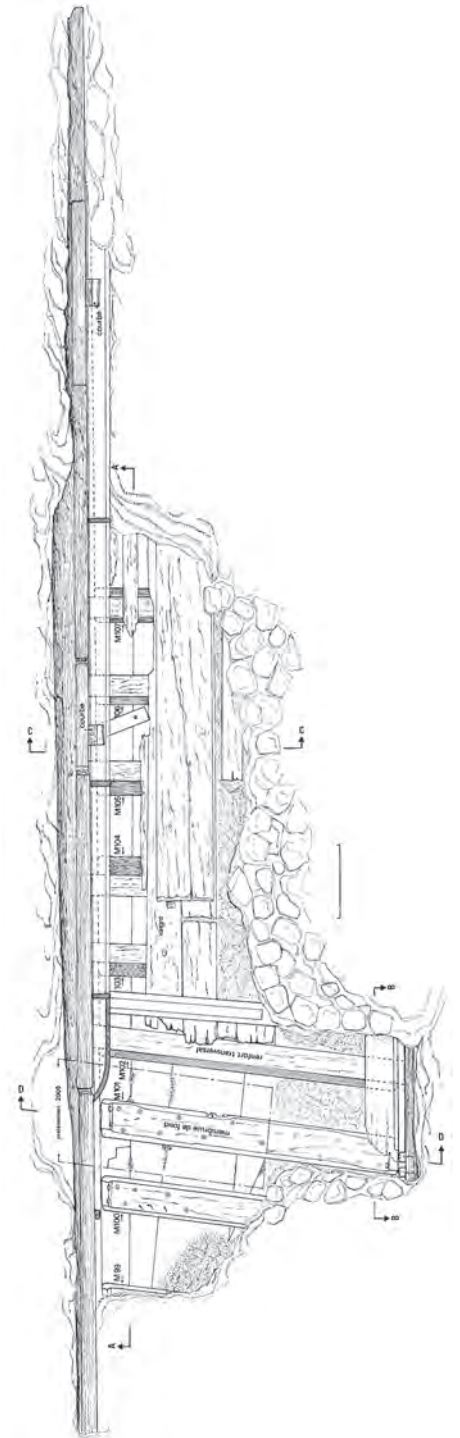
## 2006 : UNE SECONDE EXPERTISE

Suite à cette première expertise, riche en enseignements, une seconde a eu lieu en 2006, à nouveau dans le cadre des missions de carte archéologique conduites par L. Long. L'expertise architecturale a cette fois été conduite par Sabrina Marlier (CCJ), Sandra Greck (2ASM) assurant la poursuite de l'étude dendrologique. Cette expertise a permis de dégager l'épave jusqu'à son extrémité située en aval, soit sur une longueur d'environ 4,40 m, conduisant à mieux évaluer son état de conservation et à compléter les observations effectuées l'année précédente. Sur cette extrémité, une zone de vie a également été révélée avec la mise au jour de mobilier céramique et d'outils scellés au bois de l'épave par une épaisse couche d'argile (fig. 9). Ces objets étaient répartis autour d'un fond de *dolium* reposant sur une vaigre (pl. I.). L'identification d'une zone de vie dans ce secteur de l'épave et l'absence d'emplanture de mât ont conduit à identifier l'arrière du chaland et, par conséquent, de l'orienter. Au cours de cette expertise, des sondages ont également été effectués plus en amont afin de repérer l'autre extrémité de l'épave et d'en déterminer la longueur. L'extrémité avant n'a pas pu être localisée mais les sondages ont permis d'évaluer la longueur minimum de l'embarcation conservée à 26 m (sur une longueur totale de 31 m, cf. fig. 288). Cette mission a finalement permis de mieux juger de l'intérêt scientifique de l'épave *Arles-Rhône 3* et de la pertinence d'une demande d'opération programmée<sup>3</sup>.

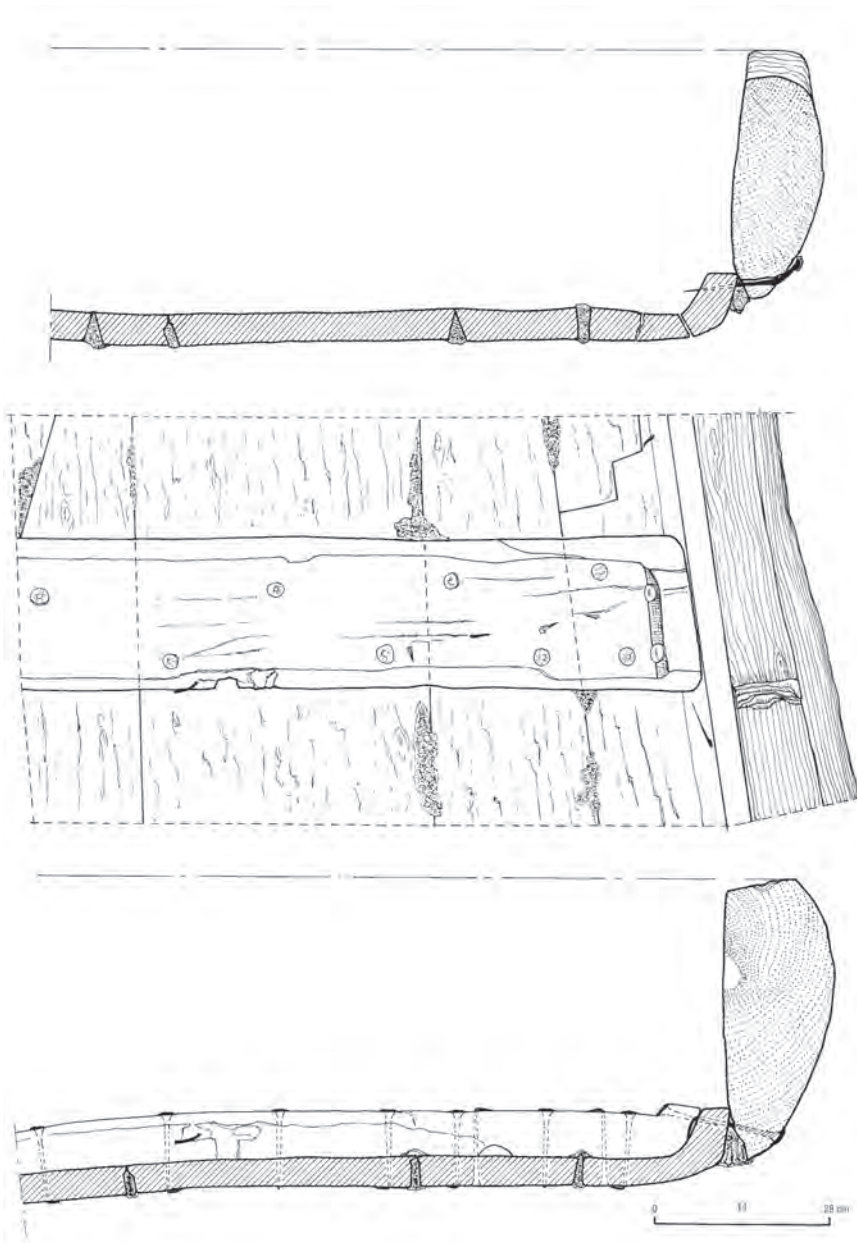
3. À l'issue de cette deuxième expertise, les premiers résultats relatifs à l'étude architecturale de l'épave ont été présentés dans le cadre du onzième *International Symposium on Boat and Ship Archaeology (ISBSA 11)* (Long, Rival, Marlier 2009).



**Fig. 7 :** Section de l'épave prélevée en 2005 (au niveau de la membrure M101) pour son étude à terre (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

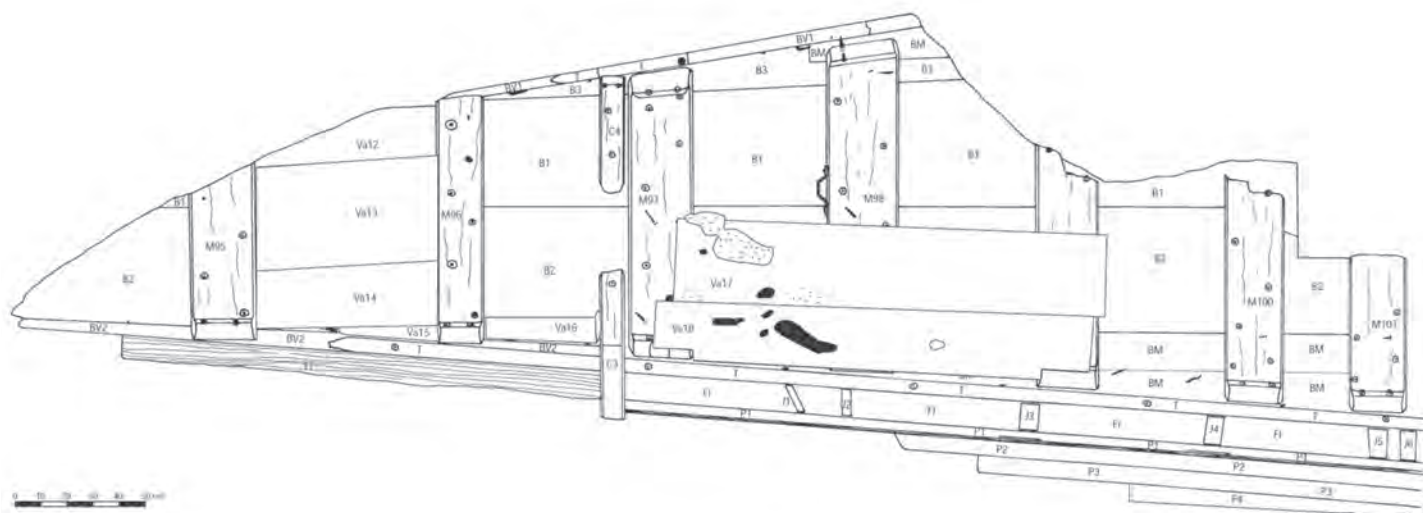


**Fig. 6 :** Relevé en plan correspondant au dégagement de l'épave (avec enlèvement d'une partie des pierres de chargement), en 2005, lors de la première expertise et sur lequel est localisé le prélèvement réalisé au niveau de la membrure M101 (M. Rival, CCJ/CNRS).



**Fig. 8 :** Relevé du prélèvement (M. Rival, CCJ/CNRS).

**Fig. 9 :** Vue d'une partie du mobilier de bord piégé dans la couche d'argile recouvrant le fond la coque (Ch. Durand, CCJ/CNRS).



**Fig. 10 :** Plan de l'extrémité arrière de l'épave dressé au cours de la mission de sondage conduite en 2007 (Relevé collectif).

## 2007 : UNE OPÉRATION DE SONDAGE

L'opération de sondage, conduite sur l'épave en 2007, était dirigée conjointement par Sabrina Marlier (CCJ) et Sandra Greck (2ASM), avec la collaboration de David Djaoui (MdAa). Cette mission s'est également déroulée dans le cadre des missions de cartes archéologiques conduites par Luc Long avec lequel l'équipe dirigeante partageait la logistique et les fouilleurs<sup>4</sup>. L'opération a porté à nouveau sur l'arrière du bateau et une section de sa partie centrale, pour une longueur dégagée de 5,50 m (fig. 10). L'étude a ainsi permis de compléter les données récoltées lors des expertises précédentes et d'enrichir l'étude préliminaire du site.

Les résultats apportés dans le cadre de ce sondage se sont révélés importants à plusieurs titres. En premier lieu, l'épave *Arles-Rhône 3* constituait la première étude architecturale engagée sur une embarcation découverte dans la section inférieure du Rhône. Il paraissait alors important que cette étude puisse être approfondie afin d'apporter des informations supplémentaires sur le type architectural de l'embarcation. En second lieu, l'étude de cette épave, s'inscrivant dans les problématiques récentes liées aux influences méditerranéennes dans la construction des chalands de la Saône et du Rhône, était l'occasion d'enrichir ce corpus, dans la perspective d'une étude comparative. Enfin, le travail engagé sur les bois de l'épave *Arles-Rhône 3* et les perspectives de recherches nourrissaient l'espoir de réaliser

4. Cette opération de sondage s'est déroulée du 8 août au 3 septembre 2007, période durant laquelle seuls treize jours ont été plongeables, représentant, au total, 200 heures de plongée de travail pour une équipe moyenne de cinq personnes.



**Fig. 11 :** *Le Fleur de Cactus*, un ancien bateau de pêche long de 10 m, a servi de support-surface à la fouille du site Arles-Rhône 3 entre 2008 et 2010 (T. Seguin).

une étude complète et riche d'enseignement concernant notamment l'exploitation des ressources en bois et leur mise en œuvre pour la construction navale d'époque gallo-romaine.

Pour toutes ces raisons, il était par conséquent évident que l'épave *Arles-Rhône 3* méritait d'être fouillée de façon exhaustive avec une équipe pluridisciplinaire, apte à mener non seulement la fouille sur le terrain mais aussi à exploiter les données recueillies dans une perspective d'étude globale du chaland, en relation avec son espace de navigation. C'est avec cet objectif que l'épave *Arles-Rhône 3* a fait l'objet, à la fin de l'année 2007, d'une demande de fouille programmée pluriannuelle.

## LA FOUILLE PROGRAMMÉE (2008-2010)

Suite à ces différentes missions d'expertise et de sondage, l'épave a finalement fait l'objet de trois campagnes de fouille programmée, de 2008 à 2010 (fig. 11). Ces missions, portées et mises en œuvre par l'association Arkaeos, avec la collaboration du Musée départemental Arles antique et du Centre Camille Jullian, ont été co-dirigées par Sabrina Marlier, Sandra Greck et David Djaoui<sup>5</sup>.

Ces différentes missions, qui totalisent trois mois et demi de travail pour près de 1 200 heures de plongées, ont permis de mettre au jour et de fouiller près de la moitié de l'épave, soit les douze premiers mètres de l'arrière et environ 1,50 m de la proue. Un sondage, réalisé sur le tiers avant de l'épave, a également permis de localiser l'avant du caisson présumé ainsi que le banc de mât (fig. 12).

### 2008

La première année de fouille programmée a essentiellement porté sur la cargaison de pierres que transportait le chaland au moment de son naufrage ainsi que sur les aménagements internes de l'embarcation liés au transport de ce chargement pondéreux. L'analyse des pierres, conduite par Philippe Bromblet et Lise Leroux a permis de confirmer les carrières de Saint-Gabriel comme lieu de provenance<sup>6</sup>. Un sondage attenant à l'épave avait également permis de mieux appréhender son contexte stratigraphique en révélant notamment la présence d'une couche argileuse, similaire à celle de l'épave, dont le dépôt semblait s'effectuer sous forme lenticulaire (pl. I).

### 2009

La seconde année de fouille programmée avait comme objectif l'étude du caisson présumé, destiné à recevoir le lourd chargement de pierres. La poursuite du dégagement des

5. En 2008, S. Marlier était rattachée au CCJ (post-doctorante CNRS); en 2009 et 2010, elle était chargée de mission pour Arkaeos. S. Greck (titulaire de l'autorisation en 2009) était rattachée à Arkaeos. D. Djaoui était rattaché au MdAa.

6. Il faut signaler ici que c'est à O. Badan, inventeur d'une centaine de sites sur le territoire d'Arles, que les archéologues et les géologues doivent la piste des carrières de St-Gabriel.

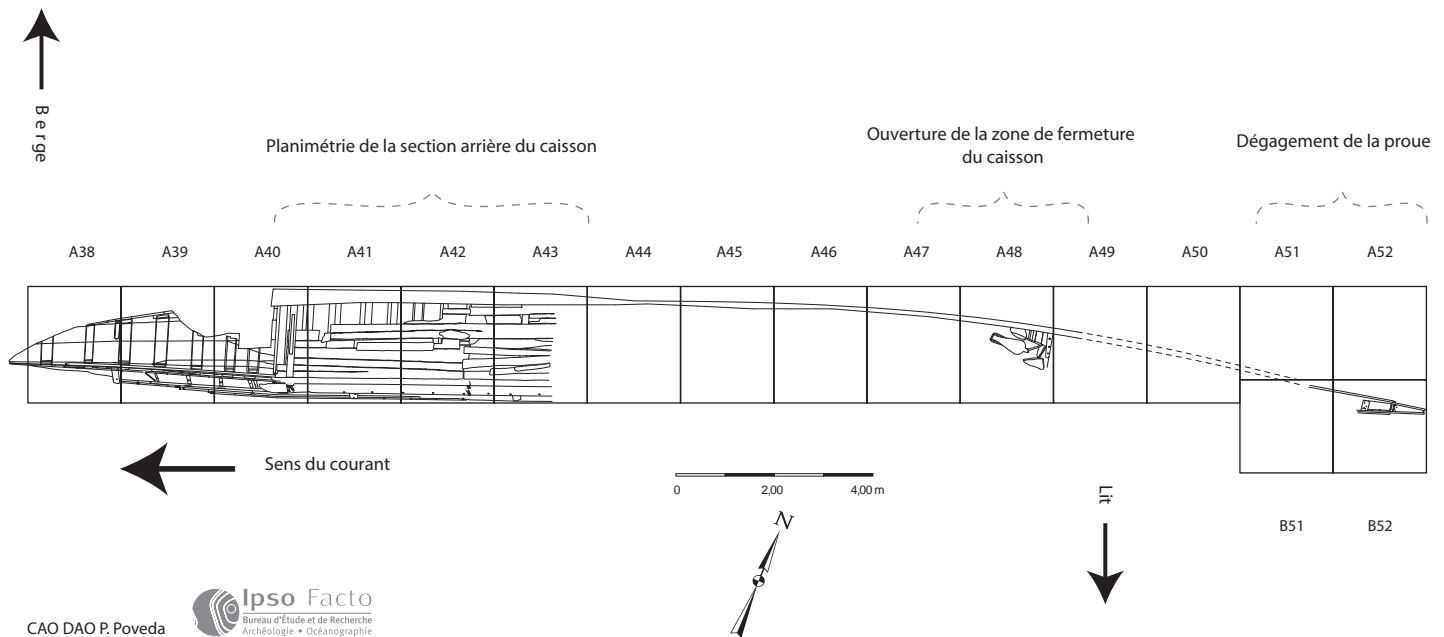


Fig. 12: Relevé en projection des zones de l'épave ouvertes et fouillées entre 2005 et 2010.

pierres a montré une interruption dans la cargaison d'une largeur de moins d'un mètre. C'est au niveau de cet intervalle qu'ont été découverts du matériel organique (matériaux tissés, cordages, etc.) ainsi qu'un lustre en céramique à vingt becs. Ces éléments n'appartenaient vraisemblablement pas au chargement du chaland et auraient été piégés dans cet espace creux après le naufrage du bateau. L'un des résultats les plus importants de cette campagne de fouille a porté sur l'analyse dendrochronologique réalisée par Frédéric Guibal. Les prélèvements effectués au cours de cette campagne, localisés principalement au sein de la structure primaire de la coque, dans sa partie arrière, ont en effet permis de renforcer les chronologies moyennes bâties à l'issue de la campagne 2005 et de dater l'abattage de chênes et de sapins utilisés pour la construction au début des années 50 ap. J.-C. Enfin, la réalisation d'un nouveau sondage contigu à l'épave est venu confirmer la pérennité «relative» d'une stratigraphie dans laquelle s'inscrivait le chaland (pl. I) (*infra*, p. 36).

## 2010

Enfin, la troisième année de fouille programmée a porté, avec le démontage des aménagements internes de la partie arrière, sur la poursuite de la documentation des structures primaires du chaland situées entre les membrures M102 et M112, sur une longueur de 6 mètres. La mise au jour, au cours de cette même campagne, d'une planche de fermeture transversale située à l'avant du chargement a également validé l'hypothèse de l'existence d'un caisson. Enfin, la découverte de la proue a permis de confirmer que l'épave *Arles-Rhône 3* était quasiment complète<sup>7</sup>, d'une extrémité à l'autre, et de révéler la forme très fuselée du chaland. La longueur de l'épave avait alors été évaluée à 30,70 m.

La fouille du dépotier portuaire recouvrant l'épave, au moyen de sondages situés au niveau de l'avant du caisson et de la proue (pl. I), restituait un grand nombre d'amphores et de vases en céramique. L'étude d'ensemble présentait, au travers un NMI (Nombre Minimum d'Individus) supérieur à 1600, un contexte homogène constitué entre les périodes flavienne et trajane. Cet ancrage chronologique semblait confirmé par la présence des monnaies mises au jour.

Si les recherches, conduites dans le cadre de ces campagnes de fouille programmée, ont essentiellement porté sur l'architecture du bateau, associé à un important travail de dendrologie, l'étude de l'épave *Arles-Rhône 3* a toujours été conduite dans sa globalité, en lien avec son contexte historique et environnemental. Elle a ainsi impliqué, depuis 2008, de nombreuses collaborations scientifiques liées aux études céramologiques, anthracologiques, polliniques, géologiques, géomorphologiques et à celle des tissus utilisés pour l'étanchéité du bateau (Djaoui, Greck, Marlier 2011, p. 126-207)<sup>8</sup>.

C'est en raison de son intérêt scientifique et patrimonial, révélé par l'ensemble de ces campagnes, que le Conseil général des Bouches-du-Rhône, en accord avec le Drassm, a décidé, en octobre 2010, de procéder à la fin de la fouille et au relevage de cette épave.

7. À l'exception de la partie arrachée sur bâbord arrière (*infra*, p. 77).



## LA FIN DE LA FOUILLE ET LE RELEVAGE DE L'ÉPAVE (2011)

### LE CADRE DE L'OPÉRATION

L'opération de fouille-relevage de l'épave *Arles-Rhône 3*, conduite en 2011, s'inscrit dans un projet muséographique de grande envergure qui comprenait aussi sa restauration ainsi que l'extension du musée de l'Arles antique pour recevoir le chaland remonté. Cette nouvelle aile devait aussi permettre de recevoir une collection de quelques 480 objets ayant trait au commerce, à la navigation et aux activités du port fluvio-maritime à l'époque romaine. D'une durée de trois ans, ce projet global, lancé par le Conseil général des Bouches-du-Rhône, faisait partie de la programmation de «Marseille-Provence Capitale Européenne de la culture 2013». Le ministère de la Culture a en outre classé, en novembre 2010, le chaland *Arles-Rhône 3* comme «trésor national»<sup>9</sup>. Avec un budget global de 9 millions d'euros pour l'ensemble du projet, ce sont près de 2 millions d'euros qui ont été attribués à la fouille et au relevage du chaland. Pour réaliser cette opération, un marché public a été mis en place par le Conseil général des Bouches-du-Rhône et un appel d'offre européen a été lancé à la fin de l'année 2010. À l'issue de l'examen des dossiers de candidatures, le Conseil général, en accord avec le Drassm, a attribué le marché en mars 2011 au groupement solidaire des entreprises O'Can-Ipso Facto (Marlier *et al.* 2013).

La mise en place d'un marché public, dans le cadre d'une opération de fouille programmée, est une première en France puisque, si ce type de configuration est la règle en archéologie préventive, les fouilles programmées s'effectuent, le plus souvent, dans le cadre de demandes de subventions adressées au ministère chargé de la culture et aux collectivités territoriales ; les fouilles peuvent aussi bénéficier de financements extérieurs dans le cadre d'actions de mécénat ou de sponsoring.

Si l'opération de fouille-relevage a été attribuée, par le biais d'un marché public, à deux entreprises privées, l'autorisation de fouille a été donnée à Sabrina Marlier, alors chargée de mission auprès du Conseil général des Bouches-du-Rhône, rattachée au Musée départemental Arles antique. Le musée était en outre maître d'œuvre du chantier et l'ensemble de ses services s'est fortement impliqué dans la préparation, la mise en place et le déroulement de l'opération, de la fouille au musée.

En tant que service du ministère de la Culture, en charge de la gestion du patrimoine subaquatique et sous-marin, le Drassm était naturellement partenaire de l'opération. Son implication est intervenue en amont du projet. Son directeur, Michel L'Hour, a tout d'abord donné son accord pour le relevage de l'épave *Arles-Rhône 3* en vue de sa restauration et de sa présentation au public au sein du musée archéologique d'Arles. Les différents spécialistes du Drassm ont également été consultés pour la validation des chaînes opératoires mises en place dans le cadre du chantier<sup>10</sup>. Durant l'opération de fouille-relevage, le Drassm a finalement assuré un contrôle régulier de l'ensemble des opérations mais a aussi apporté son concours en détachant ponctuellement plusieurs de ses agents pour prendre part au chantier. En dernier lieu, le Drassm assure la mise en dépôt de l'épave mais aussi de toutes les collections archéologiques issues de la fouille *Arles-Rhône 3* au sein du musée (pour plus de détails sur le cadre administratif de l'opération, cf. Annexe 2) (fig. 13).

Fig. 13: Le chantier de fouille-relevage, en 2011, déployé à terre et sur l'eau (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/GG13).

8. Les premiers résultats relatifs à l'étude de l'épave ont par ailleurs été présentés durant cette période dans le cadre de colloques internationaux, d'une table-ronde et de séminaires (Allemagne, France, Turquie) (Long, Rival, Marlier 2009; Marlier 2011b; Greck, Guibal 2011; Marlier *et al.* 2012b) ainsi que dans le cadre de nombreuses conférences destinées au grand public. L'épave a également fait l'objet d'une exposition temporaire qui s'est tenue du 4 juin 2011 au 6 mai 2012 au MdAa (Commissaire d'exposition D. Djaoui) et a donné lieu à la publication d'un catalogue (Djaoui, Greck, Marlier 2011). Enfin, un film documentaire grand public a été réalisé en 2009 par M. Pradinaud (*Arles, l'histoire engloutie*, 51', BPDm, Arkaeos/MdAa) et un film d'animation 3D a été réalisé la même année par des étudiants de l'école d'infographie Supinfocom d'Arles (M. Cazaux, F. Conil, J. Pasquet, D. Schiano), avec l'encadrement et la collaboration scientifiques de S. Marlier et D. Djaoui (*Arles-Rhône 3. De la fouille à la restitution d'un chaland gallo-romain*, 4'18 mn, Supinfocom/MdAa) (Marlier 2010b).

9. Le droit français reconnaît, sous la qualification de «trésors nationaux», des biens culturels dont l'importance patrimoniale justifie un statut et une protection particuliers.



## ORGANIGRAMME SYNTHÉTIQUE DE L'OPÉRATION

Du point de vue administratif, c'est donc une configuration très particulière et complexe qui a présidé à l'opération de fouille et de relevage du chaland. Cette organisation, pour une meilleure compréhension du cadre dans lequel s'est déroulée l'opération, est ici résumée en quelques lignes :

- *Maîtrise d'Ouvrage*: Conseil général des Bouches-du-Rhône, pilotée par Jean-Louis Vassallucci ;
- *Maîtrise d'Œuvre*: Musée départemental Arles antique, sous la direction générale de Claude Sintès ;
- *Responsable d'Opération et coordination de l'ensemble des opérations, de la fouille au musée*: Sabrina Marlier (MdAa) ;
- *Opérateurs pour la fouille et le relevage*: le groupement O'Can-Ipso Facto, sous la direction de Mourad El Amouri, Charles Arnulf et Bertrand Delalle ;
- *Opérateurs pour les interventions de démontage et de conditionnement des bois de l'épave sur le terrain*: ARC-Nucléart et A-Corros, sous la direction de Francis Bertrand, Philippe de Viviés et Jean-Bernard Memet ;
- *Suivi scientifique et réglementaire*: Drassm, sous la direction générale de Michel L'Hour.

## L'ÉQUIPE DU CHANTIER DE FOUILLE-RELEVAGE

L'équipe a compté une cinquantaine de personnes réparties entre le terrain et le Musée départemental Arles antique.

### L'équipe dirigeante

L'équipe dirigeante était constituée de cinq personnes : quatre archéologues-plongeurs, co-responsables scientifiques, et un scaphandrier, chef de chantier.

Si l'autorisation de fouille programmée pour l'année 2011 a été accordée à Sabrina Marlier, c'est bien une codirection scientifique à quatre têtes qui a été mise en place et a conduit le chantier de fouille-relevage de l'épave *Arles-Rhône 3*. Une collaboration étroite entre le Musée départemental Arles antique, représenté par Sabrina Marlier et David Djaoui, et la société Ipso Facto, représentée par Mourad El Amouri et Sandra Greck, a présidé à la direction scientifique des opérations. La méthode et la stratégie de fouille, ainsi que les différentes chaînes opératoires mises en œuvre sur le chantier, de la fouille au musée, ont été élaborées par ce quatuor qui a en outre assuré, de façon parfaitement complémentaire en fonction de leurs spécialités respectives et de leurs compétences, un suivi continu de la fouille, aussi bien sous l'eau qu'à terre.

L'organisation globale du chantier, du point de vue logistique, technique et sécuritaire, aussi bien à terre que sous l'eau, a été assurée par Benoît Poinard, scaphandrier et chef de chantier de la société O'Can. En plus d'avoir conçu, en relation avec le bureau d'ingénierie d'O'Can, tout le système de relevage du bateau, celui-ci a également préparé et mis en place l'ensemble du chantier, d'un point de vue logistique et technique ; il a en outre assuré la responsabilité de la sécurité du chantier en plus de sa responsabilité de Chef d'Opération Hyperbare<sup>11</sup>. Afin de l'assister, voire de le suppléer en cas d'absence, John Viney, également scaphandrier (O'Can), a assuré le rôle de chef d'équipe.

### L'équipe de terrain

L'équipe de terrain était constituée d'archéologues, de scaphandriers, de techniciens, de conservateurs-restaurateurs et de photographes rattachés au Musée départemental Arles antique, aux sociétés O'Can et Ipso Facto, au Drassm ainsi qu'aux ateliers de restauration ARC-Nucléart et A-Corros. Des collaborateurs scientifiques, issus du CNRS (CCJ, IMBE, LSIS) ou des Universités (Aix-Marseille Université), sont en outre venus renforcer ponctuellement l'équipe.

Au total, ce sont dix-huit archéologues – quatre du musée de l'Arles antique, treize de la société Ipso Facto et un archéologue du Drassm – qui ont participé à l'opération, le noyau de l'équipe étant constituée de onze archéologues permanents. Parmi ces dix-huit archéologues, quatorze étaient des archéologues-plongeurs et quatre étaient des archéologues non plongeurs, attachés exclusivement à la réalisation des travaux à terre. Les postes occupés par les archéologues se répartissaient entre :

10. Le référent Drassm, pour la méthode et stratégie de fouille, était Y. Billaud (archéologue, ingénieur de recherche). Les référents, pour la chaîne opératoire concernant la conservation préventive du mobilier archéologique, de la fouille au musée, étaient N. Huet (ingénieur de recherche) et L. Reboul (conservatrice-restauratrice).

11. Le Chef d'Opération Hyperbare (COH) a pour responsabilité l'organisation des plongées, de la sécurité et des procédures de plongées. Sur les chantiers de travaux subaquatiques, c'est le chef de chantier qui assure traditionnellement ce rôle.

- la fouille subaquatique ;
- le tri du mobilier archéologique au rejet des suceuses à air, sur le ponton ;
- l'assistance à la cellule conservation pour la prise en charge du mobilier à terre ;
- l'inventaire de ce mobilier (essentiellement quatre archéologues affectés à ce poste) ;
- la prise en charge des pièces de bois et des tronçons à terre pour leur documentation, dont les relevés 3D (six archéologues, par rotation, affectés à ce poste).

Douze scaphandriers de la société O'Can – pour une équipe permanente de six à huit personnes – se sont relayés durant toute la durée du chantier. Les rôles des scaphandriers ont été les suivants :

- la mise en place du chantier ;
- le suivi et le contrôle des plongées ;
- la fouille du dépotoir portuaire, en relation avec les archéologues ;
- le tri du mobilier archéologique, en binôme avec un archéologue, au rejet des suceuses à air, sur le ponton ;
- la maîtrise et l'exécution de toute la chaîne opératoire pour le relevage des tronçons, de la réalisation des tranchées latérales au relevage, en passant par la mise en place du berceau et la découpe des tronçons ;
- la conception et la réalisation de matériel particulier (piscines pour la réception des bois en attente de documentation, chariot pour la réception des tronçons de l'épave...), en fonction des besoins.

Le chantier a également compté deux techniciens hyperbares. Le premier, en la personne de Jean-Luc Verdier (Ipsa Facto) a été présent pratiquement durant toute la durée du chantier tandis que le second, Christian Péron (Drassm) a rejoint l'équipe de façon ponctuelle. Techniciens hyperbares dédiés le plus souvent, voire exclusivement, aux fouilles archéologiques sous-marines, ces membres de l'équipe se trouvaient, du point de vue de leurs tâches, à l'interface entre les archéologues et les scaphandriers.

La responsabilité de la conservation préventive, sur le terrain, était assurée par Ethel Bouquin (Ipsa Facto) en charge, depuis 2008, de cette fonction sur les opérations de fouille programmée consacrées à l'épave *Arles-Rhône 3*. Assistée d'un ou de plusieurs archéologues, sa mission était liée à la prise en charge et au suivi du mobilier archéologique, depuis sa sortie de l'eau jusqu'à son conditionnement pour le transport au musée.

Les équipes de restaurateurs, sur le terrain, étaient constituées de restaurateurs et d'assistants restaurateurs, de régisseurs de collections, d'un menuisier et de stagiaires dépendants des laboratoires ARC-Nucléart (sous la direction, pour l'ensemble de l'équipe de restaurateurs, d'Henri Bernard-Maugiron) et A-Corros (sous la responsabilité de Philippe de Viviés) ainsi que de l'atelier de restauration et de conservation du MdAa (sous la responsabilité de Marie-Laure Courboulès). Ces équipes étaient affectées à la prise en charge des tronçons et des pièces de bois de l'épave, de leur sortie de l'eau à leur conditionnement pour leur transport à Grenoble, au laboratoire ARC-Nucléart.

Deux photographes, Lionel Roux et Teddy Seguin (O'Can-Ipsa Facto), se sont relayés durant les sept mois de chantier pour assurer aussi bien les prises de vue subaquatiques que les prises de vue à terre. Dédiés à la documentation photographique, ils ont suivi l'avancée du chantier sous l'eau et ont assuré les prises de vue du mobilier et de l'épave *in situ* ; ils ont également assuré les clichés de tous les objets isolés, à terre (au total plus de 4 000 objets), ainsi que la documentation des tronçons et des pièces de bois, à terre, avec les vues générales et de détails ainsi que toutes les photographies liées à l'analyse dendrochronologique. Ce sont au final près de 14 600 photos, couvrant tous les aspects du chantier, qui ont été réalisées par les photographes. Dans le cadre d'un autre marché public, lancé par le Conseil général des Bouches-du-Rhône, le photographe Rémi Bénali (Studio Atlantis) a également été retenu pour suivre l'ensemble de l'opération *Arles-Rhône 3*, de la fouille à l'inauguration de l'extension du Musée départemental Arles antique.

Sur le terrain, plusieurs collaborateurs scientifiques sont venus renforcer l'équipe et effectuer des tâches précises.

Le Centre Camille Jullian (CCJ) était présent, comme les années précédentes, en la personne de Pierre Poveda. Alors doctorant en archéologie navale, ce dernier a mis en place la méthodologie adoptée pour le relevé 3D des bois et des tronçons de l'épave, à terre. Il a en outre participé à la réalisation d'une partie de ces relevés et à la documentation des bois. Laurent Claquin, également doctorant en archéologie rattaché au CCJ, a intégré l'équipe durant un mois.

Le Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes (LSIS) est intervenu avec Pierre Drap, chargé de recherche au CNRS, assisté d'Olivier Bianchimani (Septentrion Environnement) et de Jean-Luc Verdier, pour assurer la photogrammétrie 3D de l'épave *in situ*, avant son relevage. Cette documentation n'ayant pas donné les résultats escomptés, en raison des mauvaises conditions de visibilité, leur intervention s'est résumée à une semaine de prise de vue avant qu'il ne soit décidé de stopper les opérations (*infra*, p. 44).

L'Institut Méditerranéen d'Écologie et de Paléoécologie (IMEP), maintenant Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale (IMBE), est intervenu, en la personne de Frédéric Guibal, chargé de recherche au CNRS, pour assurer une partie de l'enregistrement de la documentation destinée aux analyses dendrochronologiques de l'épave qu'il conduit en collaboration avec Sandra Greck depuis 2005.

Le Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE) est également intervenu par l'intermédiaire de Claude Vella, maître de conférences à l'Université Aix-Marseille, pour le suivi des opérations de carottage réalisées sur le site, dans la perspective de l'étude du contexte environnemental de l'épave.

### L'équipe du Musée départemental Arles antique

Placé sous la direction de Pascale Picard, une partie du personnel du service conservation du musée a été impliquée dans l'opération de fouille-relevage. Dans la mise en place de protocoles et d'outils, en amont, et par la participation de ses membres durant la fouille, pour la prise en charge du mobilier archéologique, son informatisation et la géographie des collections. Soizic Toussaint a ainsi été chargée de la mise en place des outils et protocoles sur la base TMS (The Museum System). Aurélie Koecke, prestataire de l'entreprise IBM Conservation, était chargée du traitement de gestion du mobilier archéologique avec la réception journalière du matériel archéologique issu des fouilles, la saisie informatique dans la base de données TMS, le rangement et la localisation de tout le matériel. Valérie Clénas assurait en outre un suivi complémentaire des objets fragiles et à restaurer.

En parallèle de cette mission d'enregistrement et de conditionnement, l'atelier de conservation et de restauration du musée, sous la direction de Patrick Blanc, est intervenu pour effectuer, à la suite des premières interventions réalisées sur le terrain, les gestes de sauvegarde pour le mobilier fragile, les matériaux organiques et le mobilier précieux sortis du Rhône. Cette mission était assurée par Aurélie Martin.

Également sollicités, les techniciens du musée ont joué un rôle important pour l'acheminement quotidien du mobilier archéologique, du terrain au musée. Ils ont également assuré la réalisation d'une grande partie des châssis en bois utilisés pour le conditionnement des pièces du caisson du chaland.

Au terme de sept mois de fouille (13 avril-16 novembre 2011), qui totalisent 4 300 heures de travail subaquatique<sup>12</sup>, cette ultime opération de fouille programmée sur le site *Arles-Rhône 3* aura permis de fouiller et tamiser en surface près de 900 m<sup>3</sup> de sédiments du dépotoir portuaire dans lequel gisait l'épave (*infra*, chapitre suivant). La stratigraphie du dépotoir a pu être documentée et le mobilier issu de cette fouille a été pris en charge à terre par la cellule conservation préventive jusqu'à son conditionnement et transport au musée ainsi que par les archéologues pour son enregistrement. Tout ce mobilier a fait l'objet, au musée, d'un enregistrement et d'un rangement systématique dans les réserves, en attente d'études et d'analyses, qui sont aujourd'hui en cours, ainsi que d'un inventaire définitif. Les bois et les tronçons de l'épave ont été documentés à terre, par les archéologues et les dendrologues, avant d'être pris en charge par les restaurateurs pour être redécoupés et démontés puis conditionnés pour leur transport à l'atelier ARC-Nucléart à Grenoble afin d'y être restaurés (*cf.* Annexe 3).

12. Plongées au scaphandre et plongées autonomes confondues.



# CHAPITRE 2. MÉTHODOLOGIE. DE LA FOUILLE EN MILIEU SUBAQUATIQUE À L'ÉTUDE À TERRE : DÉFINITION DES CHAÎNES OPÉRATOIRES MISES EN PLACE

## FOUILLE SUBAQUATIQUE ET DOCUMENTATION

### DIFFICULTÉS DES FOUILLES DANS LE RHÔNE

Sabrina MARLIER

#### Note concernant les tableaux :

La « longueur totale » signifie une pièce complète sur laquelle il a été possible de prendre les dimensions originales.

La « longueur conservée » signifie une pièce non complète sur laquelle la longueur mesurée correspond à la dimension archéologiquement conservée.

La « longueur restituée » signifie que cette dimension a été mesurée directement sur le modèle 3D réalisé à partir du relevé tridimensionnel de l'épave.

Les deux décimales, après la virgule, résultent de dimensions précises mesurées directement sur le relevé 3D (précision de l'ordre du mm).

Quand une seule décimale est indiquée, c'est que la mesure a été prise directement sur le vestige archéologique.

Ces remarques s'appliquent à l'ensemble des tableaux présentés dans cette étude.

En raison d'une visibilité limitée due à la turbidité des eaux et d'un courant plus ou moins fort, les conditions de travail dans le Rhône sont généralement difficiles. La limite haute pour plonger en toute sécurité étant située aux alentours d'un débit de 1300 m<sup>3</sup>/s, le fleuve, au niveau d'Arles, offre finalement très peu de « fenêtres » aux archéologues-plongeurs pour intervenir. Les conditions habituelles, en termes de débits mensuels moyens, ne permettent généralement pas d'assurer des plongées hors des périodes comprises entre juin et novembre<sup>1</sup>. Le début de l'automne voit alors, avec les fortes pluies et les orages en amont, des épisodes de crue plus ou moins importants, mais récurrents, tandis que le printemps voit le fleuve se grossir en raison de la fonte des neiges.

Le Rhône étant cependant capricieux, nous avons pu voir, entre 2006 et 2011, des mois censément favorables qui ne l'ont pas été – comme le mois d'août 2007 qui a vu une crue inhabituelle pour cette période de l'été, avec un débit moyen de 1430 m<sup>3</sup>/s – et, inversement, des mois généralement non « plongeables » qui l'ont été. Ainsi l'opération de fouille-relevage qui s'est déroulée sur une période de sept mois (13 avril-16 novembre 2011) a bénéficié d'une année exceptionnelle. Les débits du fleuve, en raison d'un hiver sec suivi d'un printemps également sec et chaud sur l'ensemble du bassin rhodanien, ont en effet été extrêmement faibles en cette année 2011 et l'étiage a été exceptionnellement précoce. L'hydraulicité du Rhône, fin avril, était alors très faible d'amont en aval avec un des plus bas débits moyens mensuels enregistré depuis 1920, permettant ainsi les plongées dès le 19 avril. Durant toute l'opération, le Rhône a également été favorable, enregistrant des débits moyens de 190 m<sup>3</sup>/s pour les plus faibles (courant mai) à des débits moyens de près de 1 200 m<sup>3</sup>/s (septembre-octobre) pour les plus forts, permettant des plongées quotidiennes sur toute la durée de l'opération avec seulement une interruption d'une semaine en juillet. Les conditions de visibilité ont par ailleurs été remarquables pour le mois de mai, de l'ordre de 1,50 m à 2 m tandis que pour les autres mois, les conditions enregistrées ont été celles que l'on connaissait généralement, à savoir de nulle à 50-70 cm maximum<sup>3</sup>. Pour souligner la chance incroyable dont nous avons bénéficié cette année-là, ajoutons que la dernière plongée du chantier, le 3 novembre, pour la fermeture du site, fut suivie – moins d'une heure après la sortie du dernier scaphandrier de l'eau – par une remontée exceptionnelle du niveau du Rhône s'accompagnant de très forts débits. S'en est suivi un épisode de crue important, le fleuve passant par-dessus les quais et les débits ayant atteint, au plus fort, les 6152 m<sup>3</sup>/s le 6 novembre.

À cet état « naturel » du fleuve, il convient de rajouter qu'en période favorable à la plongée, des épisodes ponctuels, tels que des lâchers de barrage effectués en amont, au niveau de Beaucaire, provoquent un courant accru et une visibilité extrêmement réduite. Des alertes à la pollution, aggravant l'état sanitaire du fleuve, peuvent aussi bloquer ponctuellement les plongées. Ainsi, l'alerte de pollution du Rhône, en juillet 2010, liée à une fuite d'uranium au niveau du site de Tricastin a conduit à interrompre les plongées le temps d'obtenir des informations sur la situation et l'état du fleuve.

1. D'après les moyennes des débits mensuels relevés entre 1920 et 2006 pour la station fluviale de Beaucaire, selon les bulletins mensuels de situation hydrologique du Bassin Rhône-Méditerranée de la CNR.

2. Le fort courant, joint à une visibilité quasi nulle, a bloqué la mission, empêchant toute plongée du 8 au 20 août 2007.

3. Conditions de visibilité sans éclairage.

Un autre risque des plongées dans le Rhône est la présence de déchets de toutes sortes qui gisent au fond du fleuve. Des objets tranchants de tailles diverses, allant de la carrosserie de voiture au tesson de verre en passant par des câbles en acier, jonchent le fond. La mauvaise visibilité et la tendance à circuler en tâtonnant augmentent ainsi le risque de blessure et d'accident.

En 2011, l'importance des volumes de sédiments déplacés et fouillés a aussi conduit à créer des bermes dont la hauteur était trop importante pour la sécurité des plongeurs. Si les sédiments en rive droite ont été contenus par un filet, il a toutefois fallu, à plusieurs reprises, réduire les hauteurs de ces bermes en les reculant afin d'atteindre des pentes de 45° environ (fig. 14).

En raison de toutes ces difficultés, seuls des plongeurs et des scaphandriers aguerris aux conditions du Rhône et maîtrisant rapidement le site archéologique ont pu travailler sur la fouille du gisement *Arles-Rhône 3*. Finalement, pour faire face à ces difficultés et faciliter l'adaptation des nouveaux membres de l'équipe à ces conditions de travail particulières, nous avons adopté et mis en place toute une série de mesures (équipement, entraînement, sécurité, santé, hygiène...) qui méritent d'être soulignées<sup>4</sup>.



**Fig. 14 :** Vue des filets de protection installés afin de contenir les bermes créées par la fouille de l'épave en 2011 (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

## FOUILLE DU DÉPOTOIR ET DOCUMENTATION (2007-2011)

### Fouille du dépotoir et documentation entre 2007 et 2010

David DJAOUI

L'épave *Arles-Rhône 3* se situe dans la zone du gisement A du système de repérage mis en place par Luc Long (Drassm) lors des campagnes de carte archéologique dans le Rhône, à Arles (Long 2008, p. 117) (fig. 4). Pour la fouille de l'épave, un carroyage a été matérialisé au moyen de rectangles de 2 m de longueur sur 2,50 m de largeur disposés en lignes parallèles au fleuve. À chaque axe correspond une lettre différente qui se décline longitudinalement, avec une numérotation continue (de 1 à X). La ligne des A détermine ainsi l'axe de l'épave (de A38 à A52), la ligne des B, strictement parallèle et contiguë, se situe vers le centre du fleuve et la ligne des Z du côté de la berge (pl. I). La numérotation du carroyage, débutée en 2006 et suivant le système de repérage de la carte archéologique du Rhône, commence à 38 en aval et va croissant vers l'amont.

L'implantation des tubes utilisés pour le carroyage a été topographiée par Vincent Dumas (CCJ/CNRS) en 2008 afin de les replacer et de situer ainsi exactement l'épave par rapport à la berge ainsi que dans le plan archéologique général de la ville d'Arles (fig. 4). La prise de points s'est effectuée depuis la berge à l'aide d'une station totale qui enregistrait les points donnés par la mire. Cette dernière, tenue en place par deux personnes – l'une en surface et l'autre sous l'eau – était en partie immergée grâce à une perche fixée à son extrémité qu'un plongeur était chargé d'encasturer sur le haut des tubes. Néanmoins, le courant, avec l'impossibilité de maintenir durablement une position à l'aplomb exact du point à relever, a eu pour conséquence d'engendrer des imprécisions de l'ordre de plusieurs centimètres. La mise au net permet cependant de rendre compte de la situation et de l'orientation générale de l'épave par rapport à la berge (fig. 3).

Au cours des différentes fouilles, des sondages ont été réalisés autour et au niveau de l'épave (B43 en 2008, Z44 en 2009, fin du caisson (à l'intérieur de A48) et proue (à l'intérieur de A51-A52 et B51-B2) en 2010) (pl. I). L'objectif visé était de replacer l'épave dans son environnement stratigraphique et paléoenvironnemental.

Du point de vue stratigraphique, les sondages de 2008 et 2009 (il s'agissait de sondages de 2 m × 2 m) ont permis de confirmer que l'épave reposait sur une couche argileuse, essentiellement stérile, et qu'en dépit d'un environnement très perturbé, les différents prélèvements, réalisés de façon artificielle tous les 40 cm, semblaient restituer la résilience d'une chronologie. En revanche, l'emploi de suceuses à eau et le temps imparti pour les fouilles, ne permettaient pas d'ouvrir une zone assez large pour pouvoir recueillir, au sein des couches les plus profondes, des quantités de matériels importantes.

Du point de vue paléoenvironnemental, des carottages ont également été effectués par Claude Vella lors de ces sondages, aussi bien sous l'épave que sur les côtés (pl. I) (*infra*, p. 65). L'objectif consistait à restituer une séquence stratigraphique pour appréhender tant la dynamique fluviale que les problématiques liées à la cause du naufrage ou les conditions de navigation de l'embarcation.

Au niveau de la localisation présumée de la proue, c'est un sondage de 4 m × 4 m qui a été implanté en 2010. Il a permis d'ouvrir, sous 1,50 m de sédiments, un carré central de 2 × 1,60 m. Cette large ouverture s'est effectuée selon un système de fouille en pyramide inversée, c'est-à-dire en créant des marches descendantes de 50 × 50 cm. Afin d'accélérer

4. Un protocole «santé et hygiène» a été mis en place en 2008 avec l'aide des docteurs Mathieu Coulange (médecin hyperbare à l'hôpital Ste-Marguerite, Marseille) et Brigitte Galy (médecin du CNRS et médecine préventive AISMT, Marseille). Ce protocole préconise notamment, pour l'équipement, l'utilisation de combinaisons étanches, de masques faciaux et de gants, et, pour la santé, d'être vacciné contre la leptospirose.

la vitesse de fouille, l'utilisation d'une suceuse à air manipulée par un scaphandrier spécialisé dans les travaux subaquatiques a été utilisée.

Finalement, des relevés bathymétriques ont été réalisés pour illustrer le profil des sondages (sondage au niveau de la fermeture avant du caisson et sondage au niveau de la proue) ainsi que la position de l'épave dans le sédiment (fig. 3).

## Fouille du dépotoir et documentation lors de l'opération de fouille-relevage de 2011

Mourad EL AMOURI

L'opportunité de déployer des moyens logistiques adaptés à l'ampleur des travaux et à l'incompressibilité des délais de réalisation a permis de réaliser la fin de la fouille et le relevage de l'épave *Arles-Rhône 3* en seulement sept mois.

### *Sous l'eau : méthodes et techniques de fouille*

L'ensemble de la fouille du dépotoir a été mené selon une spatialisation horizontale et un découpage stratigraphique vertical.

Sur le plan horizontal, la sectorisation a permis de créer un maillage artificiel. Les douze premiers mètres de l'arrière du chaland ayant déjà été fouillés les années précédentes (fig. 12), le même carroyage a été utilisé et prolongé pour délimiter la zone de travail située plus en amont et rejoindre le sondage réalisé en 2010 à la proue. Au total, c'est un rectangle de travail de 35 m de longueur sur 10 m de largeur qui a été réalisé. Au sein de ce rectangle, un découpage en trois secteurs a été réalisé entre l'arrière (la poupe = secteur 1), le centre (la zone de chargement = secteur 2) et l'avant de l'épave (la proue = secteur 3) (pl. I).

Si la spatialisation horizontale ainsi mise en œuvre est artificielle, le découpage stratigraphique a en revanche suivi au mieux la réalité du terrain. Dans un premier temps, pour les besoins de la photogrammétrie (*infra*, p. 44), mais aussi pour abaisser le « terrain » de manière à ne pas se retrouver sous des bermes trop hautes, et donc trop dangereuses pour les scaphandriers et les plongeurs (fig. 14), le dégagement préliminaire de l'ensemble du flanc bâbord a été réalisé. Ce grand décapage de surface a ainsi permis de niveler toute la zone de travail à cette même cote. Chaque premier numéro d'US de chacun des secteurs correspond à cette même couche de surface (1001, 2001, 3001). Une fois le décapage d'ensemble réalisé, la fouille s'est poursuivie par secteur, en suivant au mieux les Unités Stratigraphiques déterminées selon la nature des sédiments et la densité du mobilier qu'elles contenaient. Dans le secteur 1, dix-huit US (1002 à 1020) ont ainsi été enregistrées, trente-trois dans le secteur 2 (2002 à 2035), trente-deux dans le secteur 3 (3002 à 3034). La fouille du dépotoir a été réalisée au moyen de suceuses à air manipulées exclusivement par des scaphandriers avec le suivi d'archéologues-plongeurs pour l'enregistrement du matériel, son prélèvement ainsi que la documentation des différentes US.

L'un des objectifs de cette fouille était en effet de pouvoir documenter au maximum et, surtout, en étant le plus efficace possible, un dépotoir qui allait livrer une impressionnante quantité de mobilier. Sous l'eau, un important travail de sélection a été nécessaire tant les quantités de matériel étaient importantes. Ainsi, en accord avec le Drassm, le mobilier a été trié en excluant les panses d'amphores qui ne présentaient pas d'intérêt particulier (inscriptions) et qui ont été disposées dans des *big-bags*<sup>5</sup> à l'extérieur de la zone de fouille (en tout, environ 80). Le reste du mobilier a été documenté, soit par un croquis, soit par une photographie, et un numéro propre a été donné lorsque l'objet nécessitait d'être individualisé. Une fois documenté, et le numéro d'US correspondant noté, l'objet était alors remonté. En fonction de sa nature et de sa taille, trois techniques de prélèvement étaient possibles.

Le mobilier considéré comme fragile était prélevé sur le fond, à la main. Des boîtes munies d'un couvercle permettant de préserver l'intégrité de l'objet prélevé étaient utilisées pour la remontée du mobilier directement par les archéologues à la fin de leur plongée. Les catégories de mobiliers prélevées de cette manière ont concerné les matériaux organiques particulièrement fragiles, mais aussi les petits objets tels que les monnaies, les stylets, les lampes à huile, les parois fines *etc.* Un autre type de mobilier, comme les amphores entières, ont souvent fait l'objet d'attentions particulières lors de leur remontée lorsqu'elles présentaient des points de fragilité manifestes.

Le mobilier moins fragile prenait un autre chemin, celui de la « caisse orange » où étaient disposés les objets, le plus souvent placés dans des caisses, et toujours numéroté par US. Une fois la « caisse orange » pleine, les scaphandriers demandaient à ce qu'elle soit remontée en surface, vidée et aussitôt ré-immersée.

5. Il s'agit de sacs d'emballage en polypropylène d'une contenance de 1 tonne chacun.

Enfin, les sédiments aspirés par les suceuses à air étaient directement rejetés en surface dans deux tamis mis en place sur un ponton flottant (*infra*).

#### *La documentation in situ*

Tout au long de la fouille, et à chaque fois que cela était possible ou nécessaire, les archéologues-plongeurs ont procédé à des croquis de situation de vestiges particuliers et, de manière plus systématique, des amphores entières. D'autres relevés graphiques ont été effectués, notamment pour situer la seconde interruption dans le chargement de pierres (dans la moitié avant du caisson) et son calage général par rapport aux flancs de l'épave.

Six coupes stratigraphiques du contexte archéologique dans lequel se trouvait l'épave ont également été réalisées. Les coupes ont été levées sous l'eau à l'échelle du 1/10<sup>e</sup>. Trois coupes stratigraphiques du dépotoir ont été réalisées perpendiculairement à l'axe du Rhône. Il s'agit des coupes 1, 2 et 3. Les coupes 4, 5 et 7 ont été positionnées dans l'axe du fleuve sur les bermes de l'emprise générale de la fouille<sup>6</sup> (pl. I).

La coupe 1 (environ 9 m de largeur pour plus de 3,50 m de hauteur) est le résultat de la compilation de plusieurs relevés. En effet, au fur et à mesure de l'avancée des travaux nous avons tenté de garder le même axe pour réaliser cette coupe transversale à l'épave, située au niveau du départ de la levée avant. Elle a ainsi été réalisée en deux temps au-dessus du chaland puis dans un troisième temps après le relevage de l'épave.

L'enregistrement des US (au total 86) et le relevé de différentes coupes stratigraphiques ont permis d'établir un diagramme stratigraphique qui illustre l'état actuel de l'analyse en attendant de pouvoir confronter et croiser les données des différentes études de mobilier en cours. Seul un traitement statistique des mobiliers pouvant servir de marqueur chronologique permettra, à terme, d'extraire des informations pour valider et préciser la chronologie relative établie d'après les données de terrain et les données résultant des études géomorphologiques.

#### *En surface, un tamisage de 900 m<sup>3</sup> de sédiments*

L'utilisation d'aspirateurs à gros rendement pour la fouille du dépotoir a permis d'extraire l'épave de l'emprise des sédiments représentant un volume estimé à 900 m<sup>3</sup>. Afin de contrebalancer ces techniques de fouille intensives, un système de tamisage des sédiments aspirés et rejetés a été mis en place en surface. L'équipe du ponton, en contact radio permanent avec le relais surface des scaphandriers, pouvait suivre l'avancée de la fouille et il était ainsi possible de savoir en temps réel de quelle US provenait les rejets de chaque suceuse (fig. 15). Une fois remplies, les caisses étaient déversées sur une table de tamisage et le tri pouvait être effectué afin de récupérer le matériel archéologique qui n'avait pas pu être prélevé sous l'eau. Le mobilier était alors réparti par type dans des contenants appropriés. Un tri permettait aussi d'exclure le matériel sans intérêt scientifique particulier. Comme ce qui était pratiqué sous l'eau, ce mobilier – pour la plupart des tessons d'amphores et de céramiques – était stocké dans des *big bags* sur le ponton avant d'être remis régulièrement à l'eau sur les abords de l'épave.

Ce dispositif a ainsi permis de recueillir, au rejet des suceuses, une quantité importante de petit matériel (monnaies, bijoux, lampes à huile, ossements...).

Tout le matériel archéologique prélevé était ensuite acheminé vers l'atelier de nettoyage/enregistrement/stockage dans le hangar. À la fin du chantier, tous les *big bags* (ceux remplis sous l'eau, ceux remplis sur le ponton lors du tri des paniers et ceux remplis à terre) ont été déposés dans le négatif créé par l'enlèvement du chaland, au total 120 sacs d'une tonne chacun.

## LA CONSERVATION PRÉVENTIVE DU MOBILIER ARCHÉOLOGIQUE

### Du terrain...

Ethel BOUQUIN

L'état de conservation exceptionnel des objets dans le Rhône, notamment les matériaux organiques, est dû aux excellentes conditions d'enfouissement : en eau douce, sous un limon argileux qui crée une barrière contre les facteurs de dégradation (oxygène, lumière, courant...). Un équilibre s'est formé au cours du temps entre les objets et leur milieu d'enfouissement. Lors de la fouille archéologique, cet équilibre est rompu par le changement soudain de milieu, qui peut provoquer une reprise des altérations (chimiques, physiques ou biologiques). Si rien n'est fait pour protéger les objets, des dégradations importantes peuvent se produire. Ainsi, l'assèchement rapide du bois provoque sa

6. Les coupes 5 et 7 ont été relevées à des fins plus géomorphologiques qu'archéologiques vers la poupe du chaland, au niveau du secteur 1.



**Fig. 15:** Le ponton en bidons flottés avec le rejet des suceuses à air dans des paniers d'une maille de 10 mm chacun (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



déformation irréversible, les céramiques peuvent se fissurer lors de l'évaporation brutale de l'eau contenue dans leurs pores.

Dès 2008, la prise en charge du matériel archéologique a été au cœur des préoccupations de l'équipe de fouille du site *Arles-Rhône 3*. Depuis cette date, une spécialiste en conservation-restauration a été associée à chaque opération de terrain.

Les objectifs de la conservation préventive sont de plusieurs ordres. Il s'agit tout d'abord d'assurer la pérennité des objets (conservation et conditionnement pour leur transport et leur stockage), de sauvegarder et d'enregistrer les données archéologiques, mais aussi de permettre l'accessibilité des objets aux chercheurs ou au public. Pour cela, une chaîne opératoire a été mise en place, permettant une prise en charge rapide et continue du mobilier archéologique, depuis le site jusqu'au lieu de stockage (MdAa). Grâce à cette collaboration suivie, le protocole était déjà bien rodé lors de l'opération de fouille-relevage de 2011. Il a été complété pour répondre aux spécificités de ce chantier, à savoir, la présence de nombreux fouilleurs, la découverte d'un matériel archéologique extrêmement riche et le tri du matériel au rejet des suceuses à air.

Dans la pratique, il s'agissait en grande partie de conservation préventive : l'action s'est concentrée sur l'environnement de l'objet plutôt que sur l'objet lui-même. Les objets les plus sensibles (le métal, les matériaux organiques comme le bois ou le textile, les céramiques très altérées) étaient conservés dans un milieu proche de leur milieu d'enfouissement : dans l'eau, en limitant l'apport d'oxygène, à l'abri de la lumière.

Pour le mobilier le mieux conservé (céramique, fragments de verre, os et coquillages), un nettoyage et un séchage ont aussi été effectués ainsi que quelques gestes de conservation curative et de restauration (par exemple des consolidations ponctuelles). Ceci afin de faciliter l'identification, le stockage et l'étude du mobilier le plus résistant et le plus nombreux.

Avant le départ pour le musée, l'ensemble du matériel pris en charge a reçu un premier numéro d'inventaire et fait l'objet, pour les pièces isolées, d'une première documentation (fiches d'enregistrement et photographies) de la part des archéologues.

### ... au musée: le suivi du matériel fragile

Marie-Laure COURBOULÈS, Aurélie MARTIN

Au laboratoire de restauration du musée, les conservatrices-restauratrices se sont attachées à suivre l'état de conservation du mobilier sensible : matériaux organiques, bois, cuir, liège, vannerie, cordage, os, verre, céramique, inscriptions peintes... Les interventions variaient selon la destination du matériel : réserve, étude, analyse et restauration, toujours avec le souci de préserver et transmettre les objets mais aussi les informations archéologiques qu'ils contiennent. Issus du fleuve, aujourd'hui en réserve ou exposés dans l'extension du musée, ces mêmes objets s'acclimataient à leur nouvel

environnement et réclament un suivi attentif. De la série d'objets à l'*unicum*, la conservation de cette grande variété de matériel réclamait des opérations très différentes. Le suivi des objets s'est effectué pendant et après la fouille, sur près d'une année. Il consistait en la conservation en eau des matériaux organiques et des métaux en attente de traitement ; au séchage lent des éléments en os, ivoire et verre, perle de culture et céramique, avec une surveillance particulière pour les inscriptions peintes et pour les bouchons en liège et cols d'amphores avec bouchons retrouvés en grande quantité (une cinquantaine). Les petits objets gorgés d'eau étaient conservés au froid. Pour les plus grandes pièces, il fallait limiter les éléments extérieurs, source de contamination (chaleur, oxygène, lumière) par un contrôle continu des niveaux d'eau et des développements de microorganismes. Malgré cette vigilance constante, des traitements bactéricides ont dû être réalisés. Les systèmes de conditionnement en eau étaient pensés pour permettre les nombreuses manipulations nécessaires aux observations des archéologues, des chercheurs et des restaurateurs. Le séchage lent par paliers successifs et contrôle de l'hygrométrie s'est fait en chambres humides. Avant, pendant ou après le séchage, certains objets ont nécessité des consolidations. Un lot de tissus poissés, provenant de l'épave, a fait l'objet d'une préparation particulière pour en permettre l'étude. La poix fut retirée pour pouvoir déplier les tissus, les sécher et les conditionner pour leur transport.

## Bilan

La réussite de cette opération, du point de vue de la conservation, est à mettre au compte de plusieurs facteurs cumulés. Tout d'abord, de bonnes conditions de conservation – grâce à un espace de traitement adapté – une bonne gestion du transit des objets vers le musée, du matériel de conservation en quantité suffisante et une adaptation du personnel sur le terrain à toutes les surprises réservées par les découvertes archéologiques. Ensuite, la présence d'une équipe qualifiée pour une prise en charge efficace et rapide, dont une restauratrice responsable de la conservation du matériel archéologique sur le terrain, des assistants archéologues sensibilisés à la conservation (tri, lavage, conditionnement) et la dispense d'une formation aux protocoles de conservation à l'ensemble de l'équipe. Enfin des conseils et une assistance de la part de la cellule de conservation préventive du Drassm.

Une chaîne en flux tendu sans rupture dans la communication, d'amont en aval et d'aval en amont, a ainsi pu être mise en place : depuis le travail sous l'eau jusqu'au musée et vice-versa (relation audio-vidéo et téléphonique constante entre les postes) et éviter les pertes d'information archéologique avec le report méthodique des numéros d'enregistrement de chaque objet.

## FOUILLE DE L'ÉPAVE ET DOCUMENTATION (2007-2011)

Sabrina MARLIER et Sandra GRECK

Après avoir fouillé le dépotoir portuaire et atteint l'épave, la fouille a porté sur le contenu du bateau (mobilier de bord et chargement), d'une part, et sur les structures de la coque, d'autre part.

### Fouille et documentation du mobilier de bord

Découvert sur l'arrière, en 2007, le mobilier de bord était scellé contre le bois de l'épave par une épaisse couche d'argile, permettant ainsi de le différencier du mobilier appartenant au dépotoir portuaire (fig. 9). Constitué de matériel céramique et d'outils répartis autour d'un fond de *dolium*, ce mobilier a été dégagé au moyen de suceuses à eau. Chaque élément a ensuite reçu un numéro d'inventaire de fouille se déclinant en numéros d'objet. L'ensemble du mobilier archéologique a été localisé dans la maille de la membrure par des croquis (pl. I) et photographié *in situ* avant d'être remonté dans des sachets hermétiques ou des boîtes en plastique pour les objets les plus fragiles et d'être pris en charge par la restauratrice en charge de la conservation préventive sur le terrain (*supra*).

À ce mobilier, il convient de rajouter la découverte, en 2011, de bois de chauffage stockés en avant de la varangue-emplature ainsi que de deux perches et d'un cordage

aux dimensions importantes situés à la proue (pl. I). Ceux-ci ont été fouillés et prélevés de la même manière.

### Fouille et documentation du chargement

Après qu'une partie des pierres eut été enlevée lors de l'expertise de 2005 (fig. 6), il a été procédé, dès 2008, au nettoyage systématique des pierres, couche par couche, au moyen d'une suceuse à eau. Ainsi dégagée, la cargaison a pu être dessinée, pierre à pierre et couche par couche, au moyen d'une grille de 1 × 1 m quadrillée selon un maillage de 10 × 10 cm sur une surface de 10 m<sup>2</sup>. En 2011, lors du chantier de fouille-relevage, c'est une photomosaïque de la couche supérieure de l'ensemble de la cargaison encore en place (sur une longueur d'environ 10 m) qui a été réalisée et qui a permis de compléter la suite de la planimétrie (fig. 16 et pl. I). Une fois documentées en place, les pierres ont ensuite été retirées à la main. Déposées sur le côté de l'épave, entre 2008 et 2010, le reste des pierres a ensuite été placé dans des *big bags* lors de la fouille de 2011. Une fois le chaland renfloué, ces sacs ont été remis en place dans le négatif laissé par l'épave. En 2008, sept pierres ont été prélevées pour faire l'objet d'une documentation à terre et d'analyses en laboratoire, au CICRP de Marseille, afin de les caractériser et d'en déterminer la provenance (*infra*, p. 248-249). En 2011, ce sont deux grands sacs de pierres qui ont été sortis de l'eau pour être acheminés au musée en vue de leur exposition.

Le démontage et le déplacement des pierres ont révélé l'existence de trois à quatre couches de blocs posés à plat pour la constitution du chargement (fig. 17, pl. III). Durant la fouille, deux interruptions dans la cargaison ont également été mises en évidence. Une première située en arrière, au niveau de la membrure M111, d'une largeur de moins d'un mètre. Une seconde interruption se situe dans la partie centrale de la cargaison de pierres mais est moins lisible que la précédente qui marque un passage latéral dans le chargement. Des relevés graphiques par triangulation ont été effectués pour situer ces lacunes au sein du chargement et restituer leur calage général par rapport aux flancs de l'épave (pl. I).

### Fouille et documentation de la coque

Une fois dégagée de son mobilier de bord et de sa cargaison, la coque de l'épave a été nettoyée à l'aide de suceuses à eau. Avant la documentation des structures, une consolidation de certaines des pièces a d'abord été réalisée à l'aide de broches et d'agrafes métalliques.

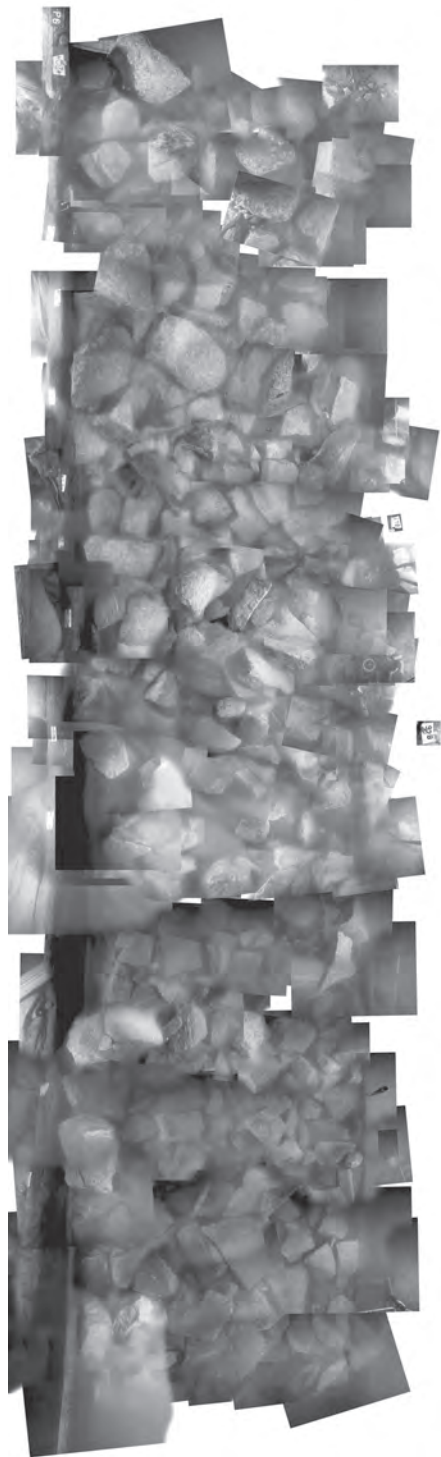
#### *Le marquage*

Avant d'entreprendre l'étude de la coque, l'ensemble des pièces constitutives de l'embarcation a dû être marqué pour permettre l'identification des structures architecturales. Cette identification est indispensable pour réaliser correctement aussi bien les observations – particulièrement difficiles dans des conditions de visibilité réduites –, les relevés architecturaux d'ensemble et de détails que les prélèvements pour l'identification des essences de bois utilisées dans la construction.

Un premier marquage par lettres a concerné les éléments constitutifs de la structure constituée de trois grands ensembles correspondant à la sole, aux bordés et à la charpente transversale. Chaque ensemble architectural a alors été décomposé en éléments qui ont été identifiés par un marquage distinct (voir tableau ci-dessous). À ces ensembles, il faut rajouter les tasseaux, les pièces architecturales constitutives du complexe du banc de mât (banc, pièces longitudinales et courbes de renfort), les aménagements internes (longerons, traverses, vaigres et cloisons), les éléments de doublage interne de la sole (marqués de la même façon que pour les planches de vaigrage) et les réparations.

Ce marquage a été suivi d'une numérotation simple, en continu, sachant que pour les éléments de bouchains, de bordés et les tasseaux, les chiffres impairs renvoient au côté bâbord du bateau et les chiffres pairs au côté tribord.

Le tableau suivant résume les marquages réalisés sur les structures et les éléments conservés du chaland (fig. 18).



**Fig. 16 :** Photomosaïque d'une partie du chargement de pierres (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

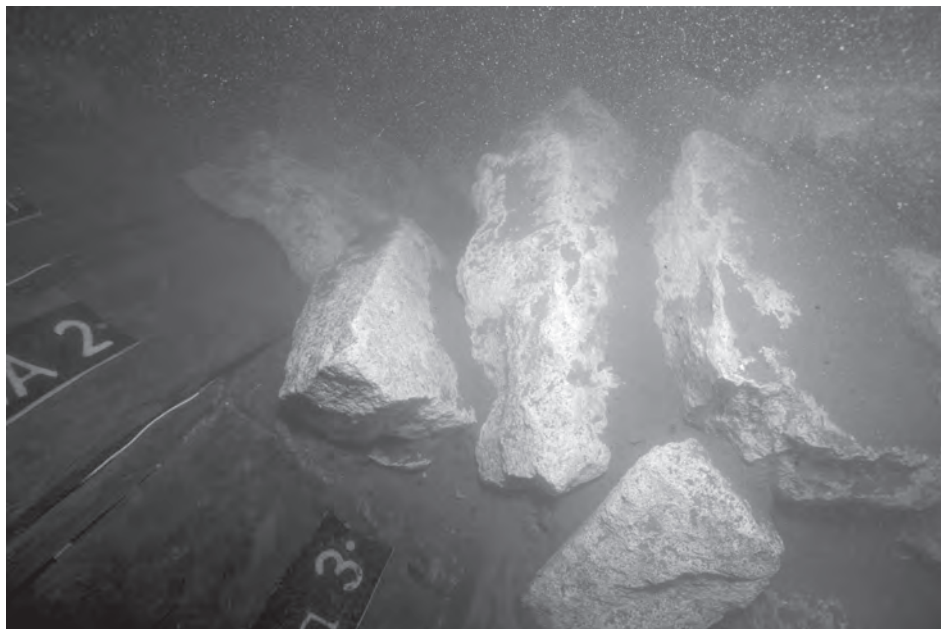


Fig. 17 : Les pierres de chargement sur le fond du caisson (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

Structures ou éléments	Marquage
Bordages de sole	B1 à B8
Bordés monoxyles de transition	BM1 à BM4
Bordages verticaux des bouchains composés	BV1 à BV3
Bordés de flanc en demi-tronc	FI1 à FI6
Planches supports et planches rajoutées sur les sommets des bordés de flanc en demi-tronc	P1 à P19 et P30
Jambettes	J1 à J6
Varangues	M95 à M141
Courbes	C1 à C20
Tasseaux	Ta1 à Ta4
Banc d'étambrai ou banc de mât	BA
Courbes de renfort du banc	BAR 1 et BAR 2
Pièces de support du banc	S1 et S2
Longerons	L1 à L29
Traverses	Tr et Tr102 à Tr128bis
Vaigres	Va1 à Va46
Cloisons internes	CI1.1 à CI3.2
Réparations	Rep. 1 à Rep. 8 pour la sole ainsi que FI5 Rep et FI2-FI6 Rep pour les bordés

Fig. 18 : Marquages réalisés sur les structures conservées du chaland Arles-Rhône 3

Note : identifiés lors de la fouille comme des barrots (BAR) et des serres-bauquières (S), il s'est avéré que ces pièces étaient en réalité des courbes, pour les premières, et des pièces-support pour les secondes. La numérotation initiale de ces pièces a cependant été conservée.

Il est nécessaire de préciser qu'en 2011, un nouveau marquage a été défini pour la charpente transversale située au-delà de la varangue-implanture. En effet, dans la mesure où les membrures, depuis M112 jusqu'à la varangue-implanture (M129), étaient recouvertes par le fond du caisson non démonté sous l'eau (*infra*, p. 46), il n'était pas possible d'assurer une numérotation en continu. Une nouvelle numérotation a donc été définie pour la charpente transversale de la proue en utilisant des séries commençant par M200 pour les varangues et par C20 pour les courbes. Néanmoins, afin de produire des plans avec une numérotation cohérente, les éléments de membrure de la proue, une fois à terre, ont ensuite reçu une nouvelle numérotation, à la suite de celle initialement mise en place, et des équivalences ont été données entre la numérotation subaquatique et la nouvelle numérotation. Sur les photos subaquatiques, en revanche, la numérotation reste celle donnée pour la documentation *in situ*<sup>7</sup>.

Outre le marquage des structures et des éléments par des numéros, un second marquage était nécessaire pour matérialiser les joints des bordages afin de mieux les repérer et les relever. Du fil de fer galvanisé et gainé de couleur blanche a été utilisé pour cette opération.

7. L'équivalence des numéros est la suivante : M200 (n° subaquatique)=M130 (n° à terre), M201=M131, M202=M132, M203=M133, M204=M134, M205=M135, M206=M136, M207=M137, M208=M138, M209=M139, M210=M140, M211=M141, C20=C14, C21=C13, C22=C15, C23=C17, C24=C16, C25=C19, C26=C18, C27=C20.

### Méthodes d'enregistrement des relevés architecturaux

Le travail effectué sur la coque ainsi dégagée et marquée a ensuite consisté en une série d'observations des structures accompagnées de relevés planimétriques et de relevés complémentaires, constitués essentiellement de coupes transversales ainsi que de deux relevés longitudinaux en élévation et d'une coupe longitudinale.

Deux types de relevés planimétriques de l'épave ont été réalisés. Le premier a concerné le vaigrage des aménagements internes (sur l'arrière et le fond du caisson). Celui-ci a été réalisé durant les campagnes 2007 à 2011. Le second type de relevé planimétrique, une fois ces aménagements démontés (*infra*), a concerné les structures primaires de la coque. Celui-ci n'a été réalisé que pour la partie arrière de l'épave, sur les douze premiers mètres (entre 2007 et 2010), dans la zone de coque centrale avec la fermeture avant du caisson et le banc d'étambrai (2010), ainsi que sur la proue, au-delà de la varangue-emplanture (2011), le reste de l'épave ayant fait l'objet d'un relevé tridimensionnel à terre (*infra*, p. 55-57). Les relevés planimétriques ont été difficiles à réaliser en raison de l'inclinaison de l'épave (35° de gîte) alliée à l'angle d'ouverture de son flanc sur tribord. D'emblée, il a néanmoins paru évident et plus simple d'effectuer les relevés en se plaçant de façon perpendiculaire à la sole du bateau et non en projection verticale. Ce type de relevé, extrêmement difficile à effectuer dans ce contexte, n'aurait en outre rendu compte que de la situation de l'épave et non d'un véritable relevé d'architecture. Pour réaliser les relevés planimétriques, des axes longitudinaux de référence ont donc été utilisés ou mis en place (soit des axes situés sur les joints de bordage ou de vaigrage, comme sur l'arrière, soit des axes virtuels, comme sur la proue<sup>8</sup>). Constituant un repère fixe et courant tout le long de la surface de l'épave à relever, ces axes représentaient un repère idéal pour procéder aux relevés des structures. La maille de la membrure, de même que les extrémités des membrures, les largeurs des bordages... ont ainsi été relevées par cotes cumulées à partir de cet axe de référence.

En 2010, les varangues situées dans la maille M102 à M111 ainsi que les courbes C2, C5 et C6 ont également été relevées sous l'eau à l'échelle 1, avec la position des clous d'assemblage, à l'aide de films plastiques fins et transparents et de crayons-feutres imperméables. Ces relevés à l'échelle 1, scannés par la suite, ont ainsi pu être intégrés dans la planimétrie générale de l'arrière de l'épave.

Si le relevé en plan de la sole et des membrures s'est révélé relativement aisé, le relevé des flancs et des parties hautes de l'embarcation s'est en revanche avéré plus difficile à réaliser. En effet, dans la mesure où le bordé se situe dans un autre plan que la sole, avec un angle d'ouverture, sur tribord arrière, compris environ entre 101 et 108°, le relevé en plan, à partir de l'axe de référence, était impossible à réaliser dans des conditions de visibilité minimales. Cette partie de l'embarcation a donc été restituée sur le plan grâce aux projections des coupes transversales réalisées sur l'épave.

Afin d'effectuer ces coupes transversales, un système de relevé a été mis au point et installé sur le site par Jean-Luc Verdier (Arkaeos). Ce système de relevé reposait sur la mise en place du carroyage fixe entourant l'épave. Deux barres longitudinales en aluminium, longues de 2 m, étaient placées horizontalement sur les tubes de chaque côté de l'épave et étaient maintenues à l'aide d'un système de fixation par serrage. Une fois placées, elles permettaient de supporter une barre transversale posée et fixée à l'aide de pinces serre-joints. Une dernière barre verticale, de 1,20 m de longueur et qui pouvait être munie d'une rallonge de 50 cm, s'adaptait de manière perpendiculaire à la barre transversale grâce à un dispositif coulissant qui assurait ses déplacements horizontaux et verticaux et qui permettait ainsi de localiser un point au sein de la structure restituée en trois dimensions. Ces quatre barres de maçon étaient munies de niveaux à bulle intégrés et équipés de décimètres en plastique souple afin d'assurer un système de relevé parfaitement ortho-normé; amovibles, elles pouvaient être déplacées au gré de l'avancement du relevé, de l'aval vers l'amont. Au total, entre 2008 et 2011, dix-huit coupes transversales ont été réalisées *in situ*<sup>9</sup> dans des conditions de visibilité réduite et de fort courant (les coupes ont été réalisées au droit des membrures et des traverses, en arrière de celles-ci, soit face au courant) (pl. I). Ces coupes permettent ainsi d'illustrer le profil des structures de la coque de l'épave et leurs assemblages ainsi que la répartition du chargement de pierres qui a glissé vers le flanc tribord du caisson.

Pour documenter les élévations longitudinales du bateau, un premier relevé a été effectué sur le flanc tribord arrière, entre 2008 et 2010. Un axe longitudinal a été pris comme référence (le can supérieur de la planche P1 puis le can supérieur de la cloison C12) pour l'apposition d'une barre rigide métallique. Un relevé par cotes cumulées a ainsi pu être réalisé à partir de cet axe de référence, depuis l'extrémité de la poupe conservée jusqu'à la membrure M111. Un second relevé a porté sur la zone de coque centrale avec la fermeture avant du caisson et le banc d'étambrai, ouverte à l'occasion d'un sondage en 2010.

8. Dans le cas d'axes virtuels, ceux-ci ont été matérialisés par un simple fil tendu entre des clous, placé dans l'axe de symétrie longitudinal du navire. Cet axe se trouvant à chaque endroit à équidistance des flancs et dans un plan perpendiculaire au plan transversal de l'épave.

9. Sur les membrures M95, M96, M97, M98, M99, M102, M103, M106, M111/C2/C6, M141 et les traverses Tr102, Tr, Tr103, Tr106, Tr111, entre Tr112 et Tr113, ainsi qu'une coupe transversale réalisée pour l'ensemble varangue-emplanture – complexe du banc de mât et une au niveau de la pièce pyramidale à la proue.

Enfin, une coupe longitudinale, destinée à documenter l'angle de levée de la proue, a été réalisée en 2011 au niveau de l'axe central de l'épave à partir de la varangue-emplanture jusqu'à la dernière varangue de proue, soit de M129 à M141<sup>10</sup>. La coupe a été réalisée à l'aide d'une barre de maçon posée de niveau sur une barre transversale et aux deux extrémités (sur l'avant et l'arrière du tronçon T9) sur des pieux plantés dans le sédiment. En raison de la torsion de la sole, l'axe de référence du relevé ne pouvait se trouver, sur toute sa longueur, en parfaite cohérence avec l'axe longitudinal central de la sole. Cette coupe longitudinale s'est donc finalement avérée inutile pour la détermination de l'angle de levée de l'avant du chaland qui a heureusement pu être déterminé avec le relevé tridimensionnel réalisé à terre (pl. II).

Le travail réalisé sous l'eau, nécessaire pour un enregistrement des données et pour l'illustration des types de structures et de leurs assemblages, a été complété par toute une série de prises de vues photographiques. Les premières sont des photos de détails ainsi que des photos générales destinées à réaliser des couvertures photographiques des zones ouvertes de l'épave. Les secondes devaient servir à une restitution photogrammétrique de l'épave.

#### *Les photographies d'ensemble et de détails*

Les photographies de détail et les ensembles de photos destinés à la réalisation de photomosaïques<sup>11</sup> ont été réalisés entre 2005 et juillet 2010 par Christine Durand. En octobre 2010, elles l'ont été par Teddy Seguin. Et lors de la campagne de fouille-relevage, en 2011, ce sont T. Seguin et Lionel Roux qui ont assuré les prises de vue subaquatiques.

#### *La photogrammétrie : des essais avortés*

En 2010, un premier essai de relevé photogrammétrique a été réalisé sur les douze premiers mètres de coque, sur l'arrière, sous la direction de Pierre Drap (LSIS/CNRS). Pour aider à la restitution d'un modèle en trois dimensions, des repères ont été placés sur l'épave. Ainsi, outre les fils de fer gainés de blanc marquant les joints des planches de la sole, des punaises rouges et blanches ont été placées de part et d'autre des clous des membrures. Les photos, destinées à une restitution photogrammétrique de l'épave, ont été réalisées par Jean-Luc Verdier (Arkaeos) et Olivier Bianchimani (EcoSubMéditerranée), ce dernier ayant également assuré l'exploitation des données pour le laboratoire LSIS. Sans toutefois permettre un relevé photogrammétrique de l'arrière de l'épave, ces premiers résultats laissaient espérer qu'une restitution était possible avec de meilleures conditions de visibilité<sup>12</sup>.

En 2011, pour la documentation des structures de la coque *in situ*, il était prévu de réaliser une photogrammétrie de l'épave.

Les premiers essais ont été réalisés sur la partie arrière de l'épave, sur une longueur de 12 m, ainsi que sur le flanc bâbord, dont le sommet avait été spécialement dégagé dès le début de la fouille afin d'effectuer une première couverture photogrammétrique qui devait servir par la suite à recalculer le reste des couvertures. Il s'est néanmoins rapidement avéré que ce type de documentation, dans les conditions de visibilité qu'offrait le Rhône, était tout simplement impossible à produire. La première – et seule – intervention de P. Drap, pour assurer les prises de vue photographiques, a eu lieu en juin au cours de deux journées et demie, bloquant toute autre intervention sur l'épave. L'enregistrement subaquatique au moyen des trois appareils photos montés en triplette n'ayant pas pu fonctionner, en raison d'une visibilité inférieure à 50 cm, les enregistrements ont dû être réalisés par trois opérateurs (O. Bianchimani (Septentrion Environnement), J.-L. Verdier et L. Roux (Ipsos Facto)) chacun tenant en main un appareil photo. Le temps de traitement consécutif à ce changement pour la prise de vue devait donc être supérieur à celui initialement prévu. La méthode d'exploitation des données devait, par conséquent, être elle aussi différente avec un rendu moins bon que celui escompté au départ. Les premiers résultats sont venus confirmer ces craintes. Sur les 12 000 images réalisées lors de cette première couverture photogrammétrique, seules 4 000 images ont pu être traitées et intégrées dans le travail de restitution (fig. 19). Ce travail présentait en outre des problèmes de calage, des manques, notamment dans la sole et les élévations, et tout le flanc bâbord n'avait pas pu être traité. Au final, en raison de problèmes de visibilité et de particules en suspension, il ressortait que l'objectif d'obtenir un rendu acceptable de la photogrammétrie s'avérait impossible à atteindre. Les seuls points positifs que pouvait apporter ces enregistrements, dans ce contexte, portaient sur des points de calage pour restituer l'épave dans son contexte physique et des vues de déformations de la sole<sup>13</sup>.

Les objectifs scientifiques de la photogrammétrie ne pouvant être atteints et les résultats étant trop aléatoires, il a par conséquent été décidé d'abandonner cette phase opératoire de l'opération de fouille-relevage.

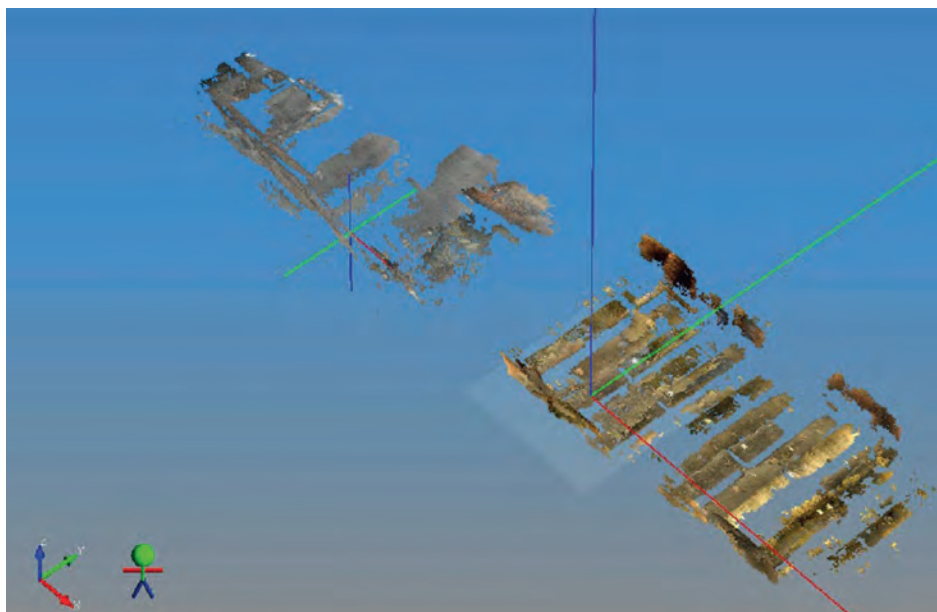
10. L'objectif de cette coupe était de documenter l'angle de relèvement du bateau à la proue avant le sciage et le relevage des tronçons avec le risque que cette information ne disparaisse.

11. Les photomosaïques ont porté sur l'extrémité arrière de l'épave, sur l'extrémité arrière des vaigres proches de la traverse Tr12 et sur le mât en place.

12. En 2010, les prises de vue réalisées pour la photogrammétrie l'ont été avec une visibilité de seulement 30 cm (Bianchimani, Drap, Verdier 2011 dans Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011, p. 166-167).

13. Ces points de calage s'avéraient néanmoins flottants puisque, la photogrammétrie du flanc bâbord n'ayant pas abouti, il manquait ce repère structurel pour recalculer l'ensemble des points les uns par rapports aux autres.

**Fig. 19:** Nuages de points 3D de l'épave Arles-Rhône 3 réalisé lors des essais de photogrammétrie en 2011 (LSIS).



#### *Les prélèvements organiques (bois, matériau d'étanchéité, macro-restes)*

Depuis 2005, lors de chaque campagne de recherche sur l'épave *Arles-Rhône 3* et à l'issue du travail de documentation réalisé sur les structures architecturales, un échantillonnage méthodique portant sur des prélèvements de bois, des matériaux d'étanchéité et des macro-restes végétaux a été mis en œuvre (fig. 20). Suivant les objectifs généraux de recherche sur le chaland, il a eu pour but de répondre aux exigences des analyses définies ci-dessous (fig. 21).

Pour les besoins des analyses dendrologiques, des prélèvements systématiques des structures architecturales de l'épave ont été effectués dès la première opération en 2005 et se sont poursuivis chaque année jusqu'en 2011, au fur et à mesure de leur découverte. D'une part, afin d'identifier l'ensemble des essences ligneuses utilisées dans la construction de l'embarcation, l'échantillonnage voué à l'analyse xylogologique a été planifié de manière exhaustive. Ces échantillons se présentent sous la forme de fragments d'environ 1 à 2 cm<sup>3</sup> de matériau prélevés à l'aide d'un couteau ou d'un cutter. D'autre part, pour répondre aux objectifs des analyses dendrochronologiques et dendromorphologiques, un échantillonnage plus important de la structure primaire de la coque, des aménagements internes du caisson et du vaigrage de la poupe a été mis en place, de manière également exhaustive, pour toute la moitié arrière du chaland. Selon les exigences de ces analyses, des coupes transversales d'au moins 5 cm d'épaisseur, couvrant toute la largeur des structures, ont été réalisées à l'aide d'une scie égoïne, à raison de un à deux, voire trois échantillons par pièce selon leur longueur, afin d'améliorer la représentation statistique et qualitative des données (fig. 20). Placés dans des sachets hermétiques remplis d'eau, les échantillons ont été individualisés *in situ* par un numéro d'inventaire. Ils ont ensuite été conditionnés, hors de l'eau, à l'aide de film étirable alimentaire, destiné à garder un taux maximal d'humidité, le tout conservé dans un sachet plastique hermétique afin de regagner le laboratoire d'analyse dans les meilleures conditions de conservation et de transport.

Grâce au prélèvement de quelques échantillons de matériau d'étanchéité et de résine utilisés pour le lutage des bordages de sole et la réparation des structures de la coque, trois autres types d'étude ont également pu être menés :

- L'étude des textiles composant le matériau d'étanchéité avec pour but d'en caractériser les fils, les tissus et les matières premières utilisées (*infra*, étude F. Médard, p. 116).
- L'étude des cordages afin d'en déterminer les matières premières utilisées et les caractéristiques techniques (*infra*, étude F. Médard, p. 217).
- L'analyse de la résine contenue dans les fibres des matériaux d'étanchéité ou utilisée de manière isolée sur la sole ou le vaigrage dans la perspective d'en caractériser la composition et l'origine géographique (*infra*, étude P. Burger, p. 126).
- L'analyse de pollens contenus dans la résine afin d'essayer de définir l'environnement végétal où ce matériau était extrait dans la perspective, par extension, de nous indiquer l'origine géographique éventuelle du chantier naval où a été construit le chaland *Arles-Rhône 3* (*infra*, étude V. Andrieu-Ponel, p. 130).

Divers prélèvements de matériaux d'étanchéité, situés entre les cans des bordages de sole et des bouchains monoxyles de transition ou de résine collée sur ces mêmes pièces et sur le vaigrage, ont été effectués de manière semi-arbitraire. Dispersés sur la moitié arrière du chaland, leur localisation a été sélectionnée afin de déterminer, en fonction de leur utilisation primaire ou secondaire au sein de l'épave, différentes zones probables d'approvisionnement ou différentes qualités de tissus. Recueillis *in situ* à l'aide d'une scie égoïne ou d'un cutter, les échantillons ont été conditionnés dans des sachets hermétiques remplis d'eau et individualisés par un numéro d'inventaire (fig. 20).

Enfin, des prélèvements de macro-restes végétaux carbonisés découverts à la poupe du chaland ont également été réalisés :

– Un échantillon de matière carbonisée adhérente au fond du *dolium*, transformé en foyer et destiné probablement à la cuisine de l'équipage, a été prélevé afin d'en étudier la composition et de préciser la fonction de ce foyer (*infra*, étude C. Cençon-Salvaire, p. 246).

– Quelques échantillons de charbon de bois découverts sur le plancher de l'épave ont été analysés afin de caractériser le bois de chauffage utilisé par l'équipage et d'en préciser peut-être l'origine géographique (*infra*, étude S. Greck, p. 247).

L'ensemble de ces méthodes et de ces techniques d'investigation a ainsi permis de fouiller et de procéder aux relevés *in situ* de l'épave *Arlès-Rhône 3* selon les méthodes désormais bien établies en archéologie navale (Pomey, Rieth 2005, p. 122-130). Il va néanmoins sans dire que le prélèvement des pièces d'aménagements internes, à terre, de même que le relevage des tronçons de l'épave, en 2011, ont permis une documentation bien plus complète et précise pour l'étude du chaland dans son ensemble.

## LE RELEVAGE DE L'ÉPAVE

### LE DÉMONTAGE ET LE RELEVAGE DES AMÉNAGEMENTS INTERNES (2010 ET 2011)

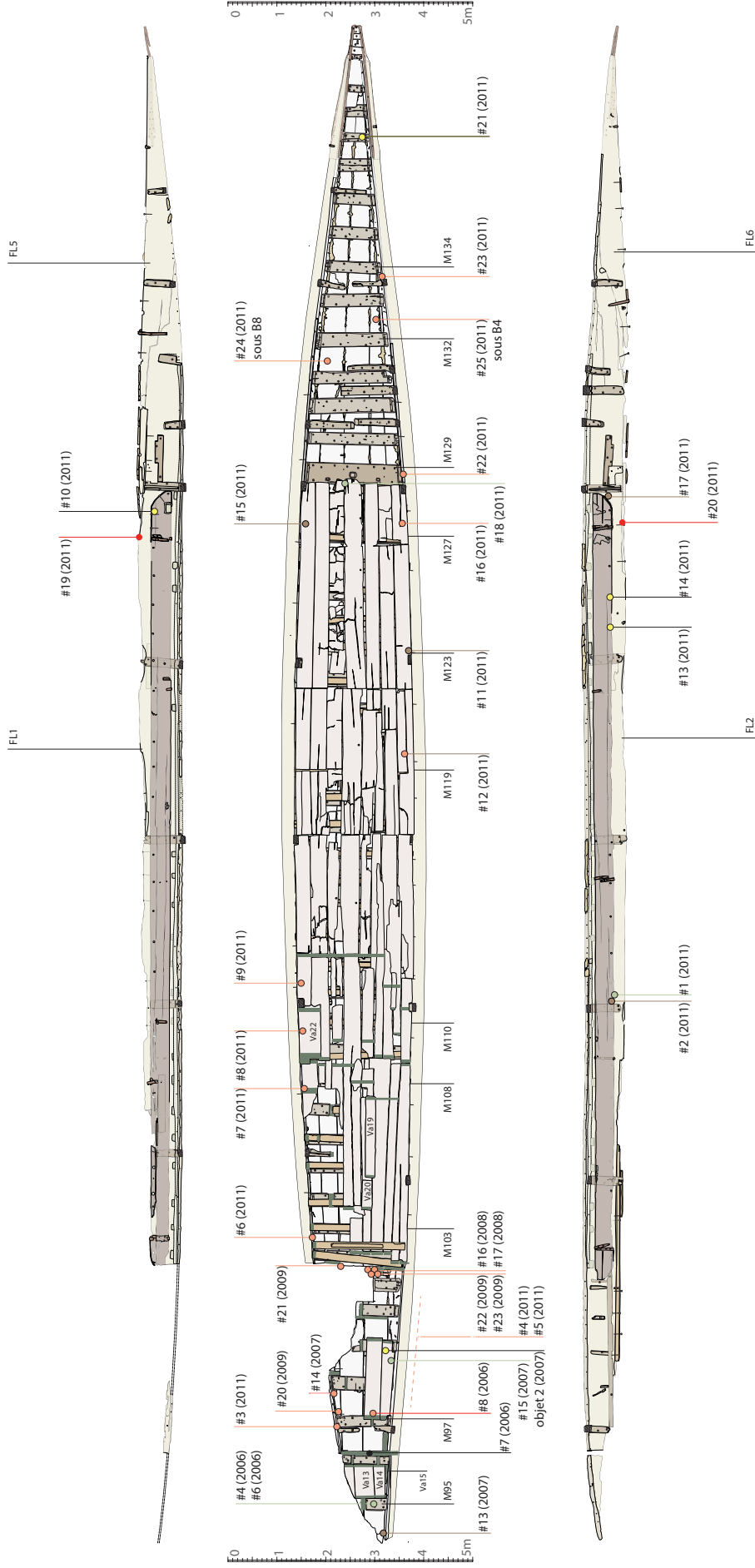
Sabrina MARLIER

En 2005, une partie des aménagements internes du fond du caisson a été enlevée afin d'accéder aux structures primaires de la coque (fig. 6). Ces éléments n'ont malheureusement été ni documentés ni conservés.

En 2010, le démontage des aménagements internes de l'arrière de l'épave (sur les douze premiers mètres) répondait au même objectif d'accéder aux structures primaires du chaland pour en faire le relevé architectural et effectuer un échantillonnage de chaque pièce de bois destiné à l'étude dendrologique. Au terme de cette intervention, l'ensemble des éléments démontés et échantillonnés a été conservé. Ainsi les vaigres et les traverses ont été enveloppées dans du tissu géotextile et stockées sous l'eau, sur l'arrière de l'épave. Les traverses, avant d'être placées avec les autres pièces, ont d'abord été remontées à terre pour y être documentées. Les longerons étant des pièces de faible échantillonnage et fragiles, ceux-ci ont été consolidés, à l'aide de broches métalliques, pour les maintenir en place.

Lors de l'opération de fouille-relevage, en 2011, les éléments conditionnés et stockés sur l'arrière de l'épave ont été remontés sur des brancards (fig. 22). Pour le reste des aménagements internes encore en place, seule la cloison longitudinale bâbord a été relevée en plusieurs sections sur des brancards. Les éléments amovibles du fond du caisson (longerons, traverses, vaigres, cloison longitudinale tribord) encore en place ont été relevés en même temps que les tronçons T5 à T8 (fig. 176 et 178).





**Fig. 20 - Localisation des prélèvements réalisés sur l'épave entre 2005 et 2011. Les analyses xylogiques ayant porté sur toutes les pièces de l'épave, les échantillons prélevés n'ont pas été représentés.**

**Fig. 21 : Les échantillons prélevés sur l'épave Arles-Rhône 3 : description, localisation sur le bateau et type d'analyse pratiqué. En grisé : échantillons non pollinifères.**

Libellé des échantillons	Code éch. analyse moléculaire	Matériau	Localisation de l'échantillon sur le bateau (Fig. 20)	Indications complémentaires	Types d'analyse
# 4 (2006)	AR241	Fragments de charbons, brai, bois, végétaux (matériau goudronneux de couleur brune)	Proche de la membrure M95 (à la poupe), sous le mobilier de bord du chaland	D'après les données archéologiques : poix provenant d'éléments végétaux non lié à l'étanchéité du bateau	Analyses pollinique, moléculaire et isotopique
# 6 (2006)	AR234	Brai et matière organique (matériel goudronneux de couleur brune, avec des fibres)	Proche de la membrure M95 (à la poupe)	D'après les données archéologiques : poix provenant d'éléments végétaux non lié à l'étanchéité du bateau	Analyses pollinique, moléculaire et isotopique
# 7 (2006)		Six gros fragments de charbon de bois	Proche de la membrure M96	Analyses anthracologiques	
# 8 (2006)	AR241	Matériau composé de toile et de résine disposé sous le fond de <i>dolium</i> , sur la vauigre Va17 (de couleur brune à noire)	Au niveau de la membrure M97 (poupe)	D'après les données archéologiques : toile et résine provenant d'un élément de protection non lié à l'étanchéité du bateau	Sur les tissus : détermination et étude technique ; sur la poix : analyse pollinique
Objet 2 (2007)		Fragment de cordages	Sur la membrure M96, à la poupe	D'après les données archéologiques : en relation avec le bateau, sans plus de précision	Détermination et étude technique
#13 (2007)		Fragment de bordage en bois avec résine (joint)	Entre le bordage vertical BV2 et le bordage de sole B2, sur tribord arrière	D'après les données archéologiques : poix provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur la poix : analyse pollinique
#14 (2007)		Matériau d'étanchéité	Au niveau du bouchain monoxyle BM1, sur bâbord arrière	D'après les données archéologiques : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur les tissus : détermination et étude technique ; sur la poix : analyse pollinique
# 15 (2007)		Matière organique	Sous la vauigre Va18, au niveau de la maille M98-M99, à la poupe	-	-
#16 (2008)		Matériau d'étanchéité et bois	A la poupe, entre le bordage de sole B2 et le bordé monoxyle de transition BM2	-	-
#17 (2008)		Matériau d'étanchéité et bois	Entre les bordages de sole B2 et B4, à la poupe	D'après les données archéologiques : tissu poissé ? provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur la poix : analyse pollinique
#20 (2009)		Matériau d'étanchéité	Entre le bordage vertical BV1 et le bordé de flanc F11 (sur bâbord arrière)	D'après les données archéologiques : tissu poissé ? provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur la poix : analyse pollinique
#21 (2009)		Matériau d'étanchéité et bois	Entre les bordages de sole B3 et B1, à la poupe	D'après les données archéologiques : tissu poissé ? provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur la poix : analyse pollinique
# 22 (2009)	AR232	Tissus poissés (de couleur brune à noire)	Entre les bordages de sole B4 et B2, à la poupe	D'après les données archéologiques : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur les tissus : détermination et étude technique ; sur la poix : analyses pollinique, moléculaire et isotopique
# 23 (2009) = #16 (2008)		Matériau d'étanchéité et bois	A la poupe, entre le bordage de sole B2 et le bordé monoxyle de transition BM2		-
# 1 (2011)		Matériaux organiques (végétaux)	Sur la face extérieure de la cloison longitudinale C12.1, entre le flanc et la cloison		-
# 2 (2011)	AR224	Poix (matériel goudronneux de couleur brune)	Sur la face externe de la cloison longitudinale tribord (C12) appartenant (caisson = zone de chargement), peu après la courbe C6	D'après les données archéologiques : poix recouvrant l'intérieur de la coque pour assurer son étanchéité	Analyses pollinique, moléculaire et isotopique
# 3 (2011)		Tissus poissés	A la poupe, sur l'extérieur du bordage vertical BV1		-
# 4 (2011)	AR230	Tissus poissés (de couleur brune à noire)	Sur le tronçon T2 (poupe), pendant le nettoyage	D'après les données archéologiques : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Analyses pollinique, moléculaire et isotopique
# 5 (2011)	AR231	Tissus poissés (de couleur noire)	Sur le tronçon T2 (poupe) pendant le nettoyage	D'après les données archéologiques et moléculaires : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur la poix : analyse pollinique
# 6 (2011)	AR223	Tissus poissés (de couleur brune à noire)	Sur le tronçon T3, entre le bouchain monoxyle BM1 et le bordé de flanc F11 (à bâbord, à la poupe), au niveau des membrures M102-M103	D'après les données archéologiques et moléculaires : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur les tissus : détermination et étude technique ; sur la poix : analyses pollinique, moléculaire et isotopique

Libellés des échantillons	Code éch. analyse moléculaire	Matériau	Localisation de l'échantillon sur le bateau (Fig. 20)	Indications complémentaires	Types d'analyse
# 7 (2011)	AR235	Tissus poissés (de couleur brune à noire)	Sur le tronçon T4, entre le bouchain monoxyle BM1 et le bordé de flanc F11 (à bâbord, sur le premier tiers de la partie centrale)	D'après les données archéologiques et moléculaires : Tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur les tissus : détermination et étude technique
# 8 (2011)	AR236	Tissus poissés (de couleur brune à noire)	Sur le tronçon T4, entre le bouchain monoxyle BM1 et le bordé de flanc F11 (à bâbord, sur le premier tiers de la partie centrale)	D'après les données archéologiques : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur les tissus : détermination et étude technique
# 9 (2011)	AR237	Tissus poissés (de couleur noire)	Sur le tronçon T4, entre le bouchain monoxyle BM1 et le bordé de flanc F11 (à bâbord, sur le premier tiers de la partie centrale)	D'après les données archéologiques : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur la poix : analyse pollinique
# 10 (2011)		Fragment de cordage	Sur la cloison longitudinale bâbord (C11), dans un orifice situé à l'avant de la cloison	D'après les données archéologiques : cordage lié au maintien d'une bache de protection, au niveau de la zone de chargement	Détermination et étude technique
# 11 (2011)	AR225	Poix	Sur le tronçon T7, sur le bordé de flanc F12 (à tribord, extrémité avant partie centrale du bateau), juste en avant de la courbe C10	D'après les données archéologiques et moléculaires : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Analyses pollinique, moléculaire et isotopique
# 12 (2011)	AR238	Tissus poissés (de couleur noire)	Sur le tronçon T6, entre le bouchain monoxyle BM2 et le bordé de flanc F12 (à tribord, dans la partie centrale du chaland)	D'après les données archéologiques : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur les tissus : détermination et étude technique
# 13 (2011)		Fragment de cordage	Dans l'orifice 1 de la cloison C12 (tronçon T7)	-	-
# 14 (2011)		Fragment de cordage	Dans l'orifice 2 de la cloison C12 (tronçon T7)	-	-
# 15 (2011)		Sédiment argileux grisâtre piqueté de poix jaunâtre décomposée	Sur le tronçon T8, poix débordant du lutage entre le bouchain monoxyle BM1 et le bordé de flanc F11, entre les membrures M127 et M128 (à bâbord, avant la fin du caisson)	D'après les données archéologiques : poix provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Analyse pollinique
# 16 (2011)	AR227	Poix (matériel goudronneux de couleur brune)	Sur le tronçon T8, entre le bordage de sole B6 et le bouchain monoxyle BM2, en arrière de la membrure M128 (à tribord, avant la fin du caisson)	D'après les données archéologiques et moléculaires : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Analyses pollinique, moléculaire et isotopique
# 17 (2011)	AR228	Poix (matériel goudronneux de couleur brune)	Sur le tronçon T8, sur la cloison longitudinale C12 (caisson), au niveau de la face arrière de la courbe-glisnière (sur tribord, à la proue)	D'après les données archéologiques : poix recouvrant l'intérieur de la coque pour assurer son étanchéité	Analyses pollinique, moléculaire et isotopique
# 18 (2011)	Matière organique		Sur le tronçon T8, sur la face arrière de la varangue-emplanture (M129)		-
# 19 (2011)		Bois en décomposition atteint de pourriture molle	Sur le tronçon T8, sur le sommet du bordé de flanc en demi-tronc F11	D'après les données archéologiques, signes de décomposition du bois d'origine fongique	Analyse morpho-anatomique et ADN fongique
# 20 (2011)		Bois en décomposition atteint de pourriture molle	Sur le tronçon T8, sur le sommet du bordé de flanc en demi-tronc F12	D'après les données archéologiques, signes de décomposition du bois d'origine fongique	Analyse morpho-anatomique et ADN fongique
# 21 (2011)		Cordage AR3.3026.2	Sur la membrure M138, à la proue	D'après les données archéologiques : cordage lié à l'amarrage ou au maintien du mât de halage, sur l'avant	Détermination et étude technique
# 22 (2011)	AR233	Tissus poissés (de couleur noire)	Sur le tronçon T8, entre les bouchains monoxyles BM2-BM4?, au niveau de la varangue-emplanture (M129) (sur tribord, à la fin du caisson)	D'après les données archéologiques et moléculaires : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur les tissus : détermination et étude technique ; sur la poix : analyses pollinique, moléculaire et isotopique
# 23 (2011)	AR239	Tissus poissés (de couleur brune à noire)	Sur le tronçon T9, entre le bouchain monoxyle BM4 et le bordé de flanc F12 (à tribord, à la proue)	D'après les données archéologiques : tissu poissé provenant du lutage (phase de construction du chaland)	Sur la poix : analyse pollinique
# 24 (2011)	AR229	Tissus poissés (de couleur brune à noire)	Sur le tronçon T9, sur une fissure radiale longitudinale externe du bordage de sole B8 (à bâbord, à la proue)	D'après les données archéologiques : tissu poissé provenant du lutage (phase de réparation du chaland)	Sur la poix : analyses moléculaire et isotopique
# 25 (2011)		Tissus poissés	Sur le tronçon T9, sur une fissure radiale longitudinale externe du bordage de sole B4 (à tribord, à la proue)	D'après les données archéologiques : tissu poissé provenant du lutage (phase de réparation du chaland)	Sur la poix : analyse pollinique

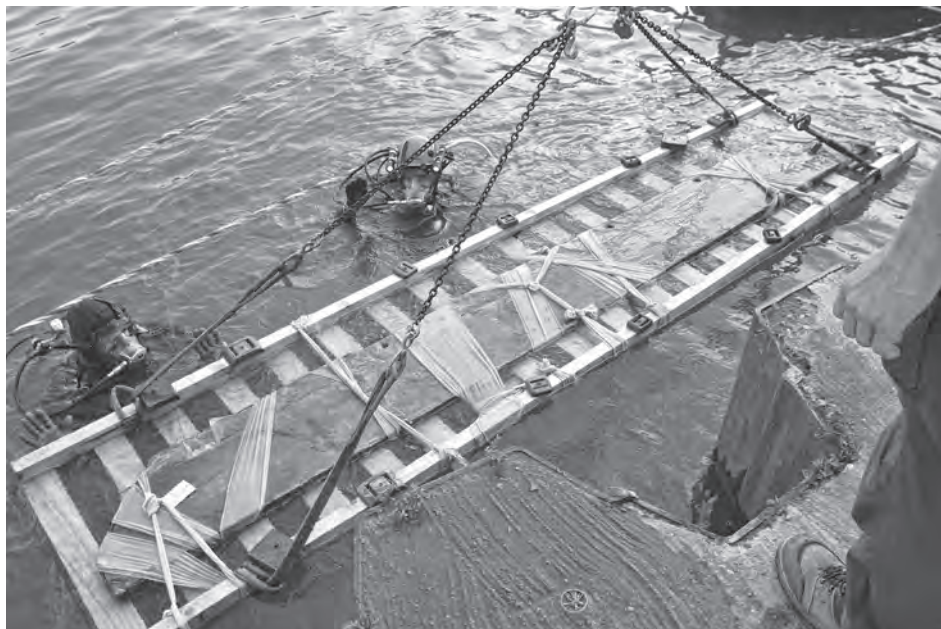


Fig. 22 : Relevage d'une section de cloison du caisson sur un brancard (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).

## LE RELEVAGE DES TRONÇONS DE L'ÉPAVE (2011)

Benoît POINARD

Le choix de relever l'épave en plusieurs tronçons s'est avéré incontournable afin d'assurer l'intégrité de l'épave tout au long du chantier. Il était en effet exclu de dégager l'épave dans son entier afin de ne pas l'exposer, durant une trop longue période, au courant et à l'intervention des fouilleurs mais aussi à une crue éventuelle. L'impossibilité, pour des raisons techniques et financières, de mettre en œuvre une grue capable de sortir l'épave d'un seul tenant, de l'acheminer jusqu'à Grenoble et de la traiter dans son entier à l'atelier ARC-Nucléart, qui dispose d'équipements aux dimensions limitées (bassins d'immersion et lyophilisateurs), excluait par ailleurs tout autre choix que celui de relever l'épave en plusieurs tronçons.

En concertation avec les restaurateurs, les archéologues ont ainsi proposé, en tenant compte de l'ensemble de ces contraintes, un plan de découpe de l'épave en dix tronçons d'environ 3 m de longueur chacun (fig. 23). C'est ensuite le bureau d'étude de la société O'Can qui a conçu le système de relevage des tronçons en prenant en compte les caractéristiques du chaland ainsi que les contraintes techniques telle que sa position sur la pente du fond du Rhône et sa gîte de 35°.

Toutes les opérations de relevage ont été dirigées et réalisées exclusivement par les scaphandriers d'O'Can tandis que les archéologues d'Ipso Facto et du MdAa étaient chargés du positionnement des traits de coupe, de la vérification du calage de l'épave ainsi que de la surveillance des fissures et des faiblesses éventuelles des bois à consolider.

Le mode opératoire consistait à venir installer un châssis métallique, le « berceau », autour d'un tronçon puis de supprimer tout contact entre l'épave et le terrain tout en immobilisant le tronçon dans cette structure.

La fouille a ainsi été réalisée de l'aval vers l'amont, de manière à ce que le tronçon en cours de fouille soit toujours protégé par le talus recouvrant le tronçon suivant.

### La préparation du terrain pour chaque tronçon

De part et d'autre des flancs, des tranchées d'environ 1,50 m plus profondes que le haut des flancs ont été réalisées. Côté tribord, le décaissement devait aussi créer un espace suffisamment plat et sécurisé. Par ailleurs, afin d'éviter un porte-à-faux qui risquait de provoquer l'« ouverture » du flanc tribord, des pieux de soutien en acier ont été plantés au marteau-piqueur hydraulique tous les mètres le long de l'extérieur du bordé de flanc. Ceux-ci ne dépassaient pas le haut du flanc afin de ne pas gêner la mise en place du berceau. Afin de protéger le bois, des lattes en acier, recouvertes de mousse en caoutchouc, étaient placées entre les pieux et l'épave.

Plus les scaphandriers avançaient vers l'avant du chaland, plus le sédiment devenait sableux, ce qui provoquait des affouillements dangereux pour l'épave. Des sacs de sable

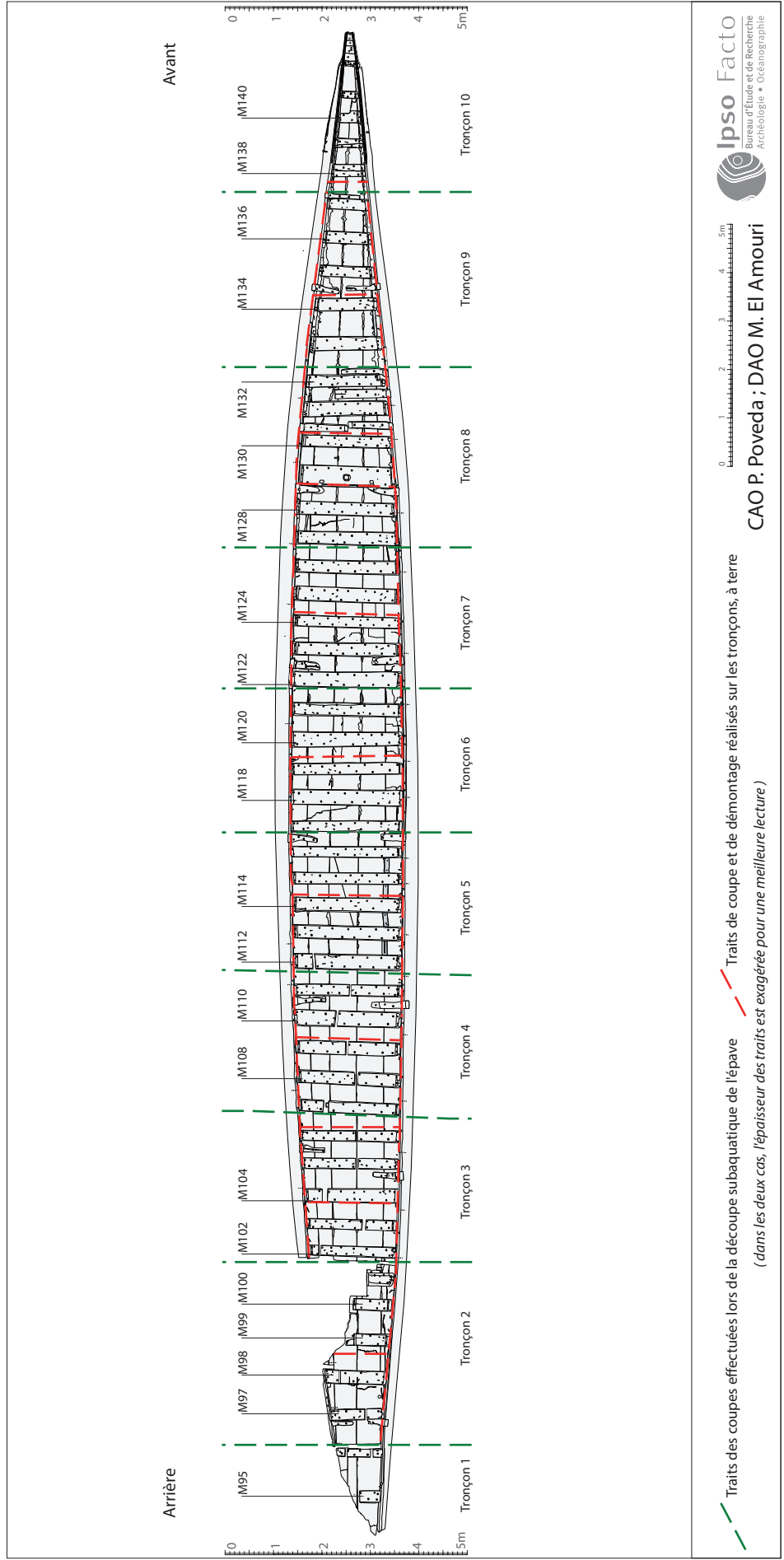


Fig. 23 : Plan de découpage et de démontage de l'épave, sous l'eau et à terre.

ont donc été placés sous la sole afin d'éviter son affaissement (ce qui s'est toutefois produit avec le tronçon T2). Le futur trait de coupe était finalement matérialisé par un fil positionné par les archéologues.

Le terrain ainsi préparé, le tronçon défini et stabilisé, le berceau pouvait être posé.

## Le relevage

### *Le berceau*

Il s'agit d'une structure métallique réalisée en tube en acier carré, étudiée pour supporter sans déformation une charge de 8 tonnes<sup>14</sup>. Chacun de ses quatre pieds télescopiques présentait une base constituée d'une « cloche » pivotante de 50 cm de diamètre permettant, une fois posée sur un sol meuble, d'assurer la stabilité à l'ensemble par un effet de succion.

Sur les longerons inférieurs latéraux du berceau, des trous taraudés tous les 30 cm permettaient de boulonner des tiges filetées sur lesquelles étaient fixées les lattes qui allaient supporter le fond de l'épave. Ainsi, la déformation longitudinale de la sole du chaland ne posait plus de problème puisque chaque latte était réglable. Toutes les surfaces de contact entre les lattes et l'épave étaient recouvertes de mousse en caoutchouc. Une fois toutes les lattes installées, le fond du berceau était donc constitué d'un plancher d'une douzaine de lattes au maximum de 15 cm de large, disposées tous les 15 cm. Le berceau était maintenu au niveau de ses angles par quatre palans à chaîne, eux-mêmes accrochés aux quatre angles du palonnier emboîté sur le ponton au-dessus de la piscine<sup>15</sup>. Chaque palan étant indépendant, le berceau pouvait être orienté à volonté (fig. 24).

### *La pose du berceau*

Dans des conditions de visibilité très réduites pour les poses de berceau (30 à 80 cm en moyenne) et complètement en aveugle sous l'épave, cette phase correspond à la plus complexe et la plus délicate des opérations de relevage. Les scaphandriers n'avaient en effet jamais de vue d'ensemble du berceau, et une mauvaise manipulation dans ces conditions aurait été dramatique pour l'épave. Les jours de pose, seize personnes étaient mobilisées pour assurer la mise en place du berceau. Deux personnes sur le bateau de sécurité étaient chargées de faire ralentir les bateaux circulant sur le Rhône afin d'assurer, d'une part, la sécurité des deux scaphandriers en action et, d'autre part, l'intégrité du chaland. Sur le ponton, quatre personnes manipulaient les palans sous les ordres du chef de ponton en contact radio avec le poste de contrôle/plongée qui répercutait les ordres venant directement des scaphandriers. Enfin, deux personnes assuraient, également sur le ponton, le tri du mobilier archéologique à la sortie des aspirateurs à sédiments qui étaient en action pour poser les pieds du berceau. À terre, un surveillant de plongée au poste de contrôle/plongée assurait la communication avec et entre les scaphandriers et le chef de ponton. Deux « tenders » tendaient les narguilés sur le quai afin qu'ils ne se coincent pas lors du levage. Enfin, deux personnes sur le quai étaient chargées d'actionner les « tire-forts » (palans à câble manuel) pour maintenir ou relâcher le berceau suivant les phases de travail des scaphandriers.

Une fois le ponton pré-positionné au-dessus du tronçon à prélever, les scaphandriers faisaient descendre le berceau jusqu'à ce que les pieds situés en rive droite arrivent à environ 50 cm du haut du flanc bâbord. Ces pieds étaient sortis de 60 cm de leur logement tandis que du côté rive gauche ceux-ci étaient complètement rentrés. Le berceau était ensuite descendu jusqu'à ce qu'un des pieds en rive droite se trouve à 30 cm du sol. Les palans étaient alors actionnés séparément afin que le berceau soit parallèle à la sole du chaland. La longueur des deux pieds était ajustée pour toucher le sol simultanément. Le berceau était donc posé côté rive droite mais encore suspendu en rive gauche. La phase suivante était la plus délicate de l'opération puisqu'elle consistait à donner du mou sur les palans en rive gauche afin d'« enrouler » le berceau autour de l'épave. Pour que le berceau ne puisse plus bouger tout en étant détaché du ponton, quatre « tire-forts » accrochés à la rive maintenaient, côté rive droite, les deux pieds et les deux angles supérieurs du berceau. De plus, des étais, boulonnés perpendiculairement aux montants rive gauche, prenaient appui sur le talus tandis que des pieux bloquaient les pieds du berceau (fig. 25).

Une fois le berceau stabilisé et sécurisé autour du tronçon, les palans pouvaient être décrochés. Les premières poses ont duré, pour la plus longue, une journée entière, tandis qu'elles ont pu être réalisées en seulement 1 h 30 pour les deux derniers tronçons (T9 et T10).

### *Le passage des lattes*

Pour assurer cette phase de l'opération, deux scaphandriers travaillaient chacun d'un côté du berceau en coordonnant leurs actions grâce à la communication radio établie avec

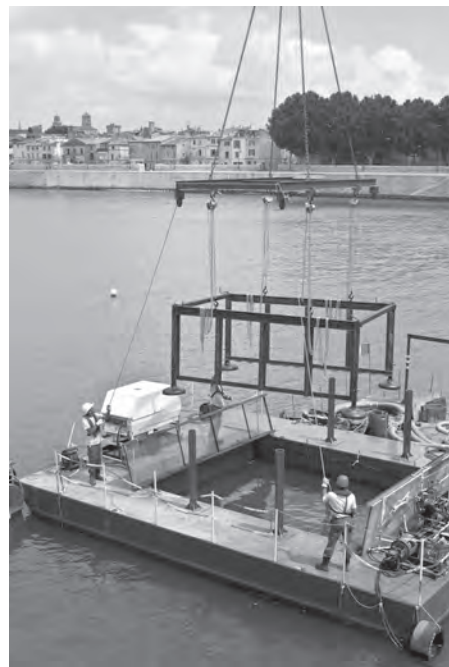
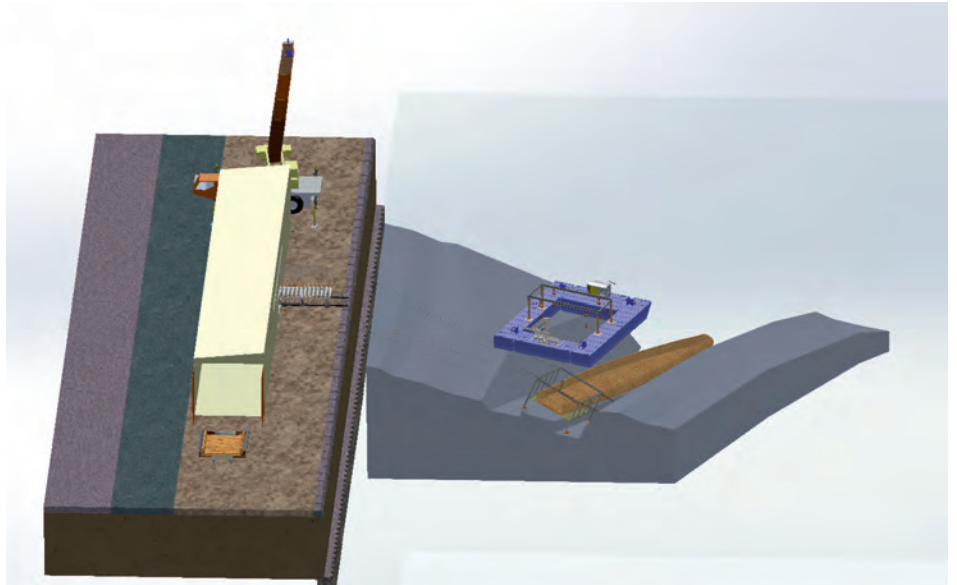


Fig. 24 : Le berceau métallique destiné à remonter les tronçons de l'épave (T. Seguin, O'Can-Ipsa Facto, MdAa/CG13).

14. Dimensions du berceau : L : 4 × l : 3,50 × h : 1,50 m ; poids total : 1 t.

15. La piscine correspond à l'ouverture aménagée dans le ponton métallique et par laquelle passait le berceau, lors de sa mise en place et lors des relevages.

**Fig. 25 :** Vue numérisée du chantier de fouille avec la pose du berceau au-dessus du tronçon de l'épave à relever (O'Can).



le poste de contrôle/plongée. Leur travail consistait à saper le terrain sous l'épave au moyen d'une suceuse. Un porte-à-faux était donc créé sous la sole en enlevant le sédiment et celui-ci était remplacé immédiatement par les lattes. Pour cette opération, le scaphandrier situé en rive gauche devait se faufiler entre le flanc tribord et le berceau puis passer complètement sous l'épave pour travailler en aveugle dans un espace très réduit.

#### *Le calage de l'épave dans le berceau*

Tout un réseau de tubes en acier a été soudé dans le berceau pour caler au mieux le tronçon à relever. Sur ceux-ci, d'autres tubes, coupés « à la demande », étaient boulonnés pour venir caler ou bloquer telle ou telle partie d'un tronçon. Ce système permettait de bloquer les flancs par le haut : ils étaient pris en sandwich entre deux tubes tous les mètres. Le contact avec l'épave était protégé par des lattes en aluminium recouvertes de mousse. Des « brides » pivotantes étaient également boulonnées sur les lattes et permettaient de maintenir la base arrondie des flancs. En effet, l'angle formé par les flancs n'était pas le même sur tribord et bâbord. De plus, cet angle variait progressivement d'un tronçon à l'autre, en fonction des déformations de l'épave. En rive gauche, les brides étaient assemblées au fur et à mesure de l'installation des lattes afin d'empêcher le flanc tribord de s'ouvrir. Elles remplaçaient les pieux de soutien qui étaient coupés au fur et à mesure pour placer les lattes. Enfin, des cales (tubes en acier de différents diamètres recouverts de mousse) étaient glissées dans l'espace vide entre les lattes, les brides et l'arrondi formé par l'assemblage sole/flanc. Le tronçon ainsi calé pouvait finalement être scié.

#### *Le découpage des tronçons*

Chaque tronçon a été découpé par le même scaphandrier, Pascal Despain, au moyen d'une scie égoïne classique à main. Bien que longue (entre trois et quatre heures par tronçon) et fastidieuse, cette technique de découpe permettait de préserver l'épave de la violence d'une tronçonneuse hydraulique et présentait surtout l'avantage de garantir le moins de perte de matière possible avec un trait de coupe le plus fin possible.

#### *La récupération des berceaux*

Bien que plus spectaculaires à voir en surface, les phases de relevage étaient moins complexes que les poses des berceaux. Pour ces phases, le ponton était repositionné au-dessus du berceau. Les scaphandriers reconnectaient alors les crochets des palans sur les organes de levage du berceau. Après avoir remis en tension les chaînes des quatre palans, tous les dispositifs d'immobilisation du berceau étaient enlevés. La flèche de la grue du ponton était étendue au maximum vers l'aval et son câble était mis en tension pour tirer doucement le berceau sur l'arrière, ce qui évitait au berceau d'accrocher et d'arracher la partie de l'épave encore en place. Ensuite le berceau était ramené en position horizontale et remonté à travers la « piscine » du ponton (fig. 26). Le ponton était ensuite déplacé pour venir au niveau du quai où une grue (60 tonnes/m) était positionnée pour récupérer l'ensemble palonnier/berceau/tronçon (fig. 27).

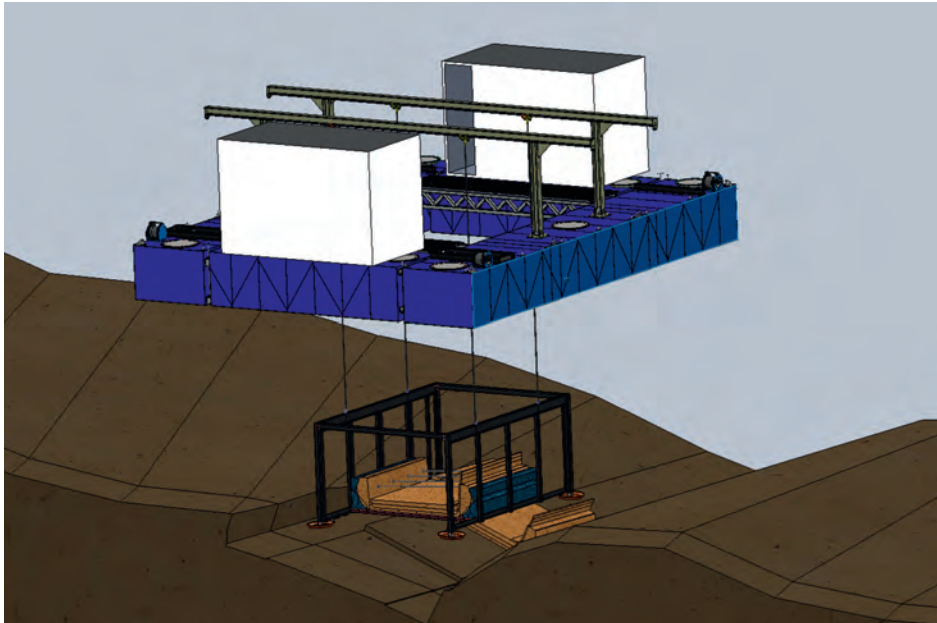


Fig. 26 : Vue numérisée du tronçon dans son berceau, prêt à être relevé (O'Can).



Fig. 27 : Relevage de l'un des tronçons de l'épave dans son berceau, par une grue positionnée à terre (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

### Le transfert des berceaux du ponton au hangar

Le grutier était chargé d'amener le berceau au-dessus du chariot de prise en charge des tronçons qui était placé sur le quai. Le chariot était muni de lattes similaires à celles du berceau qui devaient s'insérer entre les lattes du berceau. Une fois toutes les lattes du chariot en place, le berceau pouvait être descendu sur ses pieds et le transfert de poids entre les deux structures pouvait être effectué. Le travail consistait alors à démonter les lattes et les pièces de calage du berceau tout en réinstallant simultanément un calage sur le chariot. Cette phase était supervisée par l'équipe de conservation-restauration. L'ensemble palonnier/berceau, alors libéré, pouvait être replacé dans la foulée sur le ponton, au-dessus de la piscine, en vue du prochain levage.

## ÉTUDE DES PIÈCES DE BOIS ET DES TRONÇONS DE L'ÉPAVE À TERRE<sup>16</sup>

### SUR LE CHANTIER

#### Les étapes de la documentation

Sabrina MARLIER

Une fois découpés, relevés et acheminés dans le hangar, les tronçons de l'épave ont été nettoyés par les archéologues et les restaurateurs puis documentés, suivant ces différentes étapes. Un nouvel étiquetage des pièces de bois, compatible avec les exigences de la restauration, a tout d'abord été effectué au moyen d'étiquettes Dymo<sup>®17</sup>. Des fiches d'enregistrement, comportant un certain nombre d'informations à renseigner à la fois sur le tronçon dans son ensemble<sup>18</sup> et sur chaque pièce architecturale<sup>19</sup>, ont ensuite été saisies manuellement. Des photos d'ensemble et de détail du tronçon, aussi bien concernant les caractéristiques architecturales que celles destinées aux analyses dendrochronologiques complètent cette documentation. Le tronçon faisait ensuite l'objet d'un relevé 3D dans son ensemble (*infra*). Après le démontage et le découpage du tronçon en quatre sous-ensembles par les restaurateurs (deux flancs et deux parties de sole ; cf. Annexe 3), le relevé 3D des bordés de flanc en demi-tronc ainsi que des courbes a également été réalisé. Des observations de détails complémentaires étaient, à ce stade, également portées sur les fiches d'enregistrement. Enfin, des prélèvements destinés aux analyses polliniques et textiles ont été effectués aux endroits accessibles. Pour les tronçons relevés avec le fond du caisson encore en place (T5 à T8), le relevé 3D du fond du caisson a en plus été assuré avant son démontage.

De la même façon, les éléments amovibles du caisson prélevés sous l'eau – soit tous les éléments correspondant aux tronçons T3 et T4 ainsi que les cloisons latérales et les

16. Seules les traverses ayant été relevées à terre en 2010 pour y être documentées, l'étude des pièces de bois et des tronçons de l'épave à terre fait ici référence à la méthodologie mise en place lors du chantier de fouille-relevage, en 2011.

17. Ces étiquettes, marquées en noir sur fond jaune, indiquaient, pour chaque pièce architecturale le n° du tronçon, le n° de la pièce ainsi que son orientation (av., arr., haut, bas). Ex. : pour la membrure M124 du tronçon T7 : T7-M124 bâb. ou T7-M124 trib. ; pour le bordé de flanc F11 du tronçon T6 : T6-F11 haut, T6-F11 arr ou T6-F11 av, etc.

18. Ces renseignements portaient sur l'état de conservation général du tronçon complétés par des observations d'ordre architectural.

19. Les renseignements portés sur les fiches d'enregistrement individuelles comportaient – outre les indications générales concernant le n° d'enregistrement de l'élément, son identifiant, son appartenance à telle ou telle structure, sa localisation dans le bateau... – un certain nombre de rubriques relatives aux caractéristiques de la pièce documentée. Étaient ainsi renseignés : l'état de conservation, les dimensions, les assemblages, la présence ou non de réparations, l'interprétation de la pièce – sous-entendu sa fonction – des observations ou remarques particulières sur la pièce, les informations concernant les prélèvements effectués (bois, textile poissé, poix), les observations relatives au matériau bois (essence, débitage, traces anthropiques ou biologiques). Un croquis complétait l'ensemble.



planches de fermeture avant du caisson – ont fait l’objet d’une documentation complète avec des observations portées sur la fiche d’enregistrement, d’un relevé 3D ainsi que des photos d’ensemble et de détails.

Les clous enlevés par les restaurateurs pour le démontage des flancs des tronçons ont également été systématiquement enregistrés. Des fiches établies par les archéologues pour indiquer les pièces concernées par l’assemblage, le sens d’enfoncement des clous et la façon dont les pointes étaient enfoncées (à pointe perdue ou rabattue) ont été renseignées par les restaurateurs<sup>20</sup>.

## Méthodologie pour le relevé 3D

Nicolas RANCHIN

Fig. 28 : Relevé 3D du tronçon T4 à l’aide du C-Track (T. Seguin, O’Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



Suite à la décision prise de relever l’épave, la question de l’outil adéquat pour en réaliser un relevé 3D à terre s’est très vite posée. Dans le cas de chantiers d’archéologie navale en milieu terrestre, des outils de mesure tridimensionnelle, tels que la station totale ou le scan par relevé laser, ont été utilisés<sup>21</sup> (Ravn *et al.* 2011). Depuis dix ans, le bras FARO® est également devenu incontournable pour les relevés d’architecture navale en 3D. Cet outil, qui consiste en un palpeur attaché au bout d’un bras électronique articulé, a été employé sur d’importantes opérations pour le relevé d’épaves telles que le *Vasa*, en Suède, le *Newport Medieval Ship*, au Pays de Galles (Jones 2008, 2009a, 2009b, 2011), et la fouille de Yenikapi, en Turquie (Kocabaş 2012). Ayant fait ses preuves, cet outil présentait néanmoins certains inconvénients majeurs dans le contexte du chantier de fouille-relevage de l’épave *Arles-Rhône 3*, au premier rang desquels on notera son rayon d’action très limité ainsi que la gêne occasionnée par les tubes articulés composant son bras.

C’est donc vers un nouveau type d’outil de mesure tridimensionnelle que l’équipe d’*Arles-Rhône 3* s’est tournée. Jamais utilisé en archéologie, ce nouvel instrument, conçu et commercialisé par la compagnie Canadienne *Creaform 3D*, est un outil de mesure tridimensionnel compatible avec le logiciel Rhinocéros 3D – comme le bras FARO® – mais qui a la particularité d’être sans fil<sup>22</sup>. Il se compose de trois éléments complémentaires (fig. 28) :

- Une HandyPROBE : il s’agit d’un palpeur sans fil doté de neuf pastilles réfléchissantes qui servent à la mesure 3D. La pointe du palpeur est tout simplement posée sur le point à enregistrer et la donnée 3D est transférée sur le logiciel Rhinocéros lorsque l’opérateur appuie sur un déclencheur.
- Un C-Track : c’est un appareil doté de deux caméras infrarouges montées dans un boîtier sur trépied. La fonction du C-Track est de suivre le palpeur en temps réel et de capturer les données 3D lorsque l’opérateur appuie sur le déclencheur avant de les transférer vers le logiciel. À ce moment précis, une triangulation a lieu entre chacune des caméras

20. Les fiches ont été mises en place et renseignées de façon méthodique seulement à partir du tronçon T5, soit au niveau de la membrure M112, et concernent ainsi une grande moitié avant de l’épave. Il s’agit cependant essentiellement des clous situés sur la partie tribord du bateau, que les restaurateurs ont jugé nécessaire d’enlever pour démonter le flanc de ce côté du bateau, tandis que sur bâbord, les clous étant en grande partie minéralisés, il n’a pas été nécessaire de les enlever de façon aussi systématique.

21. Exemples du *Vasa* (Stockholm, Suède) (scan laser et station totale), de la fouille de Yenikapi (Istanbul, Turquie) (station totale) et des épaves de Naples (Italie) (scan laser).

22. Il s’agit d’un outil essentiellement utilisé dans l’industrie automobile et aérospatiale, jamais utilisé jusqu’à ce jour à des fins scientifiques. À l’achat, le coût de cet appareil, dans la configuration choisie par Ipso Facto pour le chantier, a été de 40000 €.

et les neuf pastilles du palpeur. Ce procédé de multiples triangulations instantanées engendre une marge d'erreur estimée à quelques microns.

– Des pastilles référentielles : il s'agit de pastilles réfléchissantes placées en différents points du sujet documenté pour créer un système référentiel. Elles permettent au C-Track de suivre le palpeur dans un espace 3D et assurent des mesures extrêmement précises. Une fois ce référentiel en place, le palpeur et le C-Track peuvent être déplacés n'importe où dans cet espace virtuel pour documenter le sujet sans que ce dernier ne perde son sens de l'orientation.

La méthodologie, conçue par Pierre Poveda, pour documenter l'épave en 3D se décompose en deux étapes ; elle comprend une documentation de type « macro » et une de type « micro ». Le relevé 3D de type « macro » correspond au relevé des tronçons composés de tous les éléments assemblés. Il représentait l'opportunité unique de documenter les éléments architecturaux en place et de produire une documentation très précise. Ce type de relevé était néanmoins rendu compliqué en raison de la chaîne opératoire mise en place qui voulait qu'entre le moment où un tronçon était remonté du fleuve et le moment où il était pris en charge par les restaurateurs pour son démontage, les archéologues disposaient seulement d'environ une semaine pour accomplir toute la documentation. L'enregistrement 3D étant une des composantes de la documentation globale, ce type de relevé devait être effectué en moins de 48 heures pour ne pas bloquer les autres tâches de la documentation.

La deuxième étape de la documentation 3D, de type « micro », comportait la documentation de détail d'éléments mobiles, telles que les vaigres du fond du caisson, ou d'éléments démontés après le relevé « macro », tels que les flancs ou les courbes. Il est important de noter que les contours des éléments qui allaient être documentés dans la phase « micro » étaient rapidement relevés lors de la phase « macro » afin de faciliter leur remplacement sur les plans 2D et 3D en phase post-traitement.

Le procédé de documentation en lui-même consistait à documenter les faces visibles de chaque élément en joignant des points capturés en 3D entre eux pour créer des polygones. Chaque élément architectural était donc composé d'un assemblage de polygones qui représentait les contours de chaque pièce. Les détails, tel que les clous, étaient eux aussi documentés de la même façon. En plus de produire des données brutes d'une très grande précision, celles-ci étaient exportées dans Adobe Illustrator® pour imprimer des fiches techniques que les archéologues aussi bien que les restaurateurs pouvaient aussitôt utiliser. Ces relevés graphiques représentaient soit un tronçon complet soit des éléments architecturaux indépendants sous différents angles de vue sur lesquelles les restaurateurs pouvaient notamment ajouter des données et des observations (par exemple la localisation des clous enlevés lors du démontage des bordés de flanc en demi-tronc). Ces fiches ont permis de créer une certaine homogénéité dans le partage d'informations entre les différentes équipes sur le terrain.

Au terme de quatre mois d'utilisation intensive, un premier bilan sur l'utilisation du C-Track à des fins de documentation en archéologie navale a pu être dressé. L'atout majeur de cet outil est qu'il est sans fil. Cela a permis une grande liberté de mouvement et d'accéder aux plus petits recoins de l'épave sans jamais avoir besoin de complètement démonter chaque élément architectural. Encore plus important, cela a également permis un gain de temps important sans que ce soit au détriment de la qualité du relevé (fig. 29). L'instrument est également facile à manipuler et son apprentissage ne nécessite que peu de temps.

Le C-Track présente néanmoins des inconvénients qui ne sont pas négligeables. Ainsi, il est sensible à l'environnement de travail. Cet outil, destiné à être normalement utilisé dans un environnement où les conditions atmosphériques sont optimales et contrôlées, a été utilisé dans des conditions extrêmes et difficiles dans le cas du chantier *Arles-Rhône 3* : installé dans un hangar, il a souffert de la poussière, de l'humidité, du vent ainsi que de fortes fluctuations de températures qui ont parfois affecté le bon fonctionnement de l'instrument et ont ralenti le travail de documentation, allant même par moment jusqu'à l'interrompre. De plus, le C-Track reste un instrument qui nécessite un contact direct avec l'objet à relever pour générer une donnée précise, ce qui n'est pas nécessairement souhaité pour préserver l'intégrité physique de l'objet. À ce stade, il est encore difficile de savoir si le C-Track représente la prochaine génération d'outils utilisés par les archéologues pour des tâches de documentation 3D nécessitant un contact direct avec l'objet. Cependant, les résultats obtenus à ce jour démontrent un fort potentiel et lui octroient une place de choix parmi les outils à disposition des archéologues, et notamment des archéologues navals (Ranchin 2012 ; Marlier, Poveda, Ranchin à paraître).

Chaland Aries-Rhône 3	
Dimensions principales	
Longueur hors-tout	31,00 m
Largeur hors-tout (avant redressement)	3,07 m
Hauteur hors-tout (avec le mât en place)	3,81 m
Hauteur du bordé	1,09 m

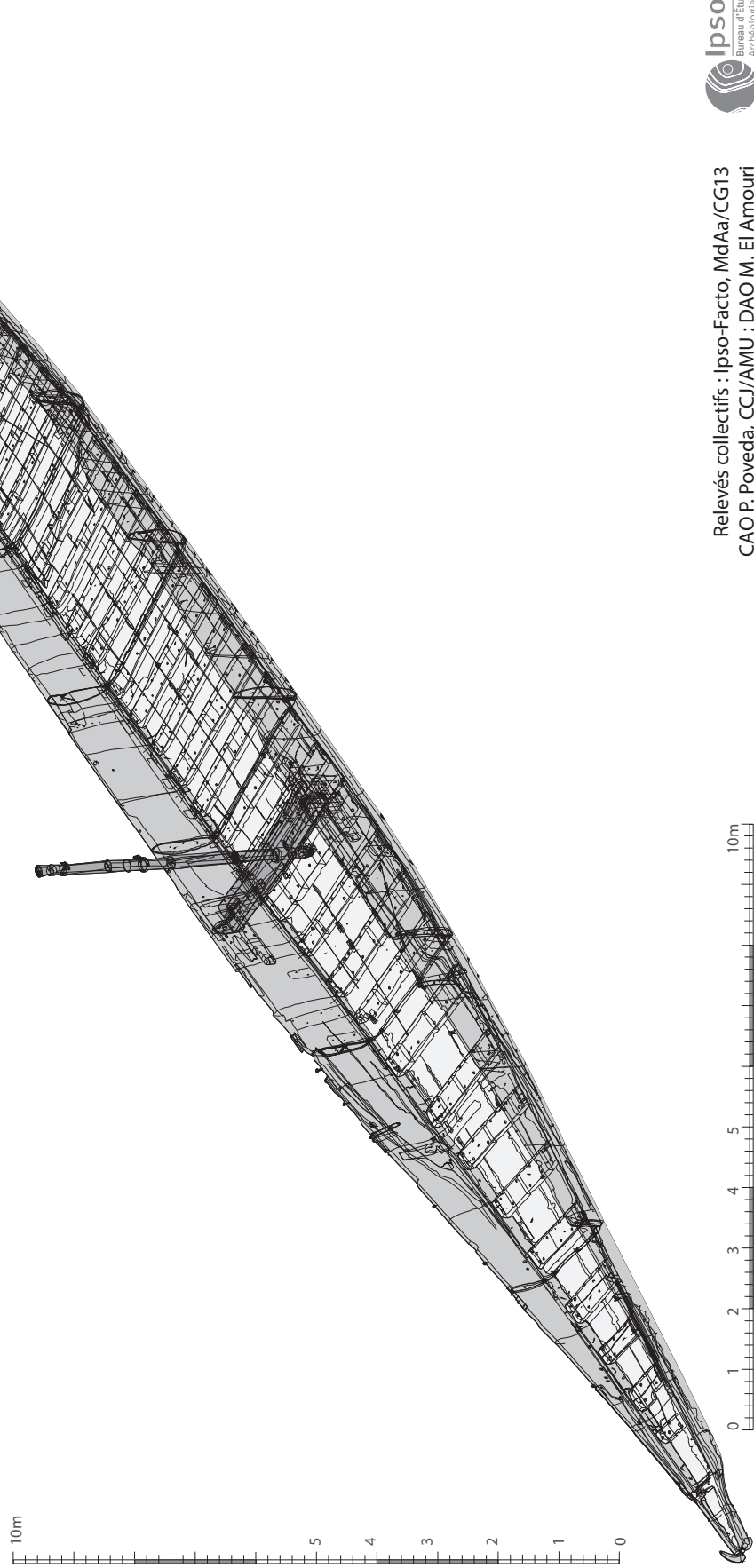


Fig. 29: Relevé brut des dix tronçons de l'épave, remis en connexion (filaire).

Selon les objectifs définis pour l'étude dendrologique de l'épave *Arles-Rhône 3* (*infra*, p. 171), la documentation des pièces de bois, compilée sur les mêmes fiches de renseignements créées pour décrire les caractéristiques architecturales de chacune des structures du bateau (note 19), se divise en trois types.

Premièrement, elle se définit par un enregistrement de données issues de l'observation macroscopique de l'ensemble des structures, illustrées par des croquis et par un relevé photographique systématique. Ces données rassemblent des informations nécessaires aux diverses analyses mises en œuvre sur le bois. Elles concernent, tout d'abord, la description des types de débitage et de mise en œuvre selon les pièces architecturales et la morphologie des arbres utilisés (torsions, embranchements, nœuds, position du cœur, présence d'aubier ou de cambium, *etc.*), illustrée de croquis dendromorphologiques, de relevés graphiques effectués entre 2005 et 2010 et de relevés photographiques effectués de manière systématique en 2011. Puis, elles rassemblent les traces de façonnage ou d'usage laissées à la surface du bois (traces d'outils, d'impact biologique ou anthropique divers, *etc.*), illustrées de croquis et de relevés photographiques de détails. Les données s'intéressent aussi à la détermination de l'essence ligneuse déjà effectuée auparavant ou identifiée à l'œil nu et, de même, la datation obtenue antérieurement sur certaines pièces architecturales est renseignée. Enfin, le cas échéant, les données font référence aux numéros d'inventaire des prélèvements destinés à l'expertise micrographique xylologique ainsi qu'à ceux des relevés photographiques haute définition des sections transversales nécessaires à la poursuite des analyses dendrochronologiques et dendromorphologiques (*infra*, p. 171-172).

Pour les besoins de l'analyse xylologique, deuxièmement, de petits échantillons de bois ont été prélevés de manière systématique sur les structures dont l'essence n'était pas identifiable à l'œil nu<sup>23</sup> ou n'avait pas encore fait l'objet d'une expertise micrographique. À l'issue du travail de documentation réalisé sur les bois consécutivement à leur sortie de l'eau, les prélèvements ont été effectués, de manière discrète et en ayant soin de privilégier des parties de l'épave indirectement destinées à être exposées, selon la méthode d'échantillonnage déjà décrite (*supra*).

Troisièmement, étape primordiale de l'enregistrement des données, un relevé photographique réalisé par des photographes professionnels a permis de compiler des informations en optimisant le temps de travail, la qualité et la quantité des archives. Toujours dans le souci de ne pas altérer les structures de l'épave, notamment, par un échantillonnage destructeur voué aux analyses dendrochronologiques et dendromorphologiques, les sections de nombreuses pièces d'architecture ont pu être renseignées et illustrées par le biais de ce relevé en profitant de la découpe de l'épave en dix tronçons nécessaires à son relevage<sup>24</sup>. Ces archives se déclinent en deux types.

D'une part, les images documentaires destinées à l'illustration dendromorphologique et tracéologique se composent de vues de détails de la mise en œuvre des bois et des traces de diverses empreintes sur la surface des structures ainsi que de vues de leurs sections transversales quand elles étaient disponibles. Ce relevé a nécessité la mise en place d'un studio photo mobile indispensable pour s'adapter à la dimension des pièces à documenter et pour la prise de clichés en lumière rasante, essentielle pour la mise en valeur des reliefs superficiels spécifiques aux traces d'outils.

D'autre part, les archives photographiques destinées à l'analyse dendrochronologique se définissent par des vues strictement de face des sections transversales des structures et en haute définition nécessaire au degré de précision de la mesure de l'épaisseur des cernes exigé par la discipline. Grâce à la découpe de l'épave, les sections des bordages de sole et de bouchains en chêne caducifolié ainsi que celles des bordés de flanc en demi-tronc et des cloisons internes du caisson en sapin ont été relevées à raison d'un relevé tous les deux tronçons de manière à couvrir l'ensemble des pièces d'architecture d'une extrémité à l'autre de l'épave. Comme le définit la méthode d'échantillonnage (*supra*), la multiplication des vues permet de garantir une meilleure représentativité statistique des résultats tout en assurant une illustration de la morphologie du bois et du type de débitage mis en œuvre sur l'ensemble de la pièce. Quelques autres structures (vaigres, longerons, banc de mât) ont été choisies en fonction de paramètres favorables à la réussite de l'analyse (nombre de cernes supérieur à 30, croissance ligneuse régulière, *etc.*). Afin d'améliorer la lecture des cernes de croissance et avant de procéder aux clichés haute définition, les sections transversales étaient rafraîchies à la lame de rasoir, en ayant soin de créer un ou deux chemins de mesure, et la surface des pièces en bois de chêne caducifolié, particulièrement obscure

23. En dehors des pièces en chêne caducifolié qu'il est possible de déterminer à l'œil nu, les bois ont fait l'objet d'un échantillonnage exhaustif.

24. Ce relevé est venu remplacer le prélèvement des sections transversales de bois épaisses d'environ 10 cm, rendu impossible en raison de la présentation muséographique intégrale du chaland, ainsi que le relevé graphique effectué les années précédentes, dans un souci de performance et de rapidité de l'enregistrement.

**Fig. 30 :** Section avant du bordage B8 du tronçon T9 préparée pour l'enregistrement de deux chemins de mesure (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



et uniforme, était saupoudrée de talc pour mettre en évidence la limite des cernes. Une fois préparée, un numéro d'inventaire rappelant le nom et le numéro de la pièce, le numéro du tronçon, la localisation de la section et, le cas échéant, celle du chemin de mesure était attribué à chaque pièce (ex. FL5-T9-av-sup ou B8-T9-av) (fig. 30).

## À L'ATELIER ARC-NUCLÉART ET AU LABORATOIRE A-CORROS

Sabrina MARLIER

Une fois documentés, les bois de l'épave, démontés et conditionnés, ont été transportés à l'atelier ARC-Nucléart de Grenoble en vue de leur traitement et de leur restauration (cf. Annexe 3).

La proue (tronçon T10) a également fait l'objet d'un « déconcrétionnement » et d'une restauration des éléments métalliques la ceinturant.

La détection de la présence de sulfure dans les bois au contact des clous d'assemblage a par ailleurs entraîné la décision de procéder à l'enlèvement de l'ensemble des clous du chaland afin de cureter les bois et empêcher le développement de sulfures par la suite (cf. Annexe 3).

Ces différentes étapes du traitement de l'épave et de sa restauration ont par conséquent permis de réaliser des observations complémentaires sur les structures architecturales du bateau ainsi que sur les éléments d'assemblage. Une documentation complémentaire, sous forme de fiches, de croquis, de photographies et de relevés 3D, a également été produite. La proue, après la restauration de ses éléments métalliques, a ainsi bénéficié, en janvier 2013, d'un nouveau relevé 3D au C-Track réalisé par les archéologues de la société Ipso Facto<sup>25</sup>.

La venue de Béat Arnold<sup>26</sup>, en janvier 2013, à l'atelier ARC-Nucléart a également permis de faire des observations très précises sur les procédés d'assemblage de la charpente transversale à la sole.

Les clous enlevés sur l'épave ont finalement été documentés, pour partie à l'atelier ARC-Nucléart et pour partie dans les locaux d'A-Corros, à Arles, où une cinquantaine d'entre eux ont également été restaurés. Des prises de mesures systématiques et des observations sur les caractéristiques de ces clous ont ainsi pu être réalisées. Le total de ces clous (518) représente, si l'on considère que le chaland comptait près de 1700 clous, un peu moins d'un tiers de la totalité employée pour l'assemblage de l'ensemble des structures (tableau, fig. 144).

## CONCLUSION SUR LES MÉTHODES

Au terme de quatre années de fouille programmée, l'ensemble des méthodes mises en place et des techniques mises en œuvre pour assurer la fouille du site *Arles-Rhône 3* auront permis de fouiller, de documenter et de relever l'épave dans son intégralité. La dernière campagne aura surtout vu le développement de nouvelles stratégies de fouille et la mise en place de chaînes opératoires complexes pour assurer non seulement la prise en charge, de la fouille au musée, d'un mobilier archéologique abondant et diversifié mais aussi celle des tronçons et des bois de l'épave, de la fouille à l'atelier de restauration. Quelques chiffres permettent de résumer cette dernière opération : 150 journées travaillées avec 4 300 heures de plongée, 900 m<sup>3</sup> de sédiments fouillés et tamisés, près de 3 000 objets et

25. La pelle de gouverne et le fond de *dolium* ont aussi fait l'objet d'un relevé 3D au moyen du C-Track dans les réserves du MdAa, en juin 2012.

26. B. Arnold est archéologue cantonal honoraire du canton de Neuchâtel (Suisse). Il a été notamment responsable de la fouille du chaland gallo-romain de Bevaix (Arnold 1992a) et de la construction de sa réplique navigante, *Altaripa* (Arnold 1999).

environ 1 200 caisses de matériel archéologique enregistrés, une épave de 31 m fouillée, documentée et relevée en dix tronçons. Ce succès, s'il est sans nul doute lié aux compétences et à la complémentarité des équipes engagées, est aussi lié aux conditions météorologiques exceptionnelles qui ont accompagnées le chantier de l'année 2011.

Ajoutons enfin que le temps consacré au traitement, à la restauration et au remontage de l'épave aura également permis aux archéologues de compléter leurs observations et leur documentation du bateau.

Au total, on peut donc considérer que c'est une étude exhaustive du chaland sous tous ses aspects, conduite par une vingtaine de spécialistes, qui est livrée dans cette publication.

# CHAPITRE 3. LE CONTEXTE DE L'ÉPAVE

## LE CONTEXTE HISTORIQUE ET ARCHÉOLOGIQUE

### LE CONTEXTE HISTORIQUE : ARLES AU MILIEU DU 1<sup>er</sup> SIÈCLE AP. J.-C.

Marc HEIJMANS

Au milieu du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C., quand le chaland antique – devenu l'épave *Arles-Rhône 3* – a sombré dans les eaux du Rhône, Arles est colonie romaine depuis un peu plus d'un siècle. Dotée au moment de sa fondation d'un très vaste territoire, allant jusqu'aux portes d'Aix et englobant Toulon – comme récompense après le soutien de la ville à l'armée de César contre Pompée – elle accueille sans doute après la bataille de Munda, en 45 av. J.-C., les vétérans de la VI<sup>e</sup> légion *Ferrata*. On ignore comment s'est faite l'intégration de ces nouveaux habitants avec les autochtones, qui n'ont peut-être pas vu d'un bon œil l'arrivée de ces anciens soldats. Il n'y a cependant aucun argument pour supposer que les anciens habitants ont été déplacés vers la rive droite du Rhône ou dans le secteur occidental de la ville (actuel quartier de la Roquette) (Gros 2008, p. 152).

Toutefois, l'arrivée des Romains a complètement changé l'aspect de la ville, déjà vieille de cinq siècles. Certes, les premières années après la fondation de la colonie n'ont probablement pas vu beaucoup de modifications mais, sans doute dès les années 30 av. J.-C., d'importants travaux ont eu lieu. Évidemment, l'impact de ces travaux est surtout perceptible sur la rive gauche du Rhône où, autour de la colline de la Hauteure, s'était développée l'agglomération protohistorique. Le premier souci semble avoir été la protection de la ville contre les crues du Rhône, qui a connu une période d'activité hydrodynamique particulièrement importante durant la seconde moitié du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C., ce dont témoignent plusieurs sites le long du fleuve (Allinne, Bruneton 2008). Il s'agit dans la majorité des cas d'apport de remblais importants qui permettent de rehausser le niveau des berges face au fleuve et, sans doute en même temps, de donner plus d'importance aux monuments qui se situaient le long des berges, bien que ces derniers restent fort mal connus.

Les fouilles récentes montrent que ce que l'on appelle le premier plan d'urbanisme, attribué à Auguste, s'est en réalité échelonné sur une période plus longue (fig. 4). Parmi les principaux monuments construits au début de l'époque augustéenne se placent évidemment le *forum* (4), directement à l'ouest du *cardo* (2), et le théâtre (6), sur les premières pentes de la colline. On peut supposer que ces travaux étaient achevés vers 20-10 av. J.-C. Cela vaut aussi, mais avec moins de certitude, pour d'autres monuments publics découverts plus récemment dans des caves près du Rhône, comme une place publique, rue Truchet (7). Également augustéen semble être l'arc du Rhône (8), qui a certes disparu, mais dont les gravures anciennes permettent de situer la construction dans les années 20-10 av. J.-C. Cet arc marquait le passage d'un premier pont de bateaux sur le Rhône.

En revanche, il semble bien, d'après les fouilles récentes réalisées dans l'angle sud-est de la ville, que l'attribution à Auguste de l'enceinte antique (1), encore remarquablement conservée dans cette partie de son parcours, doit être reconsidérée. Il semblerait en effet que la construction de la courtine ne soit pas antérieure au milieu du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. De même, la mise en place de la voirie, en tout cas des dallages, tels qu'on les a observés en plusieurs endroits de la ville, a eu lieu dans le courant du 1<sup>er</sup> s., comme d'ailleurs l'extension du *forum* vers l'ouest, avec la construction du *forum adiectum* (5), et sans doute un temple consacré au *diuus Augustus*.

Au début de l'époque flavienne, la rive gauche de la ville avait donc reçu une partie de sa parure monumentale et sans doute, depuis peu, son enceinte, mais certainement pas encore l'amphithéâtre. En revanche, on connaît mal, pour ce début du Haut-Empire, les secteurs où se trouvaient les maisons des habitants. Il n'est pas exclu que les quartiers résidentiels que l'on trouve par la suite aux I<sup>er</sup> et III<sup>e</sup> s. au sud de la ville existaient déjà dès le 1<sup>er</sup> s.

Quand on se tourne vers la rive droite, nos connaissances sont encore plus limitées pour ces périodes aussi hautes. De ce côté du fleuve aussi, le premier souci a porté sur la protection contre les inondations et le drainage des sols. En témoignent surtout des

alignements d'amphores, observés en plusieurs endroits dans le quartier de Trinquette, en particulier dans le secteur de l'Île des Sables (Rothé, Heijmans 2008, 251\*, 262\*) (fig. 4, n° 9). Ces alignements, surtout d'amphores de type Dressel 1, semblent avoir été mis en place dès les années 40-30 av. J.-C., peut-être par les premiers colons venus d'Italie. Dans ce même secteur, des découvertes anciennes de ratés de cuisson suggèrent la présence d'ateliers de production de céramiques et on peut probablement attribuer à cette même période l'édifice fouillé en 1947 près du bord du Rhône (rue du Four Banal fig. 4, n° 10) et qui correspond peut-être à une construction militaire, s'il faut en croire Fernand Benoit, de l'époque de César (Rothé, Heijmans 2008, 279\*).

Du côté opposé, en aval du quartier, les fouilles récentes de la Gare Maritime (fig. 4, n° 11) montrent ici aussi une première occupation également augustéenne qui pourrait être de caractère artisanal, assez rapidement recouverte, avant le milieu du 1<sup>er</sup> s., par des constructions qui, bien que mal conservées, témoignent néanmoins d'une structuration du quartier qui perdurera jusqu'à la fin du Haut-Empire.

Si l'on peut donc supposer une occupation plutôt artisanale et commerciale des rives du Rhône dès l'époque augustéenne, en revanche, notre connaissance des secteurs plus à l'intérieur des terres reste très limitée. Certes, quelques sondages profonds, comme sur le site de la rue Brossolette (Rothé, Heijmans 2008, 298\*) (fig. 4, n° 12), ont bien montré une occupation précoce, et du mobilier de ces périodes a été trouvé de manière résiduelle dans les niveaux plus récents, mais il est bien difficile d'estimer l'ampleur et l'organisation de ce quartier avant la période flavienne. À ce moment-là, le chaland *Arles-Rhône* 3 a déjà sombré au fond du Rhône.

## LE PORT D'ARLES À L'ÉPOQUE ROMAINE: UN PORT FLUVIOMARITIME

Sabrina MARLIER

Avec la colonisation romaine, la cité d'Arles, on le voit, va rapidement se développer. Et c'est sa position privilégiée au carrefour d'axes de circulation majeurs (routes, fleuve et mer) qui contribue sans nul doute à son enrichissement. Située dans la section inférieure de l'axe rhodanien, à la fois sur la *via Aurelia* et la *via Agrippa*, et sur le fleuve, à la pointe du delta du Rhône ouvrant sur la Méditerranée, Arles est en effet un carrefour commercial qui tient une place privilégiée dans les échanges commerciaux du monde romain. Le port d'Arles reçoit ainsi l'ensemble des produits de la Méditerranée (vin en provenance du Levant, du sud-est anatolien, de Rhodes, de Cnide et d'Ephèse, de Tarraconaise, d'Ibiza, d'Italie et de Tripoli; huile de Bétique, de Tunisie et de Tripolitaine; sauces et salaisons de poisson de Bétique, de Lusitanie et de Tunisie; olives de Bétique; prunes et figues de la région levantine; métaux de la Montagne Noire (située au nord de Narbonne); marbres d'Italie et d'Orient...) et assure leur redistribution dans l'intérieur du pays – et jusqu'au *limes* germanique – grâce à l'axe de circulation sud-nord que constitue le Rhône et ses affluents (Long, Picard (dir.) 2009, p. 248-329). À l'inverse, il reçoit les produits venus de l'intérieur des terres (vin de Gaule, vases marchandises<sup>1</sup>) qui sont ensuite diffusés en Méditerranée.

Vecteurs de ce commerce, les bateaux assurent l'acheminement et le transit de ces produits. Depuis le début des années 2000, une quinzaine d'épaves, datées entre le 1<sup>er</sup> s. av. et le 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C., a été recensée dans les eaux du Rhône, à Arles (Long 2009b, p. 232-239). Chalands fluviaux (*Arles-Rhône* 3, *Arles-Rhône* 5), bateaux fluviomaritimes (*Arles-Rhône* 7?, *Arles-Rhône* 8? et *Arles-Rhône* 14?) et navires de mer (*Arles-Rhône* 6?, *Arles-Rhône* 13)<sup>2</sup>, la variété des épaves expertisées reflète la diversité des bateaux qui pouvaient atteindre Arles à l'époque romaine et circuler sur le Rhône. Au-delà de cette diversité, ces épaves témoignent – en relation avec la zone de rupture de charge que constitue le port d'Arles – de la complémentarité nécessaire entre ces différents types d'embarcations (Marlier 2008). Si, par principe, les navires fluviomaritimes pouvaient franchir la barre du Rhône (*infra*), les navires de mer devaient nécessairement avoir un tirant d'eau inférieur à 2 m, voire 1,50 m, pour leur permettre de franchir la barre, pénétrer dans l'embouchure et gagner le port d'Arles afin d'y décharger leurs marchandises (Marlier 2008, p. 167). Il devait s'agir de petites ou moyennes unités qui, selon la forme de leur carène, ne devaient guère dépasser la vingtaine de mètres de longueur<sup>3</sup>. Les navires au tirant d'eau plus important ne pouvaient pas franchir cette barre<sup>4</sup>, sous peine d'échouage, et devaient stationner dans un avant-port, ou tout du moins une zone de mouillage, que Luc Long situe aux Saintes-Maries-de-la-Mer (Long 2009a). Les marchandises étaient alors déchargées, transbordées dans des bateaux plus petits qui assuraient leur acheminement jusqu'à Arles et au-delà. De dimensions similaires aux navires de mer capables de gagner Arles, les navires de type fluviomaritime pouvaient remonter plus au nord sur le Rhône, grâce à leur quille «plate»<sup>5</sup> et leur fond plat. Les navires romains à *dolia* sont représentatifs de ce type de bateau particulier. Spécialisés dans le

1. La présence dans le Rhône, en grand nombre, de bouilloires en pâte kaolinithique et de pots carénés recoupe les données enregistrées à travers les prospections sous-marines du golfe de Fos et confirme ainsi le dynamisme d'un courant commercial descendant (Long, Piton, Djaoui 2009, p. 610-611; Marty 2002, p. 218).

2. L'épave AR5, découverte en 2007 (Long 2009b, p. 234-235), a fait l'objet d'un sondage en 2010 qui a permis de mettre en évidence le même système architectural que celui de l'épave AR3 (Marlier 2011a). Les épaves AR7, AR8 et AR14, fouillées pour les deux premières depuis 2008 et expertisées pour la troisième en 2011 sont attribuées à des navires fluviomaritimes en raison de leur fond plat allié à un avant pincé et de l'assemblage de leur bordé par tenons et mortaises. Elles se caractérisent également par un assemblage de leurs membrures à l'aide de gournables et de clous en fer. Elles sont cependant dépourvues de quille (Long, Duperron 2013, p. 129-133). La découverte de traces de vers xylophages (*taredo navalis*) sur AR7 semble néanmoins bien attester que ce navire ait fréquenté le milieu maritime. L'épave AR6, correspondant vraisemblablement à un navire en cours de démolition, se caractérise, comme l'épave AR13, par une construction sur quille à retour de galbord (évoqué uniquement pour AR13) avec un assemblage par tenons et mortaises chevillées (Long 2009b, p. 235; Long, Duperron 2013, p. 126-127). L'étude des épaves attribuées à des navires de type fluviomaritime ou maritime n'en est cependant qu'à ses débuts et ces identifications doivent encore, pour le moment, être considérées comme des hypothèses que seule une analyse architecturale détaillée pourra venir confirmer.

3. La longueur d'AR13 est évaluée à une vingtaine de mètres (Long, Duperron 2013, p. 126).

4. À titre d'exemple, un des plus grands navires découvert pour l'époque romaine, l'épave de la Madrague de Giens, datée du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C., mesurait 40 m de longueur pour un port en lourd estimé à 400 t et un tirant d'eau de 3,65 m (communication personnelle P. Pomey pour cette dernière donnée): ce type de navire appartient, au sens large, à la catégorie des *myriophoroi*, capables de transporter 10 000 amphores (Pomey, Tchernia 1978).

5. Il s'agit de quilles de section plus large que haute.



transport du vin en vrac dans de grandes jarres – les *dolia* – situées à poste fixe au centre du bateau, ces navires sont longs de 20 m environ pour un tirant d'eau inférieur à 1,50 m et un port en lourd de 70 t maximum. Petits navires de mer, ils étaient sans aucun doute capables de franchir la barre du Rhône pour remonter le fleuve directement jusqu'à Lyon et y décharger le vin contenu dans leurs *dolia* (Marlier 2008). Enfin, assurant l'essentiel des transports dans le domaine des eaux intérieures, le chaland est le bateau fluvial par excellence. Caractérisé par un fond plat leur permettant de naviguer dans les eaux les plus basses, les chalands gallo-romains les plus grands, à l'image d'*Arles-Rhône 3*, pouvaient atteindre 30 à 35 m de longueur, voire 40 m<sup>6</sup>. Navires maritimes, fluviomaritimes et bateaux fluviaux, ces trois catégories fréquentant le Rhône, et le port d'Arles, à l'époque romaine, sont donc liées à des questions de navigabilité du fleuve. La comparaison avec le Tage, pour lequel Strabon indique qu'il est navigable selon ses sections par des bateaux fluviaux aussi bien que par des *myriophoroi* capables d'entrer dans son embouchure, est sur ce point éloquent (Strabon, *Géog.*, III, 3, 1).

Si les épaves témoignent de l'intensité du trafic commercial à Arles à l'époque romaine et du caractère fluviomaritime de son port, ce sont surtout les centaines de milliers d'amphores et de céramiques, que livre le Rhône, qui nous renseignent sur la nature des échanges et des flux commerciaux (Long, Picard (dir.) 2009, p. 248-326). Ce que l'on qualifie de « dépotoir portuaire » revêt cependant un caractère bien plus complexe (Djaoui 2011a, p. 36-123) et c'est au sein d'un enchevêtrement d'amphores, de céramiques mais aussi de milliers d'autres objets de toute nature qu'a été découverte l'épave *Arles-Rhône 3*.

## LE CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE : LE DÉPOTOIR PORTUAIRE RECOUVRANT L'ÉPAVE *ARLES-RHÔNE 3*

David DJAOUI

Le chaland *Arles-Rhône 3* a fait naufrage sur la rive droite du Rhône (fig. 4). Après s'être déposé sur la pente naturelle du fleuve, il a été recouvert durant plusieurs dizaines d'années par des milliers d'amphores et de céramiques dont l'accumulation constitue aujourd'hui un vaste dépotoir portuaire. À cet abondant mobilier archéologique, qui témoigne de l'intense activité commerciale et du trafic fluviomaritime à Arles à l'époque romaine, s'ajoutent également des milliers d'objets qui nous renseignent autant sur le matériel de bord et l'équipement (accastillage, grément) des bateaux que sur la consommation et les activités artisanales de la ville à cette même période.

Au sein d'une stratigraphie complexe et dans un environnement subaquatique obscur et difficile d'accès, les données pour caractériser ce dépotoir portuaire demeurent difficiles à établir<sup>7</sup>.

L'interprétation des données stratigraphiques requiert en effet une certaine prudence. Si la méthode de fouille par Unité Stratigraphique (US) a permis de différencier des zones précises et d'isoler les couches dites de surface des couches plus profondes, les délais d'intervention extrêmement rapides, pour la fouille intensive de l'année 2011, et les conditions difficiles de fouille ne permettent pas d'assurer l'imperméabilité des US ainsi définies (fig. 31). Pour les enduits peints recensés, par exemple, Mathilde Carrive (IRAA/AMU) a isolé un lot relativement homogène d'éléments répartis dans une quarantaine d'US différentes. Les deux groupes les plus importants proviennent chacun d'une vingtaine d'US, allant des couches de surface à celles situées sous l'épave. L'étude du mobilier en verre menée par Souen Fontaine (Drassm) a également mis en exergue la perméabilité de certaines US. Par conséquent, seul un important travail de fond, associant l'inventaire global des céramiques fines à l'étude stratigraphique, conduite par Mourad El Amouri, permettra de replacer l'épave *Arles-Rhône 3* dans son contexte stratigraphique.

Néanmoins, à travers les 900 m<sup>3</sup> de sédiments fouillés, deux constats s'imposent. Le premier porte sur l'homogénéité du matériel. L'étude préliminaire des céramiques et des verres recoupe en effet, en termes de datation, celles réalisées par Joël Françoise sur un lot de plus de 364 monnaies antiques. La constitution de ce dépotoir portuaire s'inscrit ainsi entre le naufrage du chaland *Arles-Rhône 3*, daté entre 50/55 et 65/70 ap. J.-C. (*infra*, p. 239) et un *terminus ante quem* que l'on situe vers 140 ap. J.-C. (Djaoui 2011a). On notera également que l'étude quantitative de ces différents matériaux s'accorde pour situer un pic d'activité à l'époque flavienne. Le second constat concerne la diversité et la richesse du mobilier, particulièrement bien protégé par les limons du fleuve. De ce dépotoir ont été extraits, uniquement pour l'année 2011, près de 3 000 objets (dont environ 235 amphores entières), des dizaines de milliers de tessons (dont 22 000 fragments de parois fines), 816 lampes, 428 monnaies, un millier d'objets en verre, 106 objets en bois, 110 objets en

6. Découvert en Allemagne, le chaland *Mayence 6* serait, avec des dimensions restituées de 40 m pour la longueur et 5 m pour la largeur, le plus grand de tous les chalands gallo-romains mis au jour jusqu'à présent (Höckmann 1995); le chaland *Zwammerdam 4*, découvert aux Pays-Bas, mesure quant à lui 34 m de longueur pour une largeur de 4,40 m (De Weerd 1988a; 1988b; 1990).

7. Si la fouille d'un dépotoir portuaire en milieu immergé, et particulièrement dans le Rhône, est difficile, les fouilles de sites portuaires, en général, sont complexes. Voir les fouilles des sites portuaires de Marseille (Hesnard *et al.* 1999), Lattes (Garcia, Vallet 2002), Narbonne (Sanchez, Jézégou (dir.) 2011; Sanchez, Carrato, Favennec 2011), Lyon St-Georges (Ayala (dir.) 2013) et Bordeaux (Gerber, Granha, Silhouette 2005).



Fig. 31 : Vue du dépotoir de surface recouvrant l'épave (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

métal, 2000 fragments d'enduits peints et une cinquantaine de fragments de marbres colorés. On compte également un volume de près de 2,5 m<sup>3</sup> d'ossements d'animaux (faune) et de coquillages (malacofaune). Enfin, 120 tonnes de tessons d'amphores et de céramiques ont été réenfouis après la fouille au fond du Rhône, dans la dépression créée par l'enlèvement de l'épave<sup>8</sup>. Jusqu'à la fouille de l'année 2011, l'importance des restes de faune et de malacofaune n'avait pas été constatée. La récupération des rejets de suceuses à air (*supra*, p. 38) a permis de rendre compte de la présence notable de ces déchets organiques. La mise en évidence de ces rejets, dont l'étude est indispensable pour la compréhension de ce contexte portuaire, laisse supposer que la constitution du dépotoir est alimentée aussi bien par les amphores et la vaisselle de bord des bateaux que par des rejets de consommation de la ville antique d'Arles, que ce soient des rebuts carnés, des restes conchyliologiques ou encore des céramiques brisées. À ces artefacts s'ajoutent également les erreurs de manutention dans l'Antiquité, de possibles dépôts rituels<sup>9</sup> et des crues assez intrusives pour emporter par le fond aussi bien des bateaux que des produits stockés à proximité des quais (Djaoui 2011b).

L'environnement proche de la rive droite du Rhône à l'époque romaine – correspondant à l'actuel quartier de Trinquetaille – commence par conséquent à se dessiner avec une zone artisanale, qui semble regrouper des activités de boucherie et de tabletterie, ainsi qu'un atelier de tuilier aux côtés d'habitats modestes et/ou de structures liées à l'artisanat. Ainsi, l'image d'un quartier ostentatoire, imaginé un temps à la suite des découvertes lapidaires faites à seulement 150 m en amont d'*Arles-Rhône 3*, semble devoir être remise en question et marque bien la difficulté d'interpréter une zone de dépotoir portuaire jouxtant un centre monumental (Heijmans 2009). La compréhension de ce dépotoir, s'il repose sur l'étude du mobilier issu des fouilles subaquatiques, devra également s'appuyer sur une mise en perspective avec les résultats des récentes fouilles terrestres réalisées dans ce quartier<sup>10</sup>. C'est par le croisement de ces données que le chaland *Arles-Rhône 3* pourra être pleinement restitué dans son contexte archéologique. En attendant, les études géomorphologiques permettent d'ores et déjà de proposer une restitution du paléo-environnement de cette rive du fleuve.

8. L'ensemble de ce mobilier, actuellement en cours d'étude, doit faire l'objet de publications à venir.

9. Face aux aléas de la navigation et aux crues, il semblerait logique que des dons aient été faits au fleuve afin de solliciter sa clémence. Si de tels dépôts peuvent être attestés dans des contextes paisibles et «relativement clos», comme celui du lac du Bourget, où des mutilations volontaires ont été observées sur des céramiques (Nieloud-Muller 2011, p. 367-380), le dépotoir portuaire du Rhône constitue une vaste poubelle hétéroclite où les causes de rejet sont multiples et difficiles à dissocier (Djaoui 2011b, p. 11-12).

10. Notamment les diagnostics de la Gare Maritime (en 2010) et de l'avenue de Camargue (en 2011), dirigés par Ph. Mellinand (Inrap) ainsi que la fouille du site de la Verrerie (en 2013), sous la direction de M.-P. Rothé (MdAa) (fig. 32). Les diagnostics conduits par l'Inrap ont permis la mise au jour, pour la période du Haut-Empire, d'une voie romaine datée de la seconde moitié du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. ainsi que d'un habitat et d'un espace artisanal peut-être lié au travail du métal et tous deux remplacés, au cours du 1<sup>er</sup> s., par de probables entrepôts à vocation commerciale en connexion directe avec le fleuve (Mellinand 2011a et 2011b). La fouille du site de la Verrerie, situé à 500 m du Rhône actuel, a révélé la présence d'un quartier de *domus* daté entre la fin du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. et le 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. (Rothé, Genot (dir.) 2014).

### INTRODUCTION

Les études géomorphologiques portant sur les chenaux fluviaux dans un contexte archéologique en France sont nombreuses (Bravard, Amoros, Jacquet 1986 ; Bravard, Verot-Bourrely, Salvador 1992 ; Leveau (dir.) 1999 ; Bravard, Magny (dir.) 2002) ; les plus récentes portent sur la Loire (Castanet 2008 ; Serna (dir.) 2010). Les résultats de ces études concernent fréquemment les berges et les plaines alluviales, plus rarement les chenaux colmatés et plus rarement encore les dépôts dans les chenaux actifs. La raison principale est qu'il est difficile d'accéder aux stratigraphies associées aux vestiges qui s'étendent dans les chenaux actifs alors qu'il n'est pas rare qu'ils puissent sceller des événements sédimentaires contemporains de l'occupation des berges. Cette étude se propose de mettre en évidence ce dernier type d'information géomorphologique grâce aux travaux réalisés lors de l'extraction de l'épave *Arles-Rhône 3* mais aussi grâce aux travaux réalisés récemment autour du chenal du Grand Rhône dans la traversée d'Arles.

Le cas d'Arles est tout à fait remarquable par la densité des vestiges archéologiques qui bordent le Grand Rhône, ou dans le chenal lui-même, dont un énorme dépotoir en rive droite et au moins une quinzaine d'épaves (Long, Picard (dir.) 2009). Ces éléments constituent autant de repères chronologiques, de pièges sédimentaires et d'indicateurs directs de la paléogéographie du fleuve durant l'Antiquité.

L'objectif initial était de mettre en évidence la sédimentation dans le chenal fluvial antique immédiatement sous les épaves qui jalonnent le quai Napoléon. Ainsi, le carottage systématique des épaves a été entrepris à l'occasion des recherches menées par Luc Long (Drassm) et, pour l'épave *Arles-Rhône 3*, dans le cadre de sa fouille programmée (*supra*, p. 28-33). L'hypothèse était que le naufrage des bateaux aurait préservé la sédimentation sous leur coque et permettrait la datation optimale des dépôts sous-jacents. Cette question de la datation est d'autant plus importante que la marge de la datation radiocarbone est d'un ou deux siècles. Ainsi trois premiers carottages avaient été réalisés, entre 2008 et 2010, avant l'opération de fouille-relevage de l'épave *Arles-Rhône 3* réalisée en 2011.

L'opération d'extraction de l'épave, le diagnostic archéologique de l'extension du musée de l'Arles antique, ainsi que le diagnostic archéologique de la Gare Maritime conduits de manière quasi synchrone ont permis de réunir une somme d'observations et de données qui confortent l'analyse géomorphologique menée autour de l'épave. Plusieurs carottages sur les berges, autour et sous l'épave complètent un jeu de données géotechniques, géophysiques et géomorphologiques. Cependant, nous nous concentrerons surtout dans ce chapitre sur les données sédimentaires réunies autour d'*Arles-Rhône 3* à partir des carottages réalisés par vibro-percussion. Les indicateurs sédimentologiques étudiés portent sur les stratigraphies sédimentaires permettant de décrire les événements hydrodynamiques et sur l'analyse granulométrique des dépôts. Cette dernière est utile pour qualifier l'intensité des dynamiques, des phénomènes et comparer les dépôts à l'échelle du delta du Rhône.

### LE CHENAL DU RHÔNE DANS LA TRAVERSÉE D'ARLES ET LE CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE

Le chenal actuel du Rhône dans la traversée d'Arles est relativement rectiligne et étroit (fig. 32). Après la diffluence du Petit Rhône, il prend une direction vers le sud-est, puis tourne subitement vers le sud-ouest. Entre les deux quais construits dans la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> s., la largeur est d'environ 150 m. À l'aval, le Rhône forme à nouveau un grand méandre et s'élargit pour reprendre ses dimensions initiales d'environ 500 à 600 m.

Cette morphologie, très fortement induite par les aménagements des quais depuis le XIX<sup>e</sup> s., semble cependant plus ou moins acquise dans ses grandes lignes à partir du changement d'ère.

La présence des très nombreux vestiges contraint à peu de chose près le fleuve dans sa largeur actuelle : en rive droite, le pont de bateau et « son point d'atterrissement », au moins pour le IV<sup>e</sup> s. ap. J.-C. (Bizot *et al.* 2009), la présence des très nombreux vestiges dans le quartier de Trinquetaille (Heijmans 2009) jusqu'au niveau de l'ancienne Gare Maritime (Mellinand, Sivan 2011), et en rive gauche, la limite de la ville antique, les vestiges de quai ainsi que les découvertes récentes lors de la fouille Jean-Baptiste Massillon (Isoardi 2010) dessinent un chenal à très faible mobilité après le début de notre ère. La mobilité du chenal, de quelques centaines de mètres en rive droite, serait tardive : VI<sup>e</sup> s. ap. J.-C. (Allinne 2007). Cette situation contraste avec la grande mobilité des chenaux en aval dans

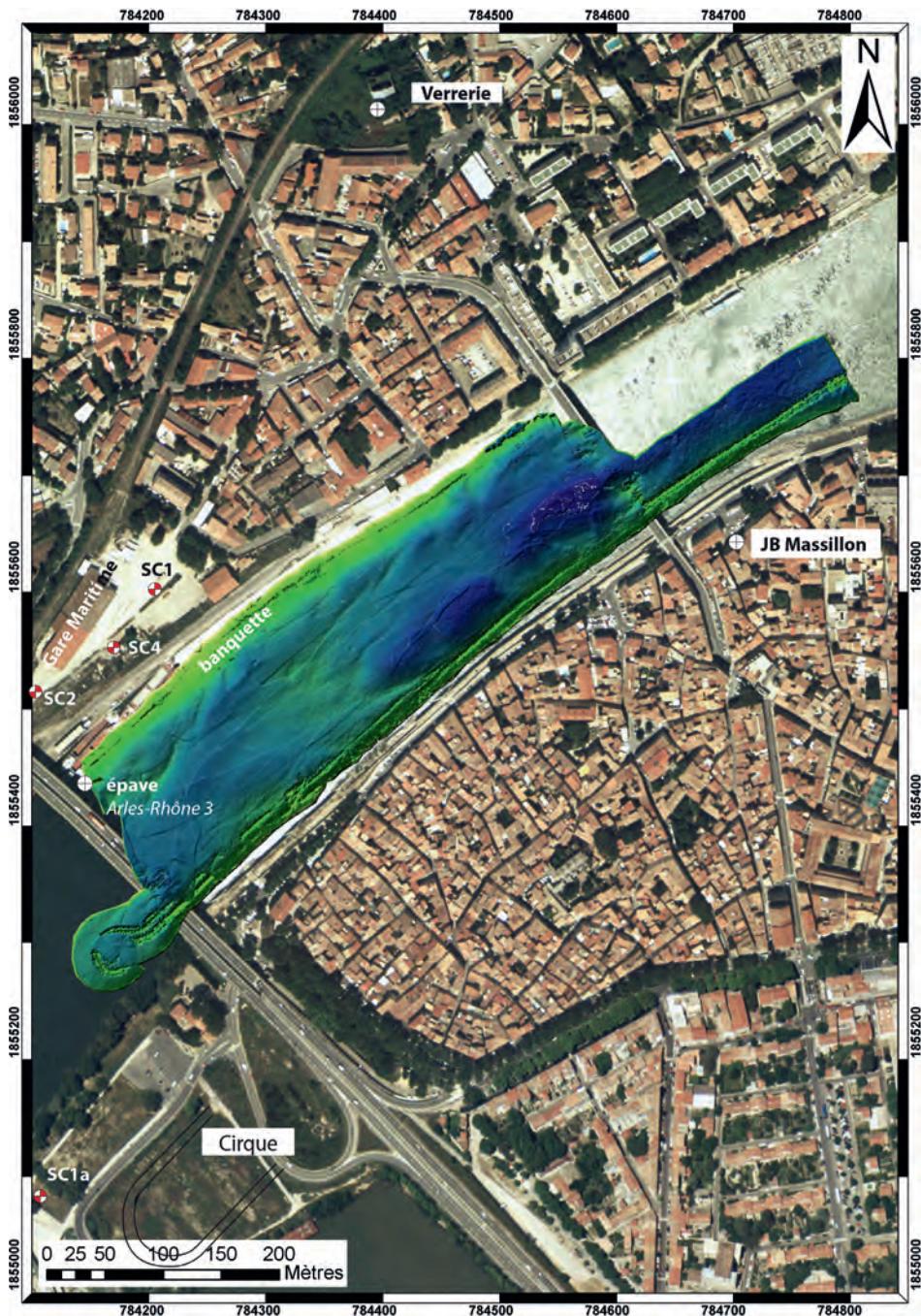


Fig. 32: Localisation des sites étudiés dans la traversée d'Arles et image sonar entre le pont de Trinquette et de la nationale N113 (source: orthophotographie 2002 CRIGE PACA; Dusouillez, Vella)

la plaine deltaïque (Vella *et al.* 2005). Des événements plus importants de mobilité semblent se reproduire au Petit Âge Glaciaire avec la création d'importantes crevasses en rive droite, au niveau de la Gare Maritime (Mellinand, Sivan 2011). Mais, globalement, le chenal dans la traversée d'Arles reste, du changement d'ère à nos jours, dans une position et des dimensions sensiblement égales à celles que l'on connaît.

La profondeur de ce chenal est plus difficile à imaginer, mais quelques éléments peuvent rendre compte de cette caractéristique morphologique. La profondeur de débouché, dans la berge sous-aquatique, de tuyaux antiques découverts par L. Long (communication personnelle) indique une profondeur maximale du chenal comprise entre 12 et 14 m selon les ouvrages. Quant à la période moderne, le texte de Remillat (1791) indique que vers 1789 les profondeurs maximales sont supérieures à la dizaine de mètres. Dans la traversée d'Arles, le Rhône aurait une profondeur d'environ 35 à 40 pieds, soit environ 13 m, et 73 toises et 3 pieds de large, soit environ 140 m. Ces observations, lacunaires il est vrai, indiquent des dimensions de chenal proches de celles que l'on observe aujourd'hui. Il serait abusif de considérer pour autant une stabilité du chenal entre la période antique et la période moderne. Quant à la profondeur maximale actuelle, elle est d'environ 15 à 16 m.

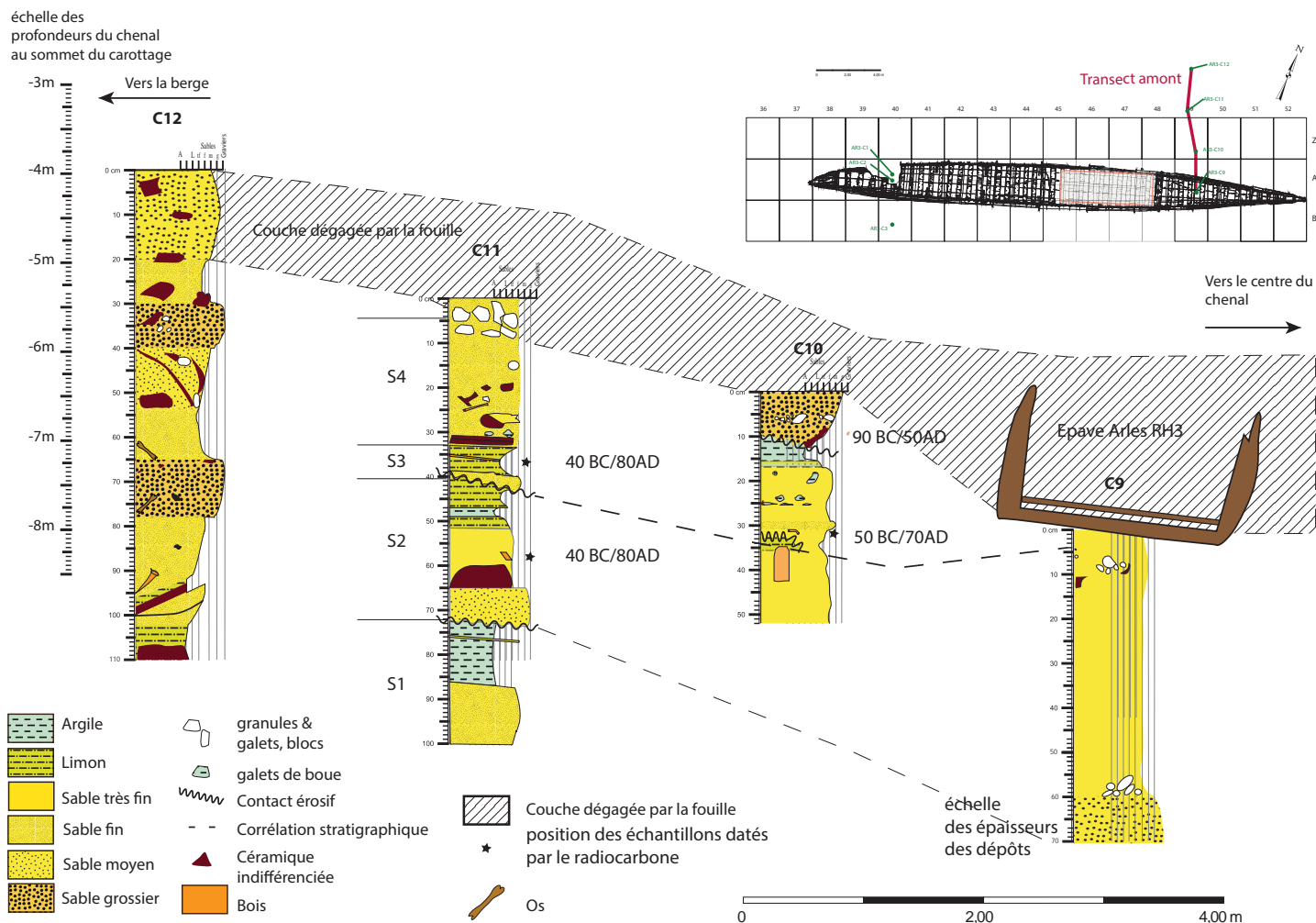
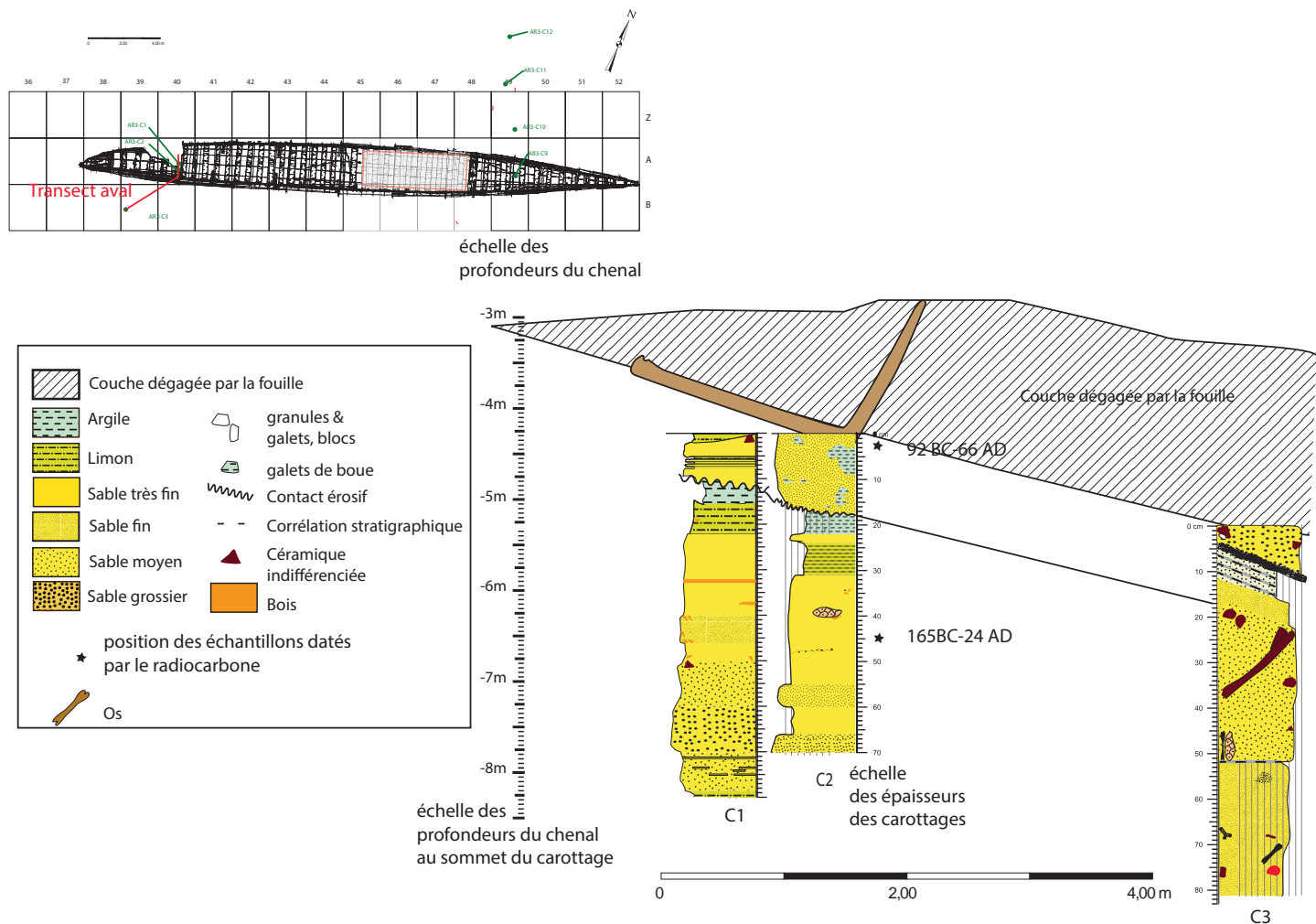


Fig. 33: Transect carotté de la partie amont de l'épave Arles-Rhône 3.

Cette différence indique une incision d'environ 3 m tout à fait cohérente avec les observations effectuées sur le Rhône aval (Antonelli 2002 ; Raccasi 2008).

L'image sonar réalisée dans le cadre de la campagne océanographique Roustan 2 permet de mettre en évidence une morphologie sous-fluviale contrastée (fig. 32). La rive droite du Rhône montre, entre le pont de Trinquetaille et celui de la nationale N113, une zone de moindre profondeur (entre 3 et 6 m) relativement régulière légèrement en pente vers le chenal et formant une sorte de banquette d'environ 25 m de large. La bordure, côté chenal sous-fluvial, est parfois légèrement incisée (fig. 32). L. Long décrit nettement ces incisions sous la forme de falaises sous-aquatiques livrant de nombreux objets archéologiques (Long, Picard (dir.) 2009). Ce haut-fond s'élargit d'une centaine de mètres avant le pont de la N113 pour former une sorte de banc sous-aquatique large d'environ 50 m. Les reconnaissances effectuées en plongée montrent un fond relativement régulier couvert de blocs de stabilisation de berges, probablement modernes, plus ou moins bien répartis, formant un pavage anthropique et ayant protégé une partie des vestiges. L'épave Arles-Rhône 3 est située sur cette banquette sous-aquatique, quelques mètres en amont du pont de la N113.

La stratigraphie holocène de la plaine alluviale dans la traversée d'Arles est reconnue uniquement par des données géotechniques (fig. 32 et 37). Les cailloutis pléistocènes constituent le substratum des dépôts post-glaciaires dominés par les limons et argiles de plaine d'inondation. Les chenaux fossiles sablo-graveleux indiquent une mobilité alluviale antérieure à l'Antiquité. Des remblais antiques et modernes, impossibles à distinguer entre eux, constituent des masses de blocs et de débris, pour certains peut-être en place (Vella, Hermitte, Parisot 2009 ; <http://infoterre.brgm.fr/>, Banque du Sous-sol, BRGM).



## LES STRATIGRAPHIES SÉDIMENTAIRES AUTOUR ET SOUS L'ÉPAVE

Parmi les nombreux carottages effectués (pl. I), seuls sept (C1, C2, C3, C9, C10, C11, C12) ont été sélectionnés pour des questions de temps et de moyens. La sélection des carottages étudiés est basée sur la longueur des carottes et la possibilité de former deux transects stratigraphiques perpendiculaires à l'épave afin de mettre en évidence la sédimentation sous-jacente et les environnements de dépôts situés entre la berge et l'épave à l'amont et l'épave et le chenal à l'aval (fig. 33 et 34).

Le transect carotté de la partie amont de l'épave (fig. 33) montre des variations latérales de faciès importantes. Les carottages C11 et C10 présentent une stratigraphie complexe formée de plusieurs séquences sédimentaires séparées par des surfaces d'érosion très nettes, une séquence étant formée au cours d'un évènement plus ou moins long de crue ou de fort débit. La séquence type sera marquée par une surface de ravinement liée au pic de vitesse de l'évènement qui entraîne les particules et favorise surtout l'érosion. Quand la décrue s'amorce, les vitesses diminuent peu à peu, alors se dépose une séquence sédimentaire dite à granoclassement normal. Elle est composée d'abord des grains de sables les plus grossiers, souvent mêlés de galets de boue liés à l'érosion des dépôts précédents, et tend vers le dépôt des grains d'argiles les plus fins. La carotte C11 montre quatre séquences sédimentaires; deux dates  $^{14}\text{C}$  réalisées dans les séquences S2 et S3 indiquent un âge de 40 av. J.-C. et 80 ap. J.-C. La dernière séquence est formée par une séquence incomplète non matérialisée à la base par une surface de ravinement mais par la présence de galets de boue. Elle se termine par un lit de cailloux anguleux provenant très probablement d'apports récents depuis la berge.

La corrélation stratigraphique de ces quatre séquences aux carottages C10 situé à 2 m environ en direction du chenal est difficile; elle s'appuie pour partie sur les datations  $^{14}\text{C}$ , la position topographique de la carotte et le découpage en séquences sédimentaires. Cependant les dates  $^{14}\text{C}$  de la carotte C10 montrent une inversion chronologique liée très probablement aux mécanismes d'érosion/dépôt très fréquents dans le chenal actif.

Fig. 34: Transect carotté de la partie aval de l'épave Arles-Rhône 3.

Code laboratoire	Code échantillon	Type d'analyse	Nature échantillon	d C <sup>13</sup>	Âge radiocarbone	Âge calibré	Âge cal BP
Beta 348670	C10 32	AMS	bois	-26,0	1990 +/- 30 BP	50 av. J.-C. à 70 ap. J.-C.	Cal BP 2000 to 1880
Beta 348669	C10 9-10	AMS	bois	-26,3	2020 +/- 30 BP	90 av. J.-C. à 50 ap. J.-C.	Cal BP 1920 to 1900
Beta 348668	C4 47-48	AMS	bois	-26,2	1970 +/- 30 BP	40 av. J.-C. à 80 ap. J.-C.	Cal BP 1990 to 1870
Beta 348667	C11 57-59	AMS	bois	-26,4	1970 +/- 30 BP	40 av. J.-C. à 80 ap. J.-C.	Cal BP 1990 to 1870
Beta 348666	C11 37	AMS	bois	-23,5	1980 +/- 30 BP	40 av. J.-C. à 80 ap. J.-C.	Cal BP 1990 to 1870
Poz	C2 01	AMS	bois	-	2010 +/- 30 BP	91 av. J.-C. à 66 ap. J.-C.	Cal BP 1884 to 2040
Poz	C2 45	AMS	bois	-	2045 +/- 30 BP	164 av. J.-C. à 23 ap. J.-C.	Cal BP 1927 to 2113
Beta 302140	sc1a 1629	AMS	bois	-26,3	6260 +/- 40 BP	5320 av. J.-C. à 5090 av. J.-C.	Cal BP 7260 to 7050
Beta 302139	sc1a 1543	AMS	tourbe	-27	3760 +/- 40 BP	2290 av. J.-C. à 2040 av. J.-C.	Cal BP 4240 to 3990
Beta 302138	sc1a 1369	AMS	tourbe	-26,3	6100 +/- 40 BP	5200 av. J.-C. à 4930 av. J.-C.	Cal BP 7150 to 6880

**Fig. 35:** Tableau des dates radiocarbone et calibrations (P.J. Reimer et al. 2009, Radiocarbon 51, p. 1111-1150).

La carotte C9, située sous l'épave *Arlès-Rhône 3*, montre une seule séquence sédimentaire de 70 cm environ formée d'une couche de sables grossiers à la base puis d'une couche de 60 cm de sables fins. Les tessons y sont rares, excepté au sommet du dépôt.

Enfin la carotte C12 présente une stratigraphie tout à fait différente, formée de plusieurs couches plutôt sableuses. Elle semble très perturbée par des apports anthropiques très nombreux tout au long du dépôt. Le découpage en séquence est quasi impossible compte tenu de l'absence de surface de ravinement mais l'observation de la variation de la granularité pourrait indiquer cinq pseudo-séquences de la base au sommet. Ce dépôt est interprété comme appartenant au dépotoir sous-aquatique à proximité de la berge, dans lequel objets et dépôts fluviaux s'inter-stratifient.

La banquette de rive droite dans la partie amont de l'épave est formée par le dépotoir puis dessine un replat où la préservation de séquences sédimentaire indiquerait la proximité de la berge dans un environnement moins dynamique alors que sous l'épave le chenal se révèle déjà plus actif.

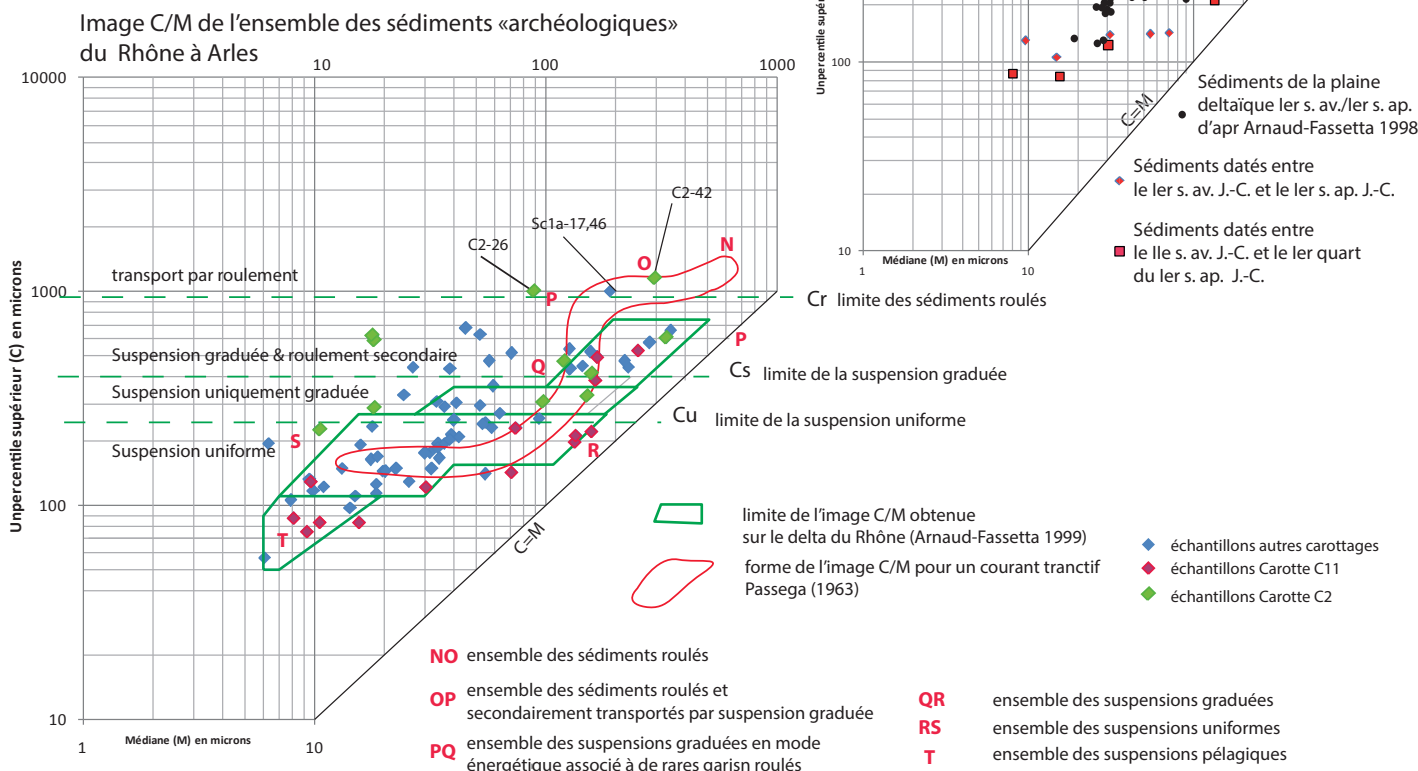
Le transect carotté de la partie aval (fig. 34) présente une moins grande variabilité latérale de faciès et deux séquences sédimentaires corrélables aux séquences sédimentaires identifiées vers le chenal (carotte C3). Comme pour le transect amont, les sédiments sableux dominant et confirment la situation de l'épave dans une zone relativement dynamique. La chronologie radiocarbone est cohérente avec la chronologie du transect précédent. Le naufrage survient après la mise en place de séquences sédimentaires datées entre 92 av. J.-C. et 66 ap. J.-C. durant un épisode de crue débutant par une surface de ravinement et des dépôts sableux contenant galets de boue et des sables grossiers. En croisant les données chronologiques issues des résultats archéologiques (*infra*, p. 239), dendrochronologiques et <sup>14</sup>C (intervalle 2 sigma) des stratigraphies, et si l'on retient la limite radiocarbone supérieure des dépôts sous-jacents, cet épisode survient entre 50 et le début des années 70 ap. J.-C. (Vella 2011) (fig. 35).

## LES DONNÉES GRANULOMÉTRIQUES ET LEUR TRAITEMENT

Un échantillonnage systématique des carottages et sondages sur les levées de berge de rive droite et gauche et dans le chenal a permis de sélectionner un certain nombre d'échantillons représentatifs des différents milieux de sédimentation en vue d'un traitement granulométrique. Les échantillons ont été prélevés suivant l'organisation stratigraphique et dans certains cas à pas régulier de 5 cm dans les niveaux très homogènes.

La comparaison des paramètres granulométriques à d'autres études antérieures menées sur le delta du Rhône doit être modérée par le fait que les protocoles de traitement diffèrent et les différents appareils utilisés induisent des biais de mesure. Le protocole utilisé dans cette étude est détaillé dans Tomatis (2012).

Les granulométries étudiées sont issues des carottages C11, C2 et C3 autour et sous l'épave *Arlès-Rhône 3*, et du carottage SC1a situé en rive gauche sur l'extension du musée de l'Arles antique. Un total de 83 échantillons a été analysé.



De l'analyse granulométrique ne sont extraits que deux paramètres : le premier percentile le plus grossier et la médiane afin de réaliser une image C/M selon la méthode établie par Passega (1957) largement reprise sur le Rhône par Bravard (1983), Bravard, Amoros et Jacquet (1986) puis de nombreux autres auteurs (Peiry 1994 ; Arnaud-Fassetta 1998 ; Salvador *et al.* 2005).

Les nombreux échantillons étudiés sur la plaine deltaïque actuelle et fossile (Arnaud-Fassetta 1998) permettent une comparaison avec les analyses réalisées à Arles.

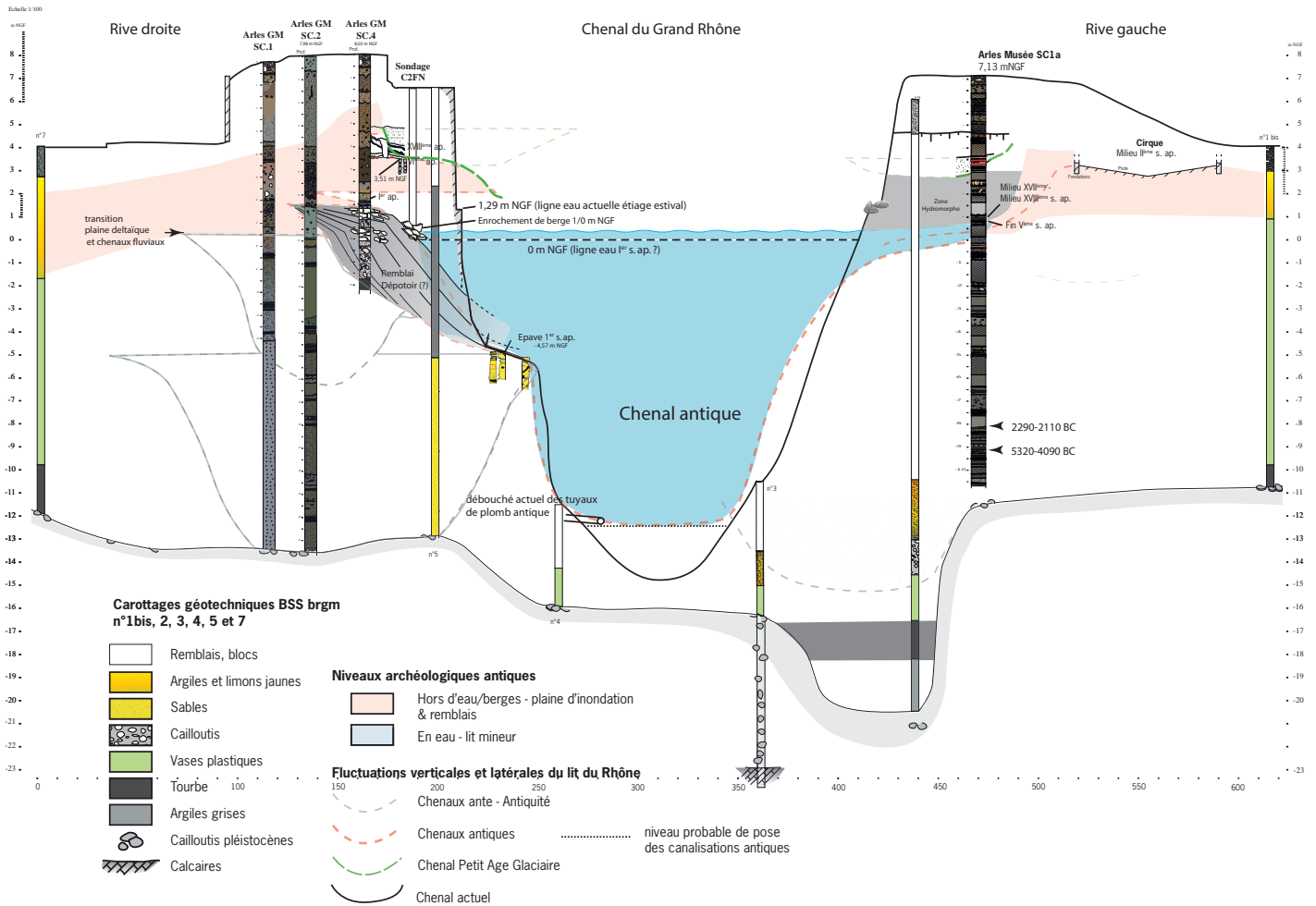
L'image C/M ainsi obtenue présente quatre segments, délimités par les paramètres Cu, Cs et Cr, représentatifs de trois modes de transport, correspondant respectivement à la limite supérieure du transport, en suspension uniforme, en suspension graduée, et à la limite inférieure du transport par roulement, et présente aussi quatre milieux de sédimentation (fig. 36). Plus les échantillons sont éloignés de la droite C/M, moins les échantillons sont triés par le fleuve. Les sédiments s'écartant de la droite C/M sont interprétés dans le cadre de cette étude comme des dépôts fortement influencés par des apports latéraux anthropiques liés aux activités sur les berges, donc moins soumis au tri hydrodynamique.

L'image C/M obtenue à Arles correspond globalement à des sédiments appartenant à des milieux de sédimentation peu dynamiques. La plupart des échantillons sont en dessous de la valeur Cs (limite supérieure de la suspension graduée). Les sédiments sont donc transportés dans la colonne d'eau et viennent se déposer sur des rives immergées probablement protégées par des irrégularités de berge ou des ouvrages permettant la décantation par chute lente dans la colonne d'eau.

On note cependant la présence de quelques échantillons appartenant au mode de transport mixte roulement et suspension graduée (segment PQ) et de trois prélèvements uniquement liés au roulement (deux échantillons, à 26 et 42 cm sous le sommet de la carotte C2 et un échantillon prélevé à 17,46 m dans la carotte SC1a). Ces échantillons sont représentatifs d'un transport dans des chenaux actifs. Pour le carottage SC1a, il s'agit effectivement des niveaux stratigraphiquement les plus grossiers qui correspondent probablement à un remplissage de chenal ; en revanche, pour la carotte C2, il pourrait s'agir d'un enri-

**Fig. 36 :** Image C/M des sédiments *1<sup>er</sup> s. av./1<sup>er</sup> s. ap. J.-C.* du Rhône à Arles.





**Fig. 37 :** Transect synthétique transverse au Rhône de la rive droite à la rive gauche et passant par l'épave Arles-Rhône 3 (d'après Mellinand, Sivan 2011, modifié par C. Vella, CEREGE).

chissement en éléments grossiers depuis la berge et/ou d'un agglomérat de grain par de la chaux.

Pour toutes les carottes se situant dans le chenal, on notera la hausse de la granularité au sommet indiquant une hausse des dynamiques soit avant l'échouement de l'épave (carottes C2, C11), soit avant leur recouvrement par les dépôts sus-jacents (dépotoir, remblai,...).

Une image C/M des dépôts datant de la période 1<sup>er</sup> s. av./1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. (fig. 36) a été réalisée sur quatre des carottages (C2, C3, C11, SC1a) convenablement datés et permettant un début d'individualisation des dépôts entre le 1<sup>er</sup> s. av. et le premier quart du 1<sup>er</sup> s. ap. et entre le 1<sup>er</sup> s. av. et le milieu du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. Le lot de sédiment le plus ancien semble affecté par des tailles granulométriques plus importantes que le second lot, comme si l'hydraulicité entre le 1<sup>er</sup> s. av. et le premier quart du 1<sup>er</sup> s. ap. présentait un caractère plus dynamique.

## RECONSTITUTION DU PALÉOCHENAL DU RHÔNE DANS L'ANTIQUITÉ

L'épave Arles-Rhône 3 a été replacée dans le contexte géomorphologique et archéologique du chenal entre les deux rives du fleuve. Les structures sont projetées sur un transect fictif centré sur l'épave Arles-Rhône 3 et limité aux deux berges actuelles (fig. 37). Rive gauche, les sondages SC1, SC2, SC4 (diagnostic Gare Maritime), un carottage d'essai réalisé par le C2FN entre la route longeant le quai Napoléon et la Gare Maritime, et le sondage Zone 2 du diagnostic archéologique de la Gare Maritime permettent de reconstituer la stratigraphie de la berge composée de trois complexes sédimentaires principaux, recoupé par un quatrième ensemble sableux de chenaux de débordements à proximité du chenal actuel (fig. 37). En rive gauche, le sondage de l'extension du musée de l'Arles Antique (SC1a) rend compte d'une organisation stratigraphique sensiblement identique.

Le transect ainsi reconstitué pour le 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. montre clairement en rive droite une plaine d'inondation caractérisée par des dépôts laminés, des traces d'oxydation et des pseudo-sols caractéristiques des dépôts de berges mais où les remblais et les dépôts limoneux massifs très oxydés dominent. Ces dépôts contiennent de nombreux fragments de céramiques, récupérés dans le carottage, et indiquent un âge compris entre le début du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. et le début du 1<sup>er</sup> ap. J.-C. Les traces d'occupation sont formées par d'épaisses couches de remblais, mur ou brasier de construction, blocs qui ont été traversés par le carottage (Mellinand, Sivan 2011). Cette plaine se situe entre -1 m NGF et +1 m NGF et les trois carottages (SC1, SC4 et SC6) rendent compte de dépôts sédimentologiquement très proches de berges ou plaine d'inondation reposant sur des dépôts antérieurs plus proches pour ces derniers de chenaux fluviaux.

Le sondage d'essai du C2FN est très mal préservé mais à la base, entre 1 et 0 m NGF, le carottage a buté sur un bloc dont 40 cm ont été prélevés d'un seul tenant sans être totalement traversé; assez épais, il est interprété comme appartenant à un ouvrage (enrochement ?) repéré par géophysique (Vella, Hermitte, Parisot 2009). La position altimétrique de cet ouvrage correspond exactement à la transition entre plaine deltaïque occupée des carottages SC1 et SC2 et chenaux alluviaux de rive droite. Les sondages de la zone 2 du diagnostic archéologique de la Gare Maritime montrent que plusieurs structures datées du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. sont situées à 1,80 m NGF et correspondent à des fosses, et leur remplissage de blocs lithologiquement variés (schistes, serpentines, grès) en réemploi probable et portant des traces de lithophages (Mellinand, Sivan 2011), mais aussi de *Serpulidae* (obs. personnelles). La limite inférieure de ces structures n'a pas pu être atteinte. En rive gauche, les dépôts situés entre -0,90 m NGF et +1 m NGF correspondent eux aussi à un changement de faciès. Aux argiles et sables moyens de la base du carottage succèdent les dépôts à domination sableuse et oxydé interprétés ici aussi comme une plaine d'inondation. Les dépôts à 7,95 m de profondeur (environ -0,80 m NGF) sont datés entre 94 BC et 62 AD. En s'éloignant vers l'est, le cirque du milieu du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. situé au-dessous de +3 m NGF donne la limite supérieure des berges pour les périodes antérieures si l'on admet aucun creusement entre son édification et la mise en place des berges du 1<sup>er</sup> s. Enfin, l'épave *Arles-Rhône 3*, située à environ -4 m NGF et les tuyaux de plomb découverts vers 14 m de profondeur (Long, comm. personnelle), permettent de proposer une reconstitution du profil du chenal. L'épave repose alors sur une « banquette » ou berge sous-aquatique à environ -4 m NGF alors que le chenal est creusé à environ -11 ou -12 m NGF. L'épave est située latéralement à environ 35 m des blocs supposés former un enrochement de berge. L'épave serait ainsi considérablement écartée de la ligne de rivage. Il faut cependant modérer cette hypothèse par le fait que cet enrochement n'est ni daté ni reconnu dans son extension vers le fleuve. Le dépotoir, dont l'extension est nettement perceptible au niveau de la carotte C12, pourrait être la partie sous-aquatique d'une berge toute proche située à environ une dizaine de mètres de l'épave. Ces divers éléments permettent aussi de proposer une position approximative de la ligne d'eau en période de basse eau pour le début de notre ère. À Arles, si l'on s'en tient à la position de la plaine identifiée dans les sondages et l'existence de cet enrochement de rive droite, la ligne d'eau serait située à environ 0 m NGF. Cette position est à 1 m au-dessous de la ligne d'eau actuelle qui, en été, se situe approximativement à un peu plus de +1 m NGF. Ces valeurs sont tout à fait compatibles avec un niveau marin identifié sur la marge est du delta du Rhône pour cette période autour de -0.75 cm NGF (Vella, Provansal 2000). Dans ce cas, la profondeur d'eau au niveau de C12 serait d'à peine 2 m et d'environ 4 m au niveau de la partie avant de l'épave.

## DISCUSSION

La comparaison des images C/M acquises sur le delta du Rhône au Carrelet et sur le site de Cabassole (Arnaud-Fassetta 1998) avec les échantillons prélevés dans le Rhône dans la traversée d'Arles pour l'Antiquité romaine montrent des caractéristiques nettement plus grossières pour ces derniers (fig. 36). Les sédiments d'Arles entre 165 av. J.-C. et 66 ap. J.-C. sont parmi les plus grossiers de l'ensemble des dépôts prélevés. Ces caractéristiques granulométriques pourraient indiquer une hausse des dynamiques hydrosédimentaires. Cette hausse de l'hydraulité a été interprétée comme une « crise » hydrologique observée sur la plaine deltaïque (Arnaud-Fassetta 1998, 2002) et à Arles (Arcelin *et al.* 1999) mais son origine climatique est discutable. En effet, les corrélations effectuées précédemment entre cet épisode et d'autres événements qui concernent toute l'Europe sont légèrement plus tardifs (Ollive *et al.* 2006; Leveau 2007; Salvador *et al.* 2004, 2005). On constate en revanche à l'échelle régionale une déconnexion entre l'activité du Rhône et celle des petits bassins versants du Languedoc (Devillers, Provansal 2003), de Provence (Bruneton 1999) et plus globalement de l'activité fluviale dans les Alpes du Sud (Magny,

Miramont, Sivan 2002). Cette « crise » serait d'autant moins climatique qu'elle est contemporaine de bas niveaux de lacs dans le Jura et des reculs glaciaires dans le nord des Alpes (Magny, Miramont, Sivan 2002).

L'hypothèse d'un forçage anthropique sur l'hydraulité, compte-tenu de sa relative modestie en temps et en intensité, est d'autant plus renforcée par ces déconnexions (Bruneton *et al.* 2001) entre plus fort régime du fleuve et faible activité alluviale dans les petits bassins versants, notamment dans les Alpilles proches (Bruneton 1999) et en Languedoc (Devillers, Provansal 2003). Dans les Alpes, les phénomènes décrits par Philippe Leveau (2007) en Haute-Tarentaise sont contemporains de la deuxième partie du I<sup>er</sup> s. ap. J.-C., ou de la période II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> s. ap. J.-C. pour ceux affectant le Haut-Rhône (Salvador *et al.* 2004, 2005).

Pourtant le Rhône semble bien être entre Lyon et la mer soumis à un régime hydrologique à la hausse autour du changement d'ère. À Lyon, entre le I<sup>er</sup> s. av. J.-C. et le II<sup>e</sup> s. ap. J.-C., cinq grandes crues ont été enregistrées (Salvador *et al.* 2002; Berger *et al.* 2009; Bravard, Provansal (dir.) 2011), et le site antique de Saint-Romain-en-Gal est exhaussé par un remblai de 3 m pour se protéger des crues (Le Bot-Helly, Helly 1999). Ce remblaiement, intervenant entre 50 et 70 ap. J.-C. (Savay-Guerraz, Prisset 1992; Le Bot-Helly, Helly 1999), pourrait tout à fait être contemporain du remblaiement observé lors du diagnostic de la Gare Maritime.

La forte hydraulité du Rhône aval au changement d'ère semble brève et somme toute modérée. La présence de nombreuses épaves, dont certaines tardives, alignées sur la bordure actuelle du quai, ainsi que les nombreux vestiges qui enregistrent l'élévation verticale de la berge, démontrent toutefois la stabilité latérale des limites de berge. La fouille d'une cave place Jean-Baptiste Massillon (Isoardi 2010), en rive gauche du Rhône, a permis d'accéder à des enregistrements sédimentaires montrant l'existence de quatre crues contribuant à un colmatage d'environ 2 m entre le I<sup>er</sup> s. et le II-III<sup>e</sup> s. ap. J.-C. La moitié du colmatage est formée de dépôts de crues, le reste étant des couches dépotoirs. Quatre crues importantes ne constituent pas un rythme anormal d'évènements en un ou deux siècles, bien au contraire. En rive droite le récent diagnostic de la Verrerie montre, entre le I<sup>er</sup> s. av. et le II-III<sup>e</sup> s. ap. J.-C., l'existence d'un épais dépôt sablo-limoneux intercalé entre deux niveaux de villas. Ce dépôt massif est interprété pour l'instant comme un dépôt de crue unique sur la berge externe du fleuve (Vella 2013). Donc, l'augmentation de l'hydraulité dans le chenal au changement d'ère se traduit hors du chenal par l'existence de dépôts de débordements sur les berges tant en rive droite, que gauche. La contraction du chenal à partir de remblaiements observés à Arles a pu jouer un rôle important dans la modification de l'écoulement, au moins localement. Enfin, cette activité est corrélée avec la seconde avancée du delta sur la mer par ordre d'importance durant le deuxième âge du Fer (Vella *et al.* 2008).

## CONCLUSION

Le chenal du Rhône perdure depuis l'Antiquité dans sa position au niveau de la traversée d'Arles alors que quelques kilomètres en aval, sur sa plaine deltaïque, il va connaître pour la période antique de nombreuses avulsions. L'étude géomorphologique menée à partir des carottages réalisés sous et autour de l'épave *Arles-Rhône 3* permettent par ailleurs de caractériser un évènement hydrologique important précédant immédiatement le naufrage du chaland, cet évènement semble s'inscrire dans une période hydrologiquement agitée reconnue par ailleurs sur le delta du Rhône et sur le Rhône aval en général. L'origine anthropique de ce phénomène est probable en regard de l'importante contraction du chenal en rive droite et gauche suite aux aménagements du chenal postérieurs au I<sup>er</sup> s. ap. J.-C.

Quant à l'environnement immédiat de naufrage du chaland, la position de la berge ne peut pas être exactement précisée. Celle-ci se situe très probablement sous le quai actuel, ou légèrement plus à l'ouest si les enrochements reconnus par la résistivité électrique et les carottages sont contemporains de l'épave. Les apports sédimentaires depuis les berges proches semblent cependant nombreux et discriminés par l'image C/M. La variabilité importante longitudinale des stratigraphies reconnues dans les carottages pourrait indiquer des perturbations dans les écoulements hydrauliques en lien avec des irrégularités de berges naturelles ou anthropiques liées à la présence du dépotoir ou d'ouvrages sur les berges. La berge serait donc très proche du lieu du naufrage<sup>11</sup>.

11. Les auteurs remercient L. Long pour les nombreuses informations non publiées fournies pour l'écriture de cet article, ainsi que J. Le Doaré, S. Garcia, R. Cagna et Arnaud du navire *Haliotis* (GENAVIR) pour leur aide lors de la campagne *Roustan 2*. Enfin, nous tenons à remercier S. Marlier pour son travail de relecture et sa contribution à l'amélioration du texte



# CHAPITRE 4. ENFOUISSEMENT DE L'ÉPAVE ET ACTIONS DE L'HOMME : DYNAMISME ET ÉTAT DE CONSERVATION DES VESTIGES

Sabrina MARLIER, Sandra GRECK, Henri BERNARD-MAUGIRON, Philippe DE VIVIÉS

**Fig. 38 :** Arrière du tronçon T3 montrant une érosion différentielle très marquée entre le côté bâbord et le côté tribord (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



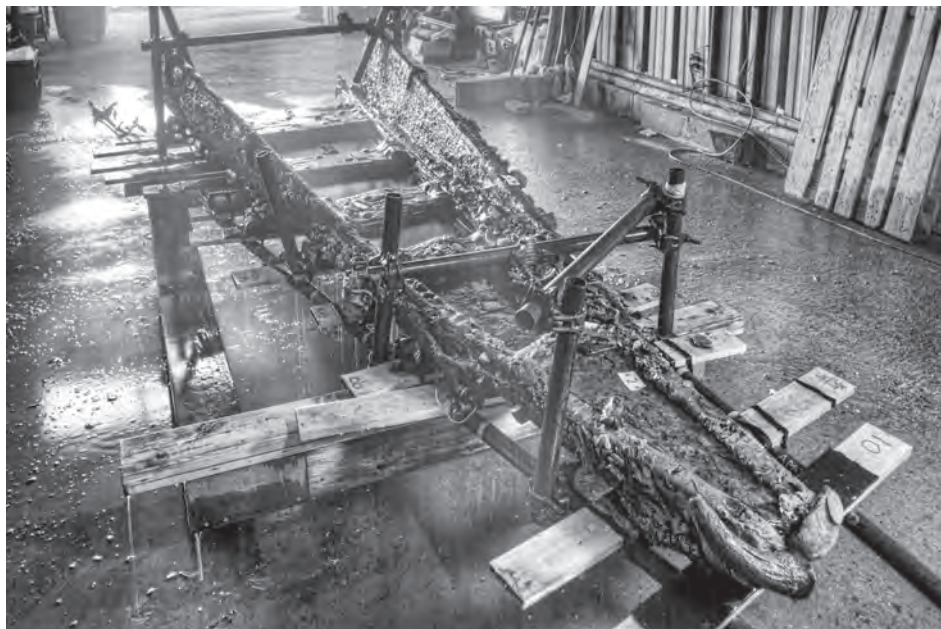
## DYNAMISME D'ENFOUISSEMENT DE L'ÉPAVE ET DÉFORMATIONS

Lors de son naufrage, le chaland *Arles-Rhône 3* s'est posé sur la pente naturelle du fleuve, la proue plongeant vers le lit. Après un certain temps, les cordages qui renaient la pelle de gouverne attachée au bateau, sur l'arrière, se sont probablement dégradés et le courant l'aura emportée pour la déposer plus loin, en aval<sup>1</sup> (*infra*, p. 213). Moins de 2000 ans plus tard, la poupe gisait par 4 m de profondeur et la proue par 9 m avec une gîte, de bâbord (côté berge) vers tribord (côté lit du fleuve), de 35° (fig. 3).

Le recouvrement de l'épave par les sédiments du fleuve a sans doute été moins rapide à bâbord qu'à tribord et à l'arrière qu'à l'avant, comme en témoigne l'érosion plus prononcée des bois, et notamment du haut des flancs, sur bâbord arrière, sans doute plus longtemps exposé au courant après le naufrage que le côté tribord (fig. 38). L'état de conservation exceptionnel du tiers avant et des trois quarts de la partie tribord du chaland permet en effet de supposer que ces parties ont bénéficié d'un enfouissement rapide et pérenne. À l'inverse, le bois érodé et la corrosion des éléments métalliques de la partie bâbord et arrière témoignent d'un recouvrement partiel.

Il est en effet très clairement apparu que le degré de corrosion des clous différait selon le côté du bateau. Sans que cela soit une règle générale, il a été observé qu'une majorité de clous présents sur tribord présentait un meilleur état de conservation que les clous situés sur bâbord. En termes de corrosion, l'hypothèse qui peut être proposée est que les clous présents à tribord ont été très rapidement enfouis dans le sédiment, en conditions anaérobies, sans oxygène et donc sans oxydation : ils présentent ainsi parfois une surface d'origine

1. La pelle de gouverne ne s'est probablement pas détachée au moment du naufrage du bateau car elle aurait alors flotté et aurait disparu, emportée en surface par le courant.



**Fig. 39 :** *Vue de la proue (tronçon T10) avec les amalgames de concrétions de céramiques et de cailloutis, plus importants du côté bâbord (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).*

encore métallique. Ce phénomène est suffisamment rare pour des objets ferreux enfouis durant 2000 ans en milieu subaquatique pour le souligner.

Les clous situés sur bâbord présentent quant à eux une corrosion importante, qui peut être expliquée par un processus que l'on peut décomposer en deux phases :

– Lors d'une première phase, et à la différence des clous sur tribord enfouis très vite et privés d'oxygène, les clous sur bâbord ont été exposés à l'eau et au courant dans des conditions d'oxydation et donc de corrosion du métal.

– Une deuxième phase a conduit au recouvrement de la partie bâbord par les sédiments. Les clous se sont donc retrouvés dans une zone anaérobie sans oxygène. À la différence des clous situés sur tribord directement enfouis et non corrodés, les clous localisés à bâbord, ayant été préalablement corrodés, ont alors offert un terrain propice aux bactéries sulfato-réductrices présentes dans ce sédiment qui ont pu se développer et conduire à une corrosion bactérienne entraînant la minéralisation des clous en même temps que la diffusion des sulfures dans le bois.

Il faut également noter que les ferrures métalliques longitudinales de renfort des deux bordages de flanc en demi-tronc de la proue du bateau (F15 et F16) sont inégalement concrétionnées (amalgames de concrétions céramiques et caillouteuses) (fig. 39). Elles sont plus importantes du côté bâbord, toujours en raison d'un enfouissement de l'épave plus rapide à tribord qu'à bâbord et d'une corrosion préférentielle sur ce côté.

Concernant les déformations de l'épave, on a pu observer, qu'en relation avec la position de l'épave prenant appui sur la pente naturelle du fleuve, que le flanc bâbord de l'épave, qui présente un angle presque droit, s'est légèrement refermé en raison du poids des sédiments qui venaient s'appuyer sur ce flanc. À l'inverse, le flanc tribord s'est, lui, légèrement ouvert après le naufrage du bateau, sans doute sous le poids des pierres de chargement (fig. 38 et pl. I). La fermeture du flanc bâbord et la légère ouverture du flanc tribord ont par ailleurs provoqué un léger décalage du positionnement du banc d'étambrai vers tribord (fig. 103).

La torsion de la sole observée sur le relevé 3D au niveau de la proue s'explique également par la position de l'épave qui a entraîné un vrillage progressif et homogène de toutes les structures du chaland en contact avec le fond du fleuve.

## ÉTAT DE CONSERVATION DES VESTIGES ARCHITECTURAUX DANS L'EAU ET À LEUR SORTIE

Outre l'état d'érosion et les déformations des bois liés au positionnement et à l'enfouissement de l'épave sous les sédiments, on observe également un état de conservation différentiel des structures architecturales du chaland *Arles-Rhône 3* avec des dégradations



**Fig. 40 :** Vue, sur l'arrière de la membrure M97 et de la sole attenante, de traces de brûlure à mettre en relation avec les activités de cuisine à bord (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 41 :** Vue, de l'arrière vers l'avant, de l'intérieur du bordé de flanc en demi-tronc tribord du tronçon T9 avec les fissures et les perforations dues à une pourriture du bois (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

plus ou moins importantes. Celles-ci sont à mettre en relation soit avec les activités du chaland du temps de sa navigation, soit avec le naufrage du bateau et son dépôt au fond du fleuve, soit encore avec les actions de fouille et de relevage de l'épave.

En relation avec la période d'utilisation du chaland, des traces de carbonisation et d'érosion ont été enregistrées, de même que des fissures et des zones de pourriture dans le bois. Une déformation des renforts métalliques de la proue a aussi pu être mise en évidence.

Les activités de bord ont ainsi marqué la sole du bateau ainsi que la membrure M97, à la poupe, sur lesquelles des traces de carbonisation ont été enregistrées (fig. 40). Ces marques de feu sont liées aux activités de cuisine de l'équipage, à mettre en relation avec l'utilisation du fond de *dolium* qui servait de brasero à bord.

Sur l'autre extrémité, à la proue du chaland, une érosion prononcée de la face interne de la sole, associée à la présence de tâches noires, a été repérée. Il ne s'agit pas ici de traces de carbonisation mais plutôt de traces liées à des chocs dans le bois dans une zone non protégée par la présence d'un plancher de cale. L'érosion est quant à elle à mettre en relation avec une possible désagrégation de la couche superficielle du bois.

Le chargement de pierres que transportait le chaland au moment de son naufrage a également laissé de nombreuses empreintes dans le bois du caisson et des traces de poinçonnement marquent l'essentiel des planches (fig. 176 et 178). En relation avec le poids du chargement, une des vaigres centrales (Va39) a notamment été fracturée en de multiples fragments (fig. 176).

La sole, les bordés et le banc d'étambrai présentent également de nombreuses fissures qui ont fait l'objet de réparations lors de la période d'utilisation du bateau (*infra*, p. 150-155).

Enfin, sur pratiquement toute la longueur des bordés de flanc en demi-tronc, des vestiges de pourriture du bois (*infra*, p. 155-157), accompagnés de fissures profondes, ont entraîné par endroit l'arrachement de fragments de bois. Cette dégradation est également à l'origine de fissures longitudinales et de crevasses qui ont perforé la partie inférieure des bordés de flanc en demi-tronc par endroit et notamment de part et d'autre de la partie avant (fig. 41).

Concernant les éléments métalliques, on a pu aussi observer une déformation de la ferrure longitudinale sur le côté bâbord de la proue (fig. 42). Le flambement de ce renfort métallique n'a pas pu être occasionné lors de la fouille ou du prélèvement car l'ensemble des concrétions extrêmement cassantes qui l'amalgamait aurait disparu. Par ailleurs, dans la zone de flambement, il a été mis en évidence que deux clous successifs, assemblant le renfort sur le bordé, sont absents. L'espace dans cette zone entre bordé et renfort est rempli de concrétions qui ont pu se former au fil du temps dans cet espace vide. Par ailleurs, le renfort opposé situé sur tribord, sur lequel un choc important aurait pu occasionner la déformation sur bâbord, présente une corrosion très importante au droit du flambement, et nulle part ailleurs. Cela pourrait être expliqué par une corrosion occasionnée à la suite d'une fragilisation du métal par un choc. Cette déformation a donc eu lieu avant le naufrage ou soit très rapidement après.

Sur l'ensemble de l'épave, de nombreuses autres fissures et fractures ont également été documentées. Pour un certain nombre de ces dégradations, il est difficile d'en identifier clairement l'origine. Pour certaines d'entre elles, la cause peut en revanche être attribuée de façon formelle au naufrage et au dépôt du chaland au fond du fleuve ou aux actions de fouille et de relevage de l'épave.

Le naufrage du chaland et l'évolution du bateau en épave ont provoqué la formation de nombreuses fissures dans la sole ainsi que des zones d'affaissement accompagnées du décollement de l'extrémité de certaines membrures (fig. 43).

Sur l'ensemble de l'épave, pratiquement toutes les courbes présentent finalement des lignes de fractures au niveau de leur coude<sup>2</sup>, sans doute liées au choc du naufrage et qui ont, bien souvent, provoqué une rupture de la pièce en deux lors du relevage.

La succession des interventions archéologiques (2005-2011) ainsi que le relevage de l'épave en tronçons ont aussi provoqué de nombreuses fractures, voire des cassures importantes en certains endroits de l'épave. La plus remarquable concerne le prélèvement d'une section de l'épave effectué sur bâbord arrière lors de la première expertise en 2005. Ce prélèvement, de 1,40 m de longueur sur 60 cm de largeur, comportait plus de la moitié de la membrure M101 ainsi que les bordages de sole, le bouchain surmonté du tasseau et le bordé attenants (fig. 6, 7, 8 et pl. I) (*supra*, p. 25). Suite au prélèvement de cette section, une partie de la coque a été arrachée sur l'arrière, sans doute emportée par le courant. Au total, les parties disparues concernent l'extrémité des varangues M99 et M100, le retour vertical de la courbe C4 ainsi que tout le bordé de flanc en demi-tronc bâbord (F11), depuis la membrure M102 jusqu'à la poupe (fig. 44 et 45).

Les opérations archéologiques, avec les phases successives d'ouverture et de fermeture de la zone arrière de l'épave (entre les membrures M95 et M112), entre 2005 et 2010, ont

également provoqué une érosion différentielle de la surface des bois de l'épave, moins bien conservés, au final, que les parties centrale et avant. Il faut aussi rappeler que toutes les structures architecturales de la partie arrière de la coque de l'épave ont fait l'objet de prélèvements destinés aux études dendrologiques (*supra*, p. 58) (fig. 38). Tous ces prélèvements ont en revanche été conservés et ont pu être replacés au sein de la coque au moment du remontage du bateau pour sa présentation au sein du musée.

L'arrière du caisson (entre les membrures M102 et M111) a fait l'objet d'un démontage partiel lors de l'expertise de 2005<sup>3</sup> et total lors de la fouille de 2010. Tandis que les éléments enlevés en 2005 n'ont pu être conservés, ceux démontés en 2010 ont été enregistrés et stockés sur l'arrière du chaland, enveloppés et protégés dans des bandes de tissu géotextile. Néanmoins, avec les ouvertures répétées de l'arrière de l'épave et la manipulation de ces pièces pour leur stockage sur l'arrière, sans compter les prélèvements destinés aux analyses dendrologiques réalisés de façon systématique, les éléments constitutifs du caisson sur sa section arrière ont beaucoup souffert. Leur relevage en 2011, assuré au moyen de brancards, a ainsi mis en évidence de nombreuses pièces fracturées et érodées pour lesquelles de nombreux petits éléments n'étaient plus identifiables. Certains éléments relevant des aménagements internes de la poupe, eux aussi démontés, n'ont par ailleurs pas été retrouvés.

Les planches de réparation des parties hautes des bordés de flanc en demi-tronc ont également fortement souffert durant les campagnes de fouilles. Extrêmement fragiles, ces pièces étaient le plus souvent fracturées en de nombreux morceaux et ont, pour la plupart, été prélevées avant le relevage des tronçons.

Concernant les dégâts à imputer aux phases de relevage, on note de nombreuses fractures, notamment à la poupe, au niveau des tronçons T1 et T2, ainsi qu'au niveau du tronçon T6. La sortie du tronçon T2 a également provoqué une ouverture du bordé de flanc en demi-tronc F12 entraînant un décollement de l'extrémité d'un certain nombre de varangues, sur tribord. Sur l'avant, la courbe de maintien du mât sur bâbord (Bar1) présente quant à elle une fissure latérale liée au relevage du tronçon T8 (fig. 168).

Le plancher de cale de la partie centrale du caisson, correspondant aux tronçons T5 et T6 (membrures M112 à M121), a également souffert lors des phases de relevage. En effet, avant que ne soit mis en place un système de maintien du fond du caisson pour le relevage des tronçons T7 et T8 (au moyen d'un tapis de néoprène lui-même maintenu par une grille métallique), le processus de relevage, à ce stade du chantier, ne prenait pas en compte le maintien en place du fond du caisson. Or le plancher de cale étant constitué de pièces entièrement amovibles, la plupart des vaigres, uniquement calées par quelques étais verticaux, ont bougé non seulement au moment du sciage des tronçons mais aussi pendant les phases de relevage. Les vaigres étant par ailleurs extrêmement fragilisées en raison du poids du chargement de pierres et de leur long séjour dans l'eau, ce sont de nombreux fragments épars, et même de longues planches, qui ont été récupérés.

Toujours concernant le caisson, la planche de fermeture transversale avant CI3.1 a été fracturée en six au cours de la fouille. Tous récupérés, ces six morceaux ont pu être remis en connexion.

Enfin, de nombreuses fractures transversales ont été relevées lors des fouilles ou durant les phases d'étude des tronçons à terre après leur relevage. Il s'agit de fractures nettes, suivant un trait droit ou en escalier, transversales au fil du bois, mises en évidence notamment sur le bordé de sole (fig. 46 et 47). De telles fractures ne peuvent formellement pas se produire sur du bois sec ou enfoui depuis peu de temps ; le renfort naturel des fibres qui forment le fil du bois s'y oppose. Ces fractures transversales n'ont pu survenir qu'après le naufrage et une période d'enfouissement telle que les fibres du bois, se détériorant peu à peu, ne pouvaient plus jouer ce rôle de renfort longitudinal, et se sont brisées net et de manière transversale au moindre choc (intervention des archéologues lors de la fouille ou le relevage). Elles s'opposent donc formellement aux fissures longitudinales observées par ailleurs qui peuvent se produire du temps de la fabrication ou de l'utilisation d'un artefact en bois, suite à la dessiccation du matériau (voir les fissures radiales et longitudinales des bordages de sole colmatées par de la poix lors de la confection du chaland ou d'une réparation, *infra*, p. 150-151, fig. 203).



Fig. 42 : Extrémité avant du chaland qui montre un décalage de la proue vers bâbord, sans doute lié à un choc latéral survenu sur tribord (Ch. Rombi, CG13).

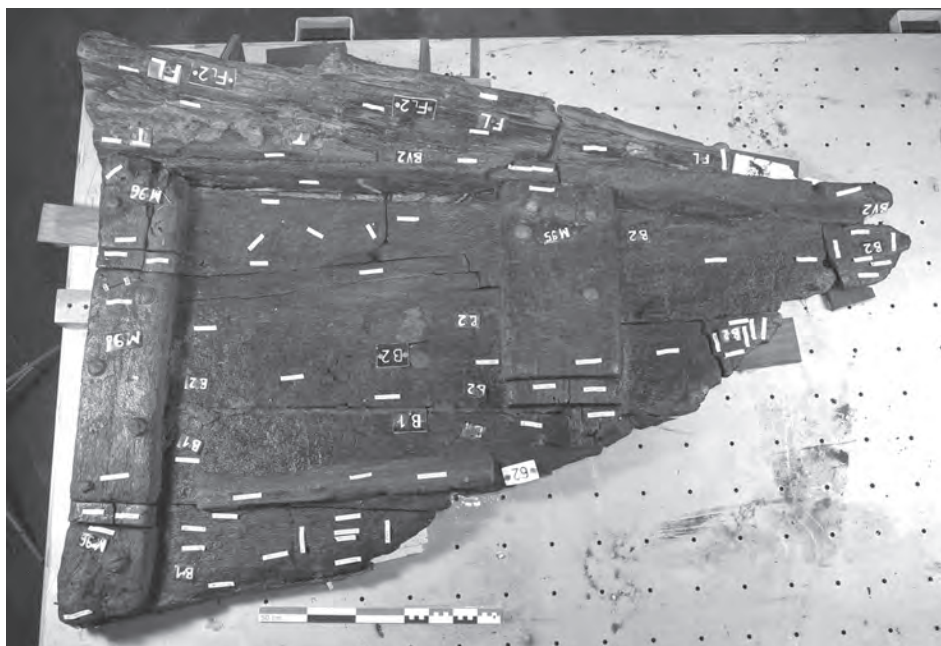


Fig. 43 : Décollement de l'extrémité de la membrure M106, au niveau du bouchain bâbord, à mettre en relation avec le naufrage (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

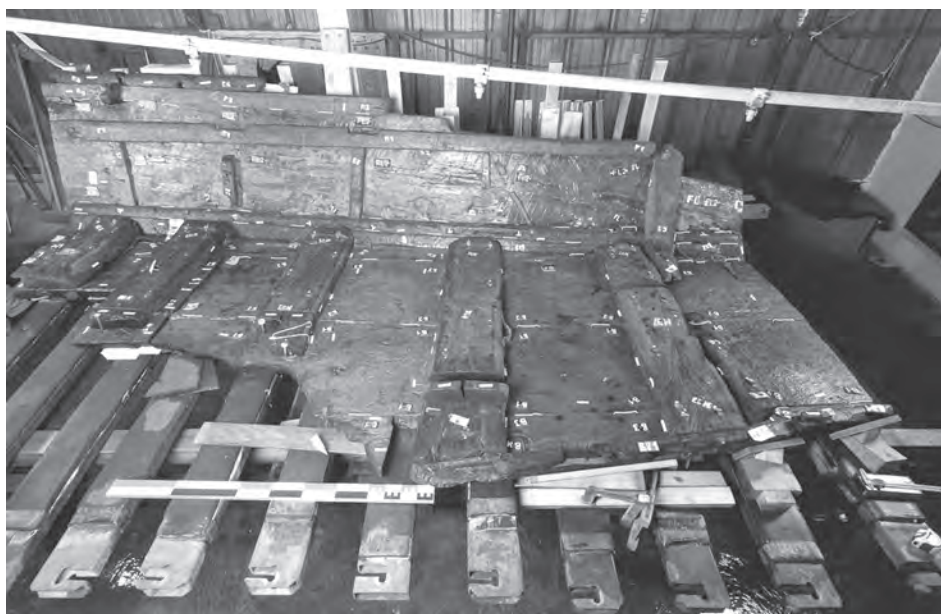
2. L'angle des courbes représente en général une zone de faiblesse avec des risques fréquents de cassure.  
3. L'absence de plancher de cale à bâbord, sur les plans de 2005 (fig. 6), s'explique ainsi par son enlèvement.



**Fig. 44:** *Vue zénithale du tronçon T1 (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).*

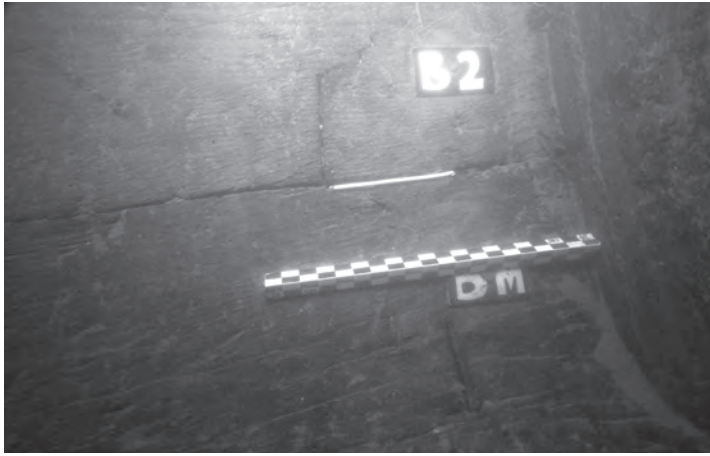


**Fig. 45:** *Vue, de face, de la sole et du bordé tribord du tronçon T2 avec la pièce de flanc monoxyde FI2 surmontée d'une planche de réparation (P3) et d'une planche de plat-bord (P4) (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).*



## LE TRAITEMENT DE L'ÉPAVE ET SES INCIDENCES SUR LES VESTIGES ARCHITECTURAUX

En plus du constat effectué sur les tronçons et les bois de l'épave dans l'eau puis à leur sortie, il faut ajouter ici un dernier point qui a trait à leur traitement à l'atelier de restauration ARC-Nucléart de Grenoble. L'imprégnation partielle à l'aide d'une résine polyéthylène glycol (PEG), suivie d'un séchage par lyophilisation, a parfois été à l'origine de gerçures et de petites fissures longitudinales. Cela correspond à un phénomène localisé d'effondrement cellulaire d'autant plus visible que la surface du bois est dans un plan tangentiel à celui du tronc. Ce phénomène provient d'une décongélation partielle du mélange eau-PEG 2000 pendant la lyophilisation. Il touche essentiellement les zones superficielles les plus concentrées en résine. Les choix d'une résine de type PEG 2000 et d'une concentration finale de 35 % sont cependant justifiés pour garantir la meilleure



**Fig. 46 :** Fissures observées in situ sur le bordage B2, au niveau de la poupe (Ch. Durand, CCJ/CNRS).



**Fig. 47 :** Fissure observée sur le bordage B5, en avant de la varangue M116 que l'on peut attribuer à l'action de la fouille ou du relevage du tronçon T5 (L. Roux, O'Can-Ipsos Facto, MdAa/CG13).

diffusion à cœur de la résine dans le faible délai qui était imparti pour le traitement des bois.

Quelques légères fissures transversales, induites plutôt par retrait de fibres, sont également apparues à la suite du séchage par lyophilisation. Elles illustrent, à nouveau, un niveau de décomposition élevé du bois consécutif à l'hydrolyse de la cellulose pendant la phase d'enfouissement.

Quelques affaissements ont aussi été observés au niveau de certains bordages de sole. D'autre part, les bouchains monoxyles ont parfois manqué de soutien mécanique lors du traitement. Certains d'entre eux se sont ainsi ouverts, l'angle du bouchain se modifiant en conséquence. Pour le remontage du chaland, il a néanmoins presque toujours été possible de profiter de la souplesse du bois pour corriger les déformations et retrouver l'angulation d'origine.

Quoi qu'il en soit, après séchage, le bois reste fragile et des cassures supplémentaires ont pu, par conséquent, se produire lors des manipulations.

## CONCLUSION

Dans l'ensemble, bien que le bois des éléments du chaland puisse être déformé ou érodé par endroit ou qu'il ait subi des dégradations plus ou moins importantes (fissures, fractures...) dont les origines sont multiples, l'état de conservation global peut-être considéré comme bon, voire très bon, et a permis une lecture et une étude exhaustive de ses caractéristiques architecturales. Le traitement des bois, en laboratoire, bien qu'ayant entraîné des dégradations supplémentaires mais habituelles dans ce type d'intervention, a permis de faire des observations complémentaires sur les assemblages du bateau.

Finalement, avec une coque quasiment entière – les vestiges conservés représentent un peu plus de 93 % de l'ensemble de la coque – et l'ensemble des aménagements internes conservés, l'épave *Arlès-Rhône 3* est sans doute l'un des bateaux de navigation intérieure les mieux conservés de l'Antiquité.

# CHAPITRE 5. LE CHALAND

## LA COQUE DU BATEAU : ÉTUDE ARCHITECTURALE

PRÉSENTATION ET ANALYSE DU SYSTÈME ARCHITECTURAL :  
UNE ARCHITECTURE DE TYPE « MONOXYLE-ASSEMBLÉE »

Sabrina MARLIER

Dans son introduction consacrée aux épaves gallo-romaines de Lyon Saint-Georges, publiées dans un précédent volume d'*Archaeonautica* (16, 2010), Éric Rieth pose les problématiques et les problèmes de terminologie, mais également les définitions générales, liés à l'« Archéologie de la batellerie gallo-romaine et architecture "sur sole" » (Rieth 2010a, p. 35-47). Nous adopterons ici les différentes notions s'appliquant au chaland *Arles-Rhône 3* et nous renvoyons donc à ce volume pour un plus grand développement des définitions pour lesquelles nous ne donnerons ici que les principaux éléments. Il nous importe, en effet, de développer plus amplement dans ce volume le système architectural d'*Arles-Rhône 3* qui se caractérise par une coque de type monoxyle-assemblée, signifiant la présence de bordés monoxyles de transition situés entre le fond plat, ou « sole », et les flancs (voir, en particulier, Rieth 2010a, p. 40-41). Le système architectural du chaland *Arles-Rhône 3* se définit ainsi par une sole, à laquelle sont associés des bordés monoxyles de transition mais aussi, localement, des bouchains composés, une membrure constituée de varangues et de courbes et des bordés de flanc en demi-tronc. À ces structures primaires, il convient de rajouter des tasseaux, des barrots présumés et un banc d'étambrai. Le système architectural d'*Arles-Rhône 3* sera ainsi présenté structure par structure avec, pour chacune d'entre elles, une définition de la terminologie employée (fig. 48). Au terme de cette présentation, une analyse globale permettra de mettre en évidence les particularités de cette structure monoxyle-assemblée.

### La sole

#### *Définition, constitution et rôle de la sole*

Caractéristique des embarcations fluviales, la sole correspond au fond plat, dépourvu de quille ou de tout élément axial. La sole est ainsi constituée de planches en chêne, les bordages, disposées à franc-bord. Adapté à un espace de navigation en eaux intérieures – dont la contrainte principale est la hauteur d'eau réduite – le fond plat est une nécessité qui permet aux bateaux fluviaux de naviguer dans les eaux les plus basses, tout en portant un maximum de fret.

#### *Disposition et dimensions des bordages*

La sole du chaland *Arles-Rhône 3* est composée de trois virures principales, chacune d'elle étant constituée de deux bordages assemblés entre eux au moyen de joints en sifflet ou d'un écart à empatture, et de deux bordages latéraux secondaires (fig. 49).

La virure centrale est constituée des bordages B1 et B5, liés au moyen d'un joint en sifflet situé entre les membrures M113 et M116, pour une longueur conservée de 29,15 m. L'extrémité arrière de B1 constitue (avec B2) la fermeture de la poupe du chaland et l'extrémité avant de B5 se termine à la proue, sous M141, par un écart franc (fig. 50). La largeur maximale de cette virure est de 58 cm.

La virure tribord est constituée des bordages B2 et B4, liés au moyen d'un joint en sifflet situé entre les membrures M100 et M102, pour une longueur conservée de 27,23 m. L'extrémité avant de B4 se termine sur la proue par un écart franc (de 4 cm de large), situé entre M136 et M137, qui vient s'insérer dans le bordage B5. La largeur maximale de cette virure est de 56,5 cm.

La virure bâbord est constituée des bordages B3 et B8, liés au moyen d'un écart à empatture situé entre les membrures M130 et M132, pour une longueur conservée de 29,11 m. L'extrémité arrière de B3 se termine en pointe au niveau de M96 tandis que B8 se poursuit,

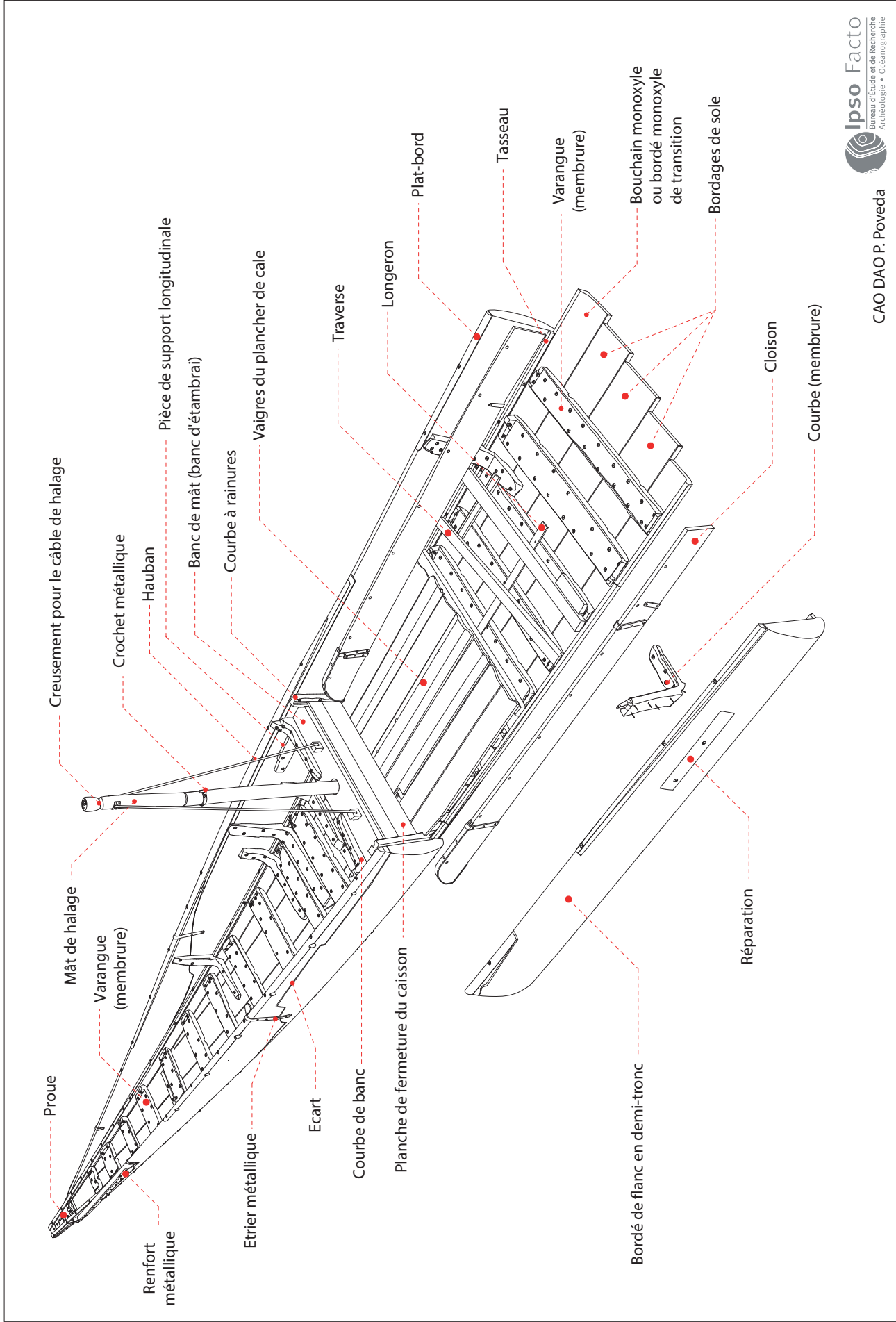


Fig. 48 : Axonomie de l'avant du chaland avec les termes d'architecture employés pour sa description (cf. définitions des termes dans le glossaire en Annexe 1).

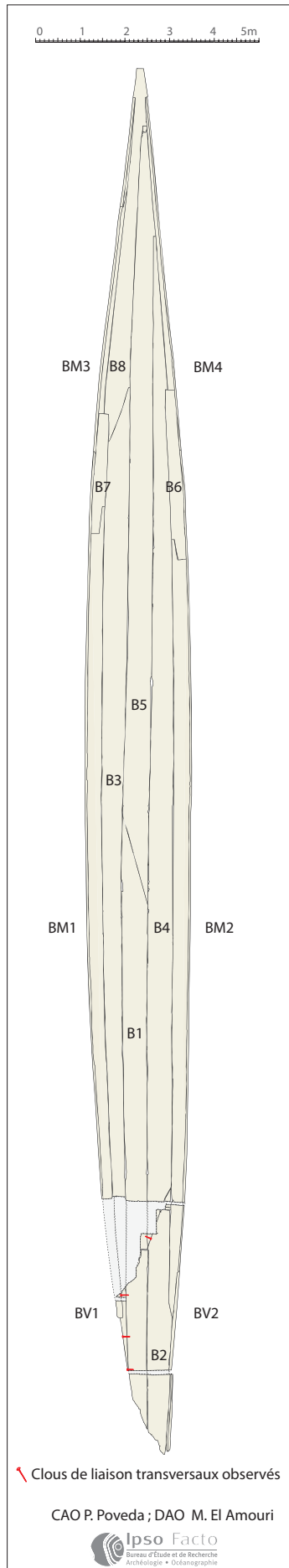


Fig. 49: Planimétrie de la sole et des bouchains.



Fig. 50: Extrémité avant du bordage B5 qui se termine à la proue, sous la membrure M141, par un écart franc (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

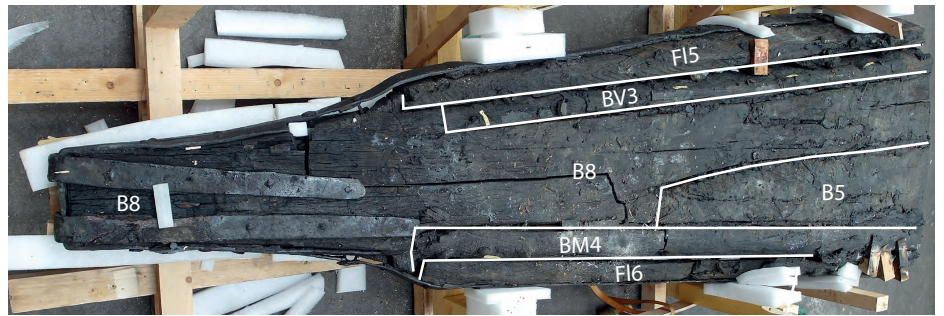


Fig. 51: La proue, vue du dessous, avec les joints de bordages, des bouchains et des flancs indiqués (ARC-Nucléart).

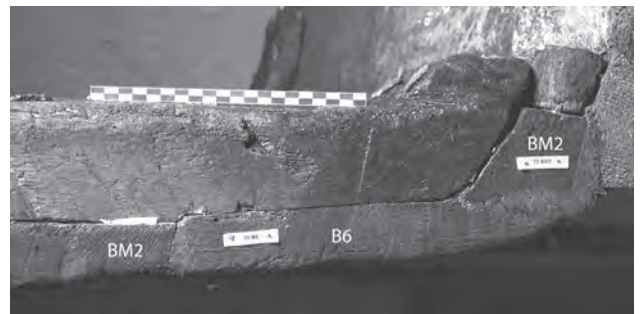


Fig. 52: Le bordage latéral secondaire B6 vient s'insérer, sur l'arrière, dans le bordage monoxyle de transition BM2 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

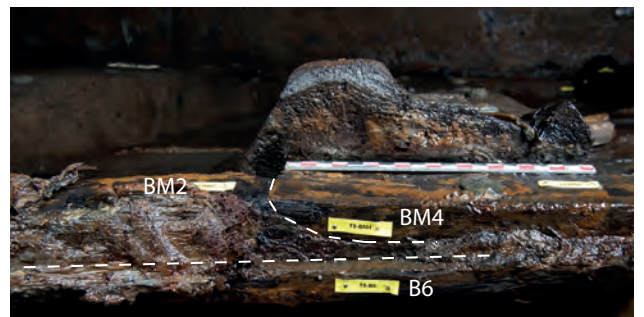


Fig. 53: Le bordage latéral secondaire tribord B6 disposé sous les retours verticaux des bordés monoxyles de transition BM2 et BM4 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

sur l'avant, jusqu'à l'extrémité de la proue qu'elle vient fermer. À ce niveau, le bordage B8 se termine en forme de pointe de flèche, avec deux décrochés pour permettre l'emboîtement des extrémités du bordage vertical BV3 à bâbord et du bordé monoxyle de transition BM4 à tribord (*infra*) (fig. 51). La largeur maximale de cette virure est de 55,5 cm.

Les bordages B6 et B7, situés au niveau de la varangue-emplanture (M129), constituent des bordages secondaires disposés de part et d'autre des deux grandes virures latérales. B6 est ainsi disposé à tribord, au niveau de la maille M126-M132, sur une longueur de 3,79 m, tandis que B7 est disposé à bâbord, au niveau de M127-M131, sur une longueur de 2,68 m. D'une largeur d'environ 30-31 cm, tous deux prennent place entre les bordés monoxyles de transition auxquels ils sont liés par un écart à empatture sur l'arrière et par un écart franc sur l'avant. B6 vient ainsi s'insérer entre BM2 (fig. 52), sur l'arrière, et BM4, sur l'avant (fig. 53), tandis que B7 prend place entre BM1 et BM3. Ces bordages servaient vraisemblablement de lien entre ces pièces de bouchains monoxyles et participent tous deux des bouchains composés disposés de part et d'autre du bateau à ce niveau (*infra*).

Les épaisseurs des bordages varient de 4,3 à 6 cm, avec une moyenne de l'ordre de près de 5 cm.

Virures	centrale	bâbord	tribord
Bordages constitutifs des virures	B1-B5	B3-B8	B2-B4
Longueur totale (en m)		29,11	
Longueur conservée (en m)	29,15		27,23
Longueur restituée (en m)	29,76		27,38

Fig. 54 : Dimensions des virures et des bordages de sole du chaland.

Bordages de sole	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Longueur totale (en m)			21,92	22,59	17,42	3,79	2,68	8,33
Longueur conservée (en m)	13,80	5,95						
Largeur max. mesurée (en cm)	57,0	55,0	55,5	56,5	58,0	30,0	31,1	50,0
Épaisseur max. mesurée (en cm)	5,5	4,7	5,5	6,0	5,2	4,5	-	5,5

### Les assemblages

Les bordages de sole sont disposés à franc-bord et seuls quatre éléments de liaison, situés entre deux bordages, sur l'arrière, ont été documentés<sup>1</sup>. Il s'agit de trois clous disposés entre les bordages B3 et B1, au niveau des membrures M96-M98, et d'un clou situé entre les bordages B4 et B1, au niveau de la membrure M100. Concernant la liaison B3-B1, les clous sont situés en avant de la membrure M96, pour le premier, en avant de M97, pour le second, et en avant de M98 pour le troisième. Enfoncés transversalement depuis le can bâbord externe du bordage B3 (fig. 49 et fig. 55)<sup>2</sup>, ils traversent la largeur de celui-ci pour venir s'enfoncer, à pointe perdue, dans l'épaisseur du bordage adossé (B1) (fig. 56). Le clou de liaison pour la réunion de l'extrémité arrière du bordage de sole B4, taillé en biseau, au bordage adjacent B1, a été, de la même façon, enfoncé transversalement depuis le can tribord externe de B4 en direction de B1 (fig. 49). Ces quatre éléments d'assemblage sont liés au maintien en place des extrémités arrière des bordages B3 et B4, qui se terminent en biseau, contre le bordage de sole adjacent B1.

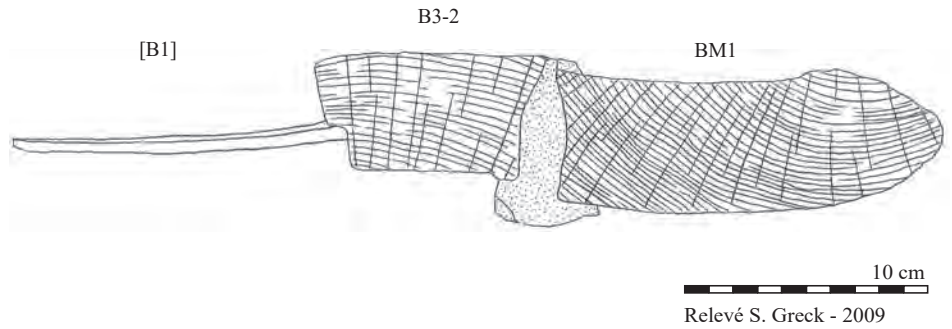
Aucun autre élément de liaison entre les bordages n'a pu être observé sur la coque du chaland<sup>3</sup>.

Bien que ce dernier n'ait pas été démonté pièce par pièce pour son conditionnement et sa restauration, il a tout de même été découpé en dix tronçons, eux-mêmes démontés et redécoupés en quatre sous-ensembles (*cf.* Annexe 3); il serait donc étonnant que toutes les coupes effectuées sur ce bateau l'aient été en des endroits de la sole dépourvus d'éléments de liaison. Il reste néanmoins fort probable que les extrémités en biseau des autres bordages – pour l'aménagement d'écarts en sifflet ou à empatture pour passer d'un bordage à un autre (dans la partie centrale et sur l'avant de la coque) – aient été fixées, comme sur l'arrière, contre les bordages adjacents au moyen de clous transversaux.

Lors du démontage des clous d'assemblage des varangues à la sole (*cf.* Annexe 3), l'utilisation d'un détecteur de métaux a révélé la présence probable de métal dans le bois au niveau de l'écart en biseau qui lie le bordage B1 au bordage B5, dans la partie centrale, ainsi qu'au niveau du joint B3-B8, sur l'avant. Dans la partie centrale, les clous transversaux se situaient au niveau de la maille M113-M114 ainsi qu'au niveau de la maille M115-M116. Il n'a cependant pas été possible – en raison de l'objet muséographique que représente le chaland – de pratiquer des lumières en ces endroits afin d'observer le sens d'enfoncement des clous. Trois possibilités peuvent donc être envisagées :

1. Ces observations ont été faites à la faveur d'un prélèvement destiné aux analyses dendrologiques (2009) et de démontages réalisés par les restaurateurs lors du traitement de conservation du bateau, à l'atelier ARC-Nucléart de Grenoble (2012).
2. Il est important de noter ici la distinction entre un clouage transversal, effectué depuis un can, d'un clouage tangentiel effectué depuis la surface du bordé.
3. Sur les chalands gallo-romains, les virures de sole ne sont généralement pas assemblées entre elles et ce sont, au mieux, des éléments de pré-assemblage qui peuvent avoir été employés afin d'éviter leur déplacement lors de la construction du bateau. Ainsi, sur le chaland de Tolozan, découvert à Lyon, un pré-assemblage des virures de la sole a été réalisé par des languettes en bois non chevillées et des clous enfoncés en biais à partir de la face interne d'un bordage et pénétrant à pointe perdue dans le can du bordage adjacent (clouage tangentiel) (Rieth 2011, p. 67-68 et fig. 8). Sur les chalands de Lyon, Parc St-Georges, un pré-assemblage des virures de la sole a été observé sur les épaves *Ep. 8* et *Ep. 7*. Sur la première, le pré-assemblage a été réalisé à l'aide de clous en fer forgé et de clés non chevillées; sur la seconde, le pré-assemblage a été réalisé, comme sur le chaland de Tolozan, à l'aide de clous enfoncés tangentiellement à la face interne du bordage au travers des cans de chaque bordage de sole (Guyon 2010, p. 52 et fig. 26 et 27; p. 90). Et dans la barque d'Yverdon, mise au jour dans le lac de Neuchâtel, en Suisse, on trouve un système de pré-assemblage par goujons et clouage oblique (Arnold 1992b, p. 26-27).

**Fig. 55 :** Vue vers l'arrière, en section transversale, des prélèvements dendrologiques du bordé monoxyle de transition BM1 et du bordage B3 fixé au moyen d'un clou au bordage B1 (non dessiné).



**Fig. 56 :** Vue d'un des trois clous enfoncé depuis le can externe du bordage B3 en direction de B1 dans lequel il s'enfoncé à pointe perdue (S. Marlier).



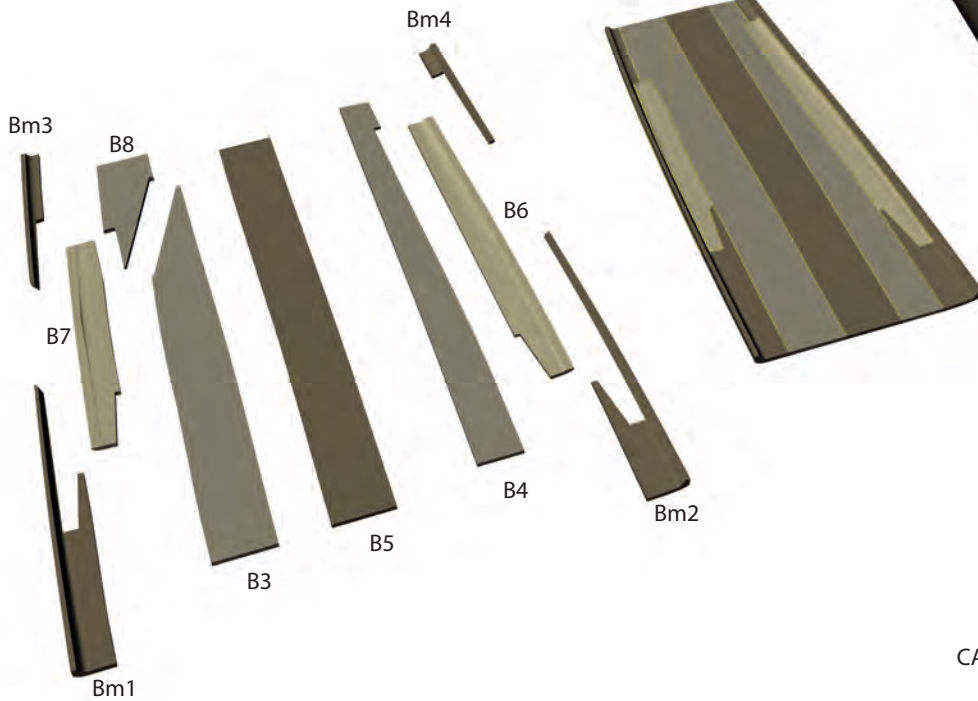
1. un enfoncement d'un clou depuis l'extérieur du can B5 en direction de B1 et un enfoncement d'un clou depuis le can externe de B1 en direction de B5 pour la constitution de la virure centrale (B1-B5) ;
2. un enfoncement d'un clou depuis le can externe de B5 en direction de B4 (pour le maintien en position de B5 contre B4) et un enfoncement d'un clou depuis le can externe de B1 en direction de B5 (pour le maintien en position de B1 contre B5) ;
3. un enfoncement d'un clou depuis le can externe de B5 en direction de B1 (pour le maintien en position de B5 contre B1) et un enfoncement d'un clou depuis le can externe de B1 en direction de B3 (pour le maintien en position de B1 contre B3).

Ces trois possibilités induisent, par conséquent, des séquences de construction différentes sur lesquelles nous reviendrons ultérieurement (*infra*, p. 204-208).

Sur l'avant, au niveau du joint B3-B8, une lumière a en revanche pu être pratiquée sous la courbe C13 avant sa remise en place. Aucun clou n'est cependant apparu dans la lumière ainsi ouverte. Il est donc possible que le clou transversal se trouvait plus en avant, directement sous la membrure M131. Un autre est également soupçonné un peu en arrière ou au niveau de la membrure M132. Aucune autre lumière n'a cependant pu être ouverte pour vérifier le sens d'insertion de ces clous. La seule possibilité envisagée ici, pour l'insertion des clous transversaux – mais sans pouvoir néanmoins être catégorique – est un enfoncement d'un premier clou depuis le can externe du bordage B3 pour sa liaison avec le bordage adjacent B5 et un enfoncement d'un second clou depuis le can externe du bordage B8 pour sa liaison avec le bordage adjacent B3.

Au final, seule l'observation des clous de liaison transversaux, sur l'arrière, permet d'apporter des informations incontestables sur les séquences de construction de la coque du chaland (*infra*, p. 204-208).

On peut toutefois déjà conclure qu'en l'absence d'un réseau d'éléments de liaison entre les bordages de la sole, c'est donc l'assemblage de la membrure à la sole qui assure la cohésion de l'ensemble des structures primaires constitutives de la coque.



CAO DAO P. Poveda



**Fig. 57 :** *Vue axonométrique des bouchains composés, au niveau de la levée de proue.*

## Les bouchains

### *Définition, constitution et rôle du bouchain*

Le bouchain correspond à la partie de coque comprise entre le fond et les flancs (fig. 48). Dans la batellerie gallo-romaine, la pièce qui assure cette liaison est le plus souvent en chêne monoxyle taillée en forme de C ou de L. Elle est alors appelée « bordage de bouchain monoxyle » ou « bordé monoxyle de transition »<sup>4</sup>. Le bouchain peut néanmoins être constitué de deux pièces – un bordage de sole et un bordage vertical – assemblées entre elles au moyen de clous ou de chevilles<sup>5</sup> ; on parle alors de « bouchain composé ».

Quand il est monoxyle, le rôle du bouchain est multiple. Tout d'abord, lors de la phase de conception du bateau, le bouchain participe de la définition de la géométrie du bateau que les charpentiers projettent de construire. Sur le plan structurel, ensuite, le bordé monoxyle de transition joue un rôle de renfort longitudinal de la coque et permet d'assurer la jonction entre le fond et le flanc. Sur le plan fonctionnel, enfin, le bordé monoxyle de transition permet d'assurer une imperméabilité de la coque en des endroits anguleux difficiles à étanchéifier en même temps qu'il assure une certaine résistance aux chocs latéraux et à l'usure due, notamment, aux échouages.

### *Disposition, composition, dimensions et assemblage des bouchains*

La disposition et la composition des bouchains, sur le chaland *Arles-Rhône 3*, est complexe et fait appel à une combinaison de bordés monoxyles de transition et de bouchains composés.

#### **Au centre, des bordés monoxyles de transition**

Dans la partie centrale du chaland, deux bordés monoxyles de transition principaux (BM1 et BM2) prennent place de part et d'autre de la coque et s'étendent sur des longueurs de 19,25 m et 19,42 m depuis les membrures M97-M98, sur l'arrière, jusqu'au niveau de

4. É. Rieth privilégie cette seconde terminologie (Rieth 2010a, p. 36, note 19) que nous avons nous-mêmes adopté pour cette étude (dans la publication du catalogue *Arles-Rhône 3*, nous avons en effet employé le terme de « bordage de bouchain monoxyle », cf. Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011).

5. C'est le cas sur l'épave gallo-romaine *Ep. 8* de Lyon St-Georges (Guyon 2010, p. 49).



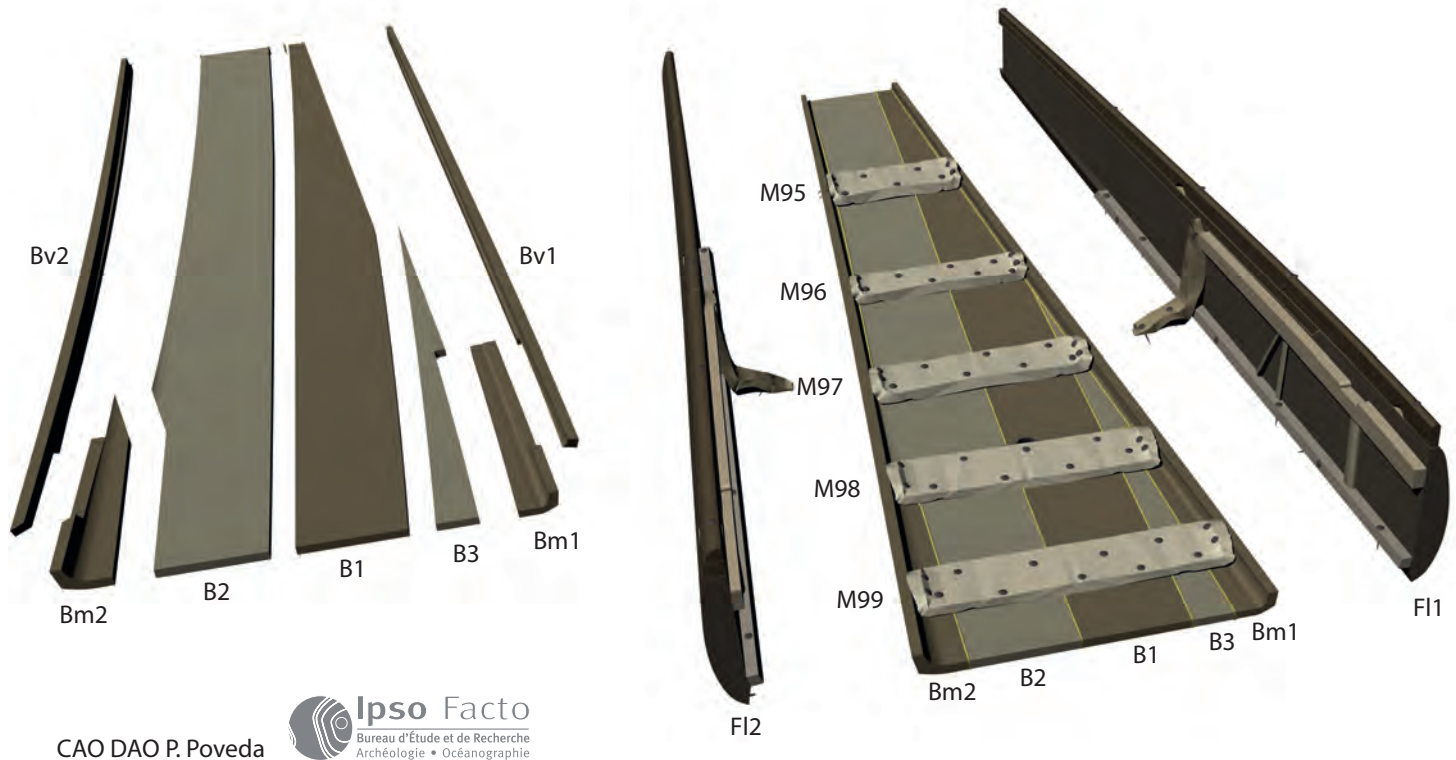


Fig. 58 : Vue axonométrique des bouchains composés, au niveau de la levée de poupe.

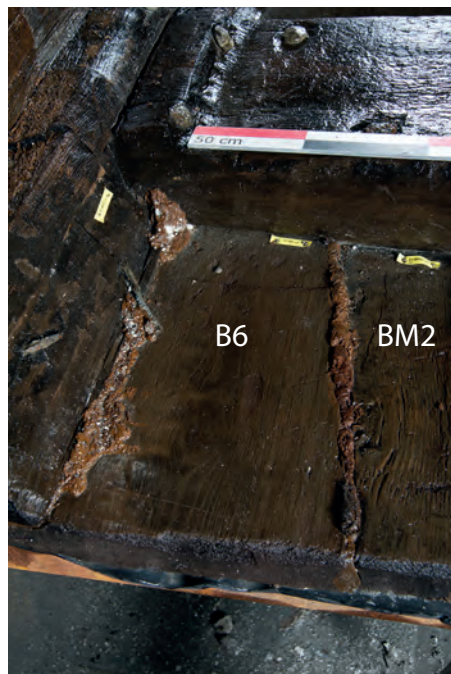


Fig. 59 : Extrémité avant du bordé monoxyle de transition BM2 pour lequel un écart à empatture vient lier sa partie horizontale à B6 (L. Roux, O'Can-Ipsos Facto, MdAa/CG13).

6. Les retours verticaux des bordés monoxyles de transition BM1 et BM2 se prolongent ainsi au-delà de leur partie horizontale qui présentent des longueurs respectives de 1,95 m et 2,44 m.

l'emplanture de mât (M129-M130) (fig. 49 et 57). Parfaitement symétriques, ces deux pièces sont en forme de L couché avec une largeur interne de 33-34 cm et une hauteur maximale de 12 cm. De 6 cm d'épaisseur maximum, ces pièces font la jonction entre les bordages de sole (B3 à bâbord et B2-B4 à tribord), contre lesquels elles sont situées, et les bordés de flanc en demi-tronc (fig. 7).

À la poupe, BM1 se termine, pour sa partie horizontale, par un écart franc situé en arrière de M98, dans le bordage B3 ; tandis que la partie horizontale de BM2 se termine par un écart à joint perdu dans B2, également au niveau de M98 (fig. 49). Les parties verticales se terminent de la même façon, pour les deux bordés monoxyles de transition, par un écart à mi-bois avec le bordage vertical appartenant au bouchain composé sur l'arrière. Dans les deux cas, ces écarts sont bloqués par des clous enfoncés verticalement et, a priori, à pointe perdue, soit depuis l'extérieur (dans le cas de BM1 vers BV1), soit depuis l'intérieur (dans le cas de BV2 vers BM2) (fig. 58).

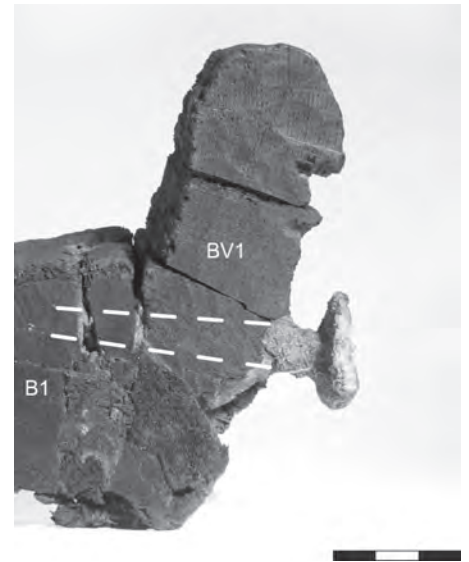
À la proue, c'est un aménagement de type très particulier qui a été réalisé. Les parties horizontales des bordés monoxyles de transition principaux s'achèvent par un écart à empatture (au niveau des membrures M127-M128 pour BM1 et de M126-M127 pour BM2) pour leur assemblage aux bordages latéraux secondaires B7 et B6 (fig. 59). Les parties verticales de ces mêmes bordés monoxyles de transition se poursuivent quant à elles au-delà de la varangue-emplanture M129 où elles s'achèvent par un écart à mi-bois à bâbord et par un écart en biseau à tribord<sup>6</sup>. Le premier type d'écart permet le passage au bordé monoxyle de transition BM3 qui vient se superposer à BM1 et prend alors le relais sur l'avant du bateau (fig. 57, 60). Aucun clou de liaison n'a été enregistré pour le blocage de cet écart. Le second type d'écart permet le passage de BM2 à BM4 sur l'avant (fig. 57, 53). Entre les membrures M127 et M130, les retours verticaux de BM1 et BM2 jouent ainsi le rôle de bordage vertical et participent à la constitution de bouchains composés avec les bordages de sole B7 et B6.

#### Sur l'arrière, des bouchains composés

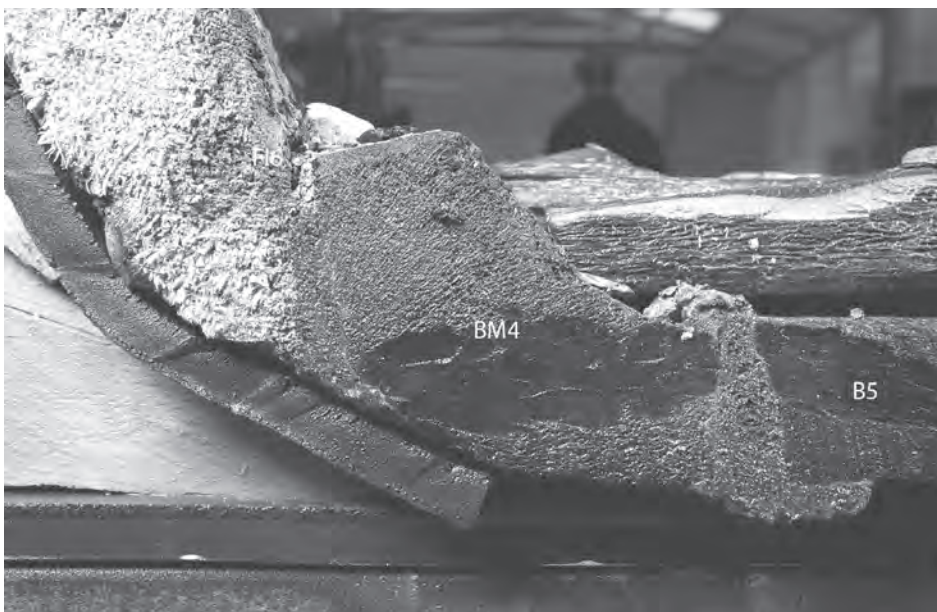
Aux bordés monoxyles de transition succèdent ainsi, sur l'arrière et jusqu'à l'extrémité de la poupe, soit au niveau de la levée arrière, des bouchains composés. À bâbord, celui-ci est constitué du bordage de sole B3, puis B1, auquel est assemblé le bordage vertical BV1 (fig. 58). À tribord, le bouchain composé est constitué du bordage de sole B2 auquel est assemblé le bordage vertical BV2 (fig. 49). BV1 et BV2 ont été assemblés aux bordages de sole adjacents au moyen de clous enfoncés transversalement depuis l'extérieur du chaland, soit depuis la face externe des bordages verticaux jusque dans l'épaisseur des bordages de sole (fig. 61).



**Fig. 60 :** Ecart BM1-BM3, pour la liaison des parties verticales de ces bordés monoxyles de transition, sur bâbord avant (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 61 :** Détail de l'insertion d'un clou transversal enfoncé depuis la face externe de BV1 jusque dans l'épaisseur du bordage B1 pour la formation d'un bouchain composé (Ch. Durand, CCJ/CNRS).



**Fig. 62 :** Vue, sur tribord avant, du bordé monoxyle de transition BM4 qui assure la liaison entre le bordage de sole B5 et le bordé monoxyle de flanc en demi-tronc Fl6 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 63 :** Vue, sur bâbord avant, du bordage vertical avant BV3 surmontant le bordé monoxyle de transition BM3 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

### Sur l'avant, des bouchains composés et à nouveau monoxyles puis composés

Au-delà de la varangue-emplanture (M129), de nouveaux bordés monoxyles de transition, BM3 sur bâbord et BM4 sur tribord, sont mis en place de part et d'autre du bateau et s'étendent sur une longueur respective de 5,93 m et 7,93 m (fig. 49). Comme les bouchains BM1 et BM2, les pièces de bouchains BM3 et BM4 sont complètes sur une certaine longueur jusqu'à ne plus conserver que leurs parties verticales. De la même façon, ces dernières vont alors jouer le rôle de bordages verticaux participant de bouchains composés constitués avec les bordages latéraux secondaires de la sole, B7 et B6 (fig. 57). Ainsi, BM3, à bâbord, et BM4, à tribord, bien qu'étant de faible échantillonnage, sont complets depuis la membrure M138, à la proue, jusqu'à la membrure M131 et M132 où ils jouent alors pleinement leur rôle de bordé monoxyle de transition entre la sole et les pièces de flanc (fig. 62). À ce niveau, leur partie horizontale se termine alors par un écart franc contre le bordage de sole latéral secondaire (B7 et B6) tandis que leur retour vertical se poursuit jusqu'au niveau de la varangue-emplanture. Entre l'emplanture (M129) et la membrure M131, à bâbord, et entre M130 et M132, à tribord, les retours verticaux de BM3

et BM4 jouent donc, à la suite des retours verticaux de BM1 et BM2 auxquels ils sont assemblés, le rôle de bordages verticaux. Assemblés aux bordages de sole secondaires, ils participent également de bouchains composés. Sur tribord, un clou, enfoncé verticalement depuis l'intérieur pour l'assemblage de BM4 à B6 (fig. 53) a été observé. Et sur bâbord, ce sont deux clous, enfoncés verticalement depuis l'extérieur pour l'assemblage de B7 à BM1 et BM3, qui ont été repérés. La mise en évidence de ces assemblages signifie que les bordages B6 et B7 ont été disposés sous les retours verticaux des bordés monoxyles de transition et que c'est leur face interne qui est en contact avec ces pièces et non leur can externe comme c'est le cas sur l'arrière pour les bouchains composés. À la proue, la partie horizontale des pièces de bouchain BM3 et BM4 s'amenuise progressivement pour disparaître sous la membrure M138. Sur bâbord, le retour vertical de BM3 s'arrête en arrière de M138. C'est donc une dernière pièce de bordage vertical (BV3) (fig. 63) qui vient prolonger le bordé monoxyde BM3 au moyen d'un écart à mi-bois bloqué par des clous insérés verticalement depuis le dos de BV3. Sur l'avant, BV3 vient buter contre le décroché taillé dans l'extrémité du bordage B8 (fig. 51). Sur tribord, en revanche, le retour vertical de BM4 se prolonge jusque sur l'extrémité de la proue et vient buter, de la même façon que BV3, contre le décroché taillé dans le bordage B8. Entre M138 et l'extrémité de la proue, BV3 et le retour vertical de BM4 participent alors des bouchains composés avec les bordages de sole B5 et B8. Des clous transversaux, insérés depuis les cans externes de BV3 et de BM4 jusque dans l'épaisseur des bordages de sole adjacents, assurent la liaison de ces bouchains composés. Au total, la longueur de BM3 et BV3, de 7,99 m<sup>7</sup>, est donc équivalente à celle mesurée pour BM4 (fig. 64).

**Fig. 64 :** Dimensions des bordés monoxyles de transition et des bordages verticaux des bouchains composés.

*Note :* la Hauteur max. mesurée correspond à la hauteur totale mesurée, du point le plus bas du bouchain (sur sa face externe) au point le plus haut (sommet du retour vertical).

Bordés monoxyles de transition	BM1	BM2	BM3	BM4
Longueur totale (en m)		19,4	5,9	7,9
Longueur conservée (en m)	16,8			
Longueur restituée (en m)	19,2			
Largeur interne max. mesurée (en cm)	33,1	34,2	10,6	14,0
Largeur externe max. mesurée (en cm)	37,7	39,5	15,0	
Hauteur max. mesurée (en cm)	11,9	12,0	9,4	9,8
Épaisseur max. mesurée au niveau de la sole (en cm)	6,0	5,7	6,1	6,8
Épaisseur max. mesurée au niveau du retour vertical (en cm)	6,5	6,1	6,3	6,3

Bordages verticaux des bouchains composés	BV1	BV2	BV3
Longueur totale (en m)			2,4
Longueur conservée (en m)	quelques cm	4,0	
Longueur restituée (en m)	4,27	4,24	
Épaisseur max. mesurée (en cm)	6,5	7,0	7,5
Hauteur max. mesurée (en cm)	12,5	12,6	11,0

## La charpente transversale

### Définition, constitution et rôle de la charpente transversale

La charpente transversale correspond à la membrure de la coque ; elle est constituée d'un ensemble de pièces plates et de pièces courbes monoxyles façonnées dans des bois de chêne. En fonction de sa structure et de son emplacement, chaque élément de la membrure porte un nom spécifique.

La charpente transversale du chaland *Arles-Rhône 3* est ainsi constituée de varangues plates et de courbes (fig. 48). Les varangues, également appelées « épars » dans la batellerie du Rhône, sont des pièces de construction placées transversalement et symétriquement par rapport à l'axe du bateau tandis que les courbes sont des pièces de construction à deux bras qui forment un angle plus ou moins ouvert et permettent de relier les bordages de fond à ceux du flanc.

La membrure assure un rôle de renfort transversal de la coque du bateau.

### Système de membrure, formes et dimensions des éléments constitutifs de la charpente transversale

#### Système de membrure

Le système de membrure du chaland *Arles-Rhône 3* est constitué d'une succession de varangues plates entre lesquelles viennent s'intercaler des courbes (pl. II). On compte, au total, quarante-sept varangues plates (numérotées M95 à M141) et vingt courbes (C1 à C20).

7. Il faut noter un recouvrement entre les deux pièces de 40 cm, pour une longueur totale de 7,99 m.

Sur l'arrière et sur l'avant du chaland, la maille de la membrure, c'est-à-dire l'écartement entre les varangues, est relativement lâche, de l'ordre de 48,70 cm en moyenne pour la poupe (entre M95 et M102) et de 40,27 cm en moyenne pour la proue (de M129 à M141)<sup>8</sup>. En revanche, dans la partie centrale du chaland, la maille est beaucoup plus serrée, de l'ordre de 31,96 cm. Ce resserrement de la maille<sup>9</sup> au niveau du caisson (fig. 82) s'explique par la présence des pierres de chargement, ou de tout autre matériau pondéreux, que le chaland transportait ou était amené à transporter.

Ce qui est en revanche étonnant, c'est le faible nombre de courbes qui viennent ici s'intercaler entre les varangues. Le nombre de courbes est par ailleurs plus important sur l'avant du bateau, au-delà de la varangue-emplanture (M129), où on compte une paire de courbes toutes les une à trois mailles, (tous les 13 cm environ avec une courbe rajoutée en plus dans la maille à tribord)<sup>10</sup>, que dans la partie centrale où on compte une paire de courbe toutes les cinq à huit mailles (selon un écartement compris entre 30,70 et 36,40 cm), la poupe ne comprenant qu'une paire de courbes. Par ailleurs, si les courbes sont le plus souvent disposées par paire, en vis-à-vis, il n'en est pas toujours ainsi. Ainsi les pièces C1 et C5, disposées sur l'arrière du caisson, sont décalées d'une maille, les courbes C15 et C16, sur la proue, sont placées sur tribord, à une maille d'écart, et la courbe C20, située plus en avant sur la proue, n'a pas de vis-à-vis. Ce décalage est peut-être lié à une raison technique qui nous échappe, à moins qu'il ne présente un intérêt du point de vue structural dans la mesure où il y a peu de courbes.

### Forme et dimensions des varangues

Les varangues sont des pièces plates de section et de forme globalement quadrangulaire, à l'exception des deux dernières varangues situées à la proue (M140 et M141) qui présentent une section pyramidale (fig. 65). Leurs arêtes supérieures présentent de légers chanfreins avec des cans abattus sur une largeur d'environ 2 cm.



**Fig. 65** (ci-contre) : *Vue en section, de la proue avec les deux dernières varangues (M140 et M141) qui présentent une section pyramidale (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).*

De même que la maille est plus serrée dans la partie centrale du chaland, au niveau du caisson (M102-M128), les échantillonnages des varangues sont plus importants en cet endroit du bateau avec des pièces d'une largeur de l'ordre de 22 à 27 cm pour les moins larges et de 28 à 34 cm pour les plus larges, sans organisation particulière dans leur répartition. Leur épaisseur est en moyenne de l'ordre de 8,2 cm. Sur l'arrière et sur l'avant du caisson, les varangues présentent des modules moins importants. Ainsi, à la poupe (M95-M101), les varangues présentent pratiquement toutes des largeurs supérieures à 20 cm et les plus grandes largeurs sont comprises entre 25 et 28,5 cm tandis que leurs épaisseurs sont en moyenne de l'ordre 6,6 cm. À la proue (M130-M141), les varangues présentent des modules similaires avec des largeurs de l'ordre de 14,5 à 25 cm pour les moins larges et de 25,5 à 31 cm pour les plus larges tandis que leurs épaisseurs sont également de 6,6 cm en moyenne.

8. Écartement mesuré, sur le relevé 3D, d'un bord à l'autre d'une varangue.

9. La maille est d'autant plus serrée au centre du bateau que les varangues, à ce niveau, sont également très larges, ce qui nous donne un rapport entre l'écartement des membrures et la largeur de celle-ci compris entre 1,45 (pour les membrures les moins larges, de 22 cm) et 0,94 (pour les membrures les plus larges, de 34 cm).

10. Entre M130 et M133, plus particulièrement, on relève des courbes, disposées par paires ou seules, à chaque maille.



**Fig. 66 :** Ressaut sur l'extrémité d'une varangue qui vient épouser la forme du bouchain (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 67 :** Sur la varangue M110, partie saillante du bois taillée dans la masse du ressaut pour le blocage probable du tasseau disposé sur le haut du bouchain (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

Concernant les longueurs des varangues, correspondant à la largeur interne du bateau, la seule membrure (M98) qui soit conservée dans toute sa longueur sur l'arrière mesure 1,30 m. Dans la partie centrale, si la membrure M117, qui mesure 2,31 m de longueur, pourrait être considérée comme le maître-couple du chaland, il faut souligner que les membrures comprises dans la maille M116-M122 présentent toutes des longueurs similaires, de l'ordre de 2,29 à 2,31 m, ne permettant pas de véritablement dégager un seul et unique maître-couple mais une zone la plus large du bateau. À partir de la varangue-emplanture (M129), qui mesure 2,01 m de longueur, les dimensions des varangues diminuent rapidement pour atteindre une longueur de 36 cm au niveau de la dernière membrure (M141).

L'ensemble des varangues présente de légers ressauts à leurs extrémités qui viennent épouser la forme des bouchains et dont le sommet s'arrête un peu au-dessus des faces supérieures des bordés monoxyles de transition et des bordages verticaux des bouchains composés (fig. 66). Certains de ces ressauts – dont les dimensions sont comprises entre 4 et 6,3 cm de largeur pour des hauteurs comprises entre 1,5 et 5,5 cm – ont une saillie sculptée dans la masse en forme de pyramide tronquée, située sur l'avant, sur l'arrière, ou au centre du ressaut. Le sommet de cette saillie arrive au niveau de la face supérieure des tasseaux disposés sur le haut des bouchains (fig. 67) (*infra*, p. 101-103), permettant de supposer que ces aménagements en relief servaient sans doute à bloquer ces tasseaux contre les flancs<sup>11</sup>.

Sur leur face inférieure, les varangues de l'arrière et de la partie centrale du chaland, à proximité de chacune de leurs extrémités, sont percées d'un petit trou d'anguiller. Ces anguillers sont quasiment tous en forme de demi-lune – de 4 à 7,2 cm de large, pour une hauteur comprise entre 1 et 2,8 cm (fig. 68) – à l'exception de quelques-uns qui présentent une section triangulaire, comme sur les anguillers tribord arrière de M101 et M102 par exemple. Sur la proue, à partir de la membrure M130, les varangues présentent un unique canal, situé au centre de la pièce, dont la section est également en forme de demi-lune et dont les dimensions sont comparables à celles des trous d'anguiller précédents (fig. 65).

Les deux dernières membrures situées à la proue (M140 et M141) présentent en revanche un canal central de forme circulaire (de 4,1 cm de diamètre pour la première et de 3,6 cm pour la seconde) (fig. 65). À ce niveau de la coque, ces canaux ne sont plus des anguillers mais sont sans doute à associer au passage de cordages comme celui retrouvé juste en arrière, au niveau des membrures M138 et M139 et qui se poursuivait sur l'avant (fig. 275) (*infra*, p. 216-217).

Sur le dos de la varangue M131, enfin, deux petites mortaises ont été creusées à proximité de son arête supérieure arrière, de part et d'autre de son axe médian (pl. II). De forme quadrangulaire, de 4 à 4,3 cm de longueur sur 3 cm de large, elles sont profondes de 2 à 2,2 cm. Aucune pièce n'a été découverte en place dans ces cavités et leur fonction est indéterminée.

### La varangue-emplanture

L'emplanture correspond à une pièce creusée d'une cavité destinée à recevoir le pied du mât. Dans la batellerie gallo-romaine, l'emplanture se présente le plus souvent sous forme d'une varangue-emplanture d'échantillonnage plus importante que les autres varangues, disposée de façon transversale par rapport à l'axe du bateau.

L'emplanture se situe ici au tiers avant du chaland, très exactement à 9,20 m de l'extrémité de la proue. Elle correspond à une varangue massive (numérotée M129) avec une forme globalement quadrangulaire et des ressauts situés au niveau de chacune de ses extrémités (fig. 69). Comme observé sur d'autres membrures, le ressaut situé à tribord présente, sur l'arrière, une saillie sculptée en forme de pyramide tronquée qui devait également permettre de maintenir en place le tasseau disposé sur le haut du bouchain (*supra*). Cette emplanture présente, en plus, une surépaisseur dans sa partie centrale (fig. 70). Elle mesure 2,01 m de longueur pour une largeur de 42 cm et une épaisseur de 8,5 cm à 12,5 cm dans sa partie centrale. La surépaisseur de la partie centrale mesure 1,03 m de longueur et ne couvre pas toute la largeur de la pièce puisqu'elle s'arrête à 4 cm avant l'arête supérieure de la face arrière.

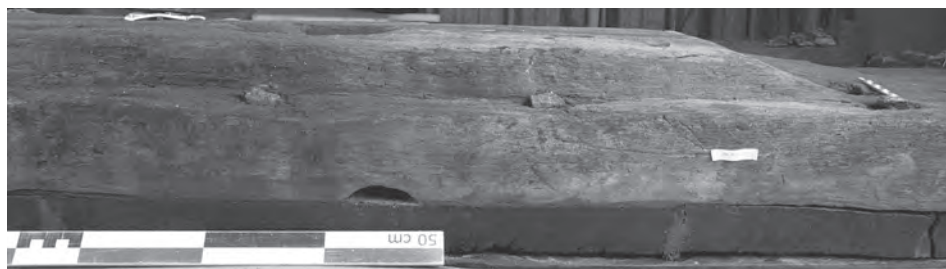
Pour la réception du pied de mât, une mortaise a été creusée quasiment au centre de la varangue, légèrement décalée vers bâbord. De forme quadrangulaire, elle mesure 11 cm pour son côté le plus large (situé dans le plan transversal du bateau) sur 9 cm, pour une profondeur de 8,5 cm. En lien avec son usage, ses bords présentent, au niveau de la surface de la pièce, une usure prononcée élargissant l'ouverture en forme de section circulaire, correspondant à l'appui du mât (fig. 223). De part et d'autre de cette mortaise principale, mais décalées vers l'arrière, deux mortaises de dimensions plus petites ont été creusées au niveau des extrémités de la surépaisseur de la pièce. De forme également quadrangulaire, elles sont similaires aux cavités creusées sur le dos de la varangue M131 (*supra*) mais avec des dimensions légèrement supérieures : elles mesurent ainsi 6,5 à 7 cm de longueur sur 4,5 à 5 cm de large, et sont profondes de 4 à 6 cm. Comme pour la mortaise centrale, elles présentent également, à la surface de la pièce, une usure prononcée avec

11. Ces saillies ne se retrouvent d'ailleurs pas sur les varangues situées en avant et en arrière des tasseaux, soit au-delà de la membrure M133, à la proue, et au-delà de la membrure M97, à la poupe.



**Fig. 69 :** Vue en section, de l'arrière vers l'avant, des tronçons T8 (après démontage du banc de mât, à l'aplomb de la varangue-emplanture) et T9 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

**Fig. 68 :** Enfilade des trous d'anguiller disposés sur le côté tribord du bateau sur le tronçon T5 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 70 :** Vue du ressaut situé dans la partie centrale de la face supérieure de la varangue-emplanture (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

une ouverture en forme circulaire. Aucune épontille ou tout autre élément n'a cependant été découvert en place et leur fonction reste, là aussi, indéterminée. Sur bâbord, une épontille de 14,5 cm de longueur pour une largeur de 8 cm a en revanche imprimé sa forme en négatif dans le bois de la pièce (fig. 168). Disposée entre l'emplanture et le banc de mât, elle est liée à une réparation de ce dernier (*infra*, p. 153-154).

Comme sur les autres varangues, cette membrure présente des trous d'anguiller : un central et deux latéraux. L'anguiller central, légèrement décalé sur tribord, présente, à l'instar de la plupart des autres anguillers enregistrés sur le reste de la charpente transversale, une section en forme de demi-lune de 7 cm de largeur pour une hauteur de 1,8 cm (fig. 70). Les anguillers latéraux présentent la même section avec des dimensions similaires sur l'arrière de la pièce mais qui diffère sur l'avant où ils présentent, comme sur M101 et M102, une section de forme triangulaire (fig. 71). Aucune explication fonctionnelle ne peut être apportée sur ces différences de forme, et seule l'hypothèse de l'utilisation d'un outil différent ou d'un « coup de main » différent de la part d'un charpentier peut être avancée.

### Forme et dimensions des courbes

Les courbes sont des pièces de bois de fil à deux bras, taillées en forme de L dans des embranchements à la morphologie adaptée composés d'un segment de tronc et du départ d'une branche maîtresse (*infra*, p. 187-188). La partie horizontale, positionnée côté sole, présente des longueurs comprises entre 48 et 106 cm tandis que la partie verticale, qui vient soutenir un des flancs, présente des longueurs comprises entre 39,5 et 88,5 cm. Les largeurs des pièces sont comprises entre 10 et 18,5 cm et les épaisseurs entre 5,5 et 10,5 cm.

Sur l'arrière et dans la partie centrale du bateau les courbes sont massives et leur bras vertical atteint le haut des bordés tandis que leur bras horizontal, pour les courbes disposées en vis-à-vis, ne se rejoint pas (fig. 72).



**Fig. 71:** Canal de forme triangulaire sur la face avant de la varangue-emplature (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 72:** Vue zénithale du tronçon T7 avec les courbes C10 et C11 affrontées (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 73:** Courbes C13 et C14, disposées en vis-à-vis en avant de l'emplature de mât, et dont les bras horizontaux se rejoignent au niveau de l'axe du bateau (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

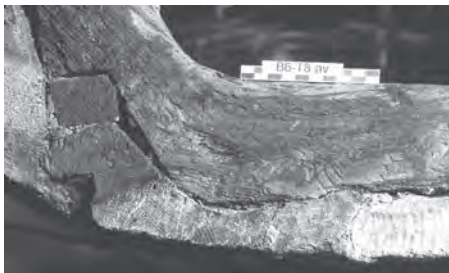


**Fig. 74:** Vue, en avant de l'emplature de mât et du côté tribord, de la densité des courbes qui alternent des bras verticaux qui atteignent le sommet des flancs, pour les plus massives (C15), et d'autres dont les bras sont plus courts, pour les plus graciles (C14 et C16) (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

Les courbes disposées en avant de la varangue-emplature (M129), à la proue, intercalent des modules similaires avec de plus petits modules mais dont les bras horizontaux, pour les courbes disposées en vis-à-vis, se rejoignent au niveau de l'axe central du bateau (fig. 73). Pour les courbes non disposées par paires, qui sont les plus massives, elles sont curieusement disposées sur tribord et leur bras horizontal outrepassent l'axe médian du bateau. Quant aux bras verticaux de ces courbes situées à la proue, on observe une alternance entre des courbes qui atteignent le sommet des flancs, pour les plus massives, et d'autres dont les bras sont plus courts, pour les plus graciles (fig. 74).

Les angles d'ouverture des courbes, au niveau du tronçon T8, sont de  $92,6^\circ$ .

Sur leur face externe, au niveau de leur angle d'ouverture, les courbes présentent un ressaut, sous forme de redan d'une dizaine de centimètres de hauteur pour une largeur de



**Fig. 75 :** Vue détaillée du redan sur une des courbes du tronçon T8 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 76 :** Courbe C8 qui présente une ligne de fracture au niveau de son coude (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 77 :** Découpe de la partie haute de la courbe C9 en forme de fourche (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 78 :** Pièce rapportée sur la partie haute de la courbe C10 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 79 :** Vue latérale de la partie supérieure de la courbe C10 qui montre que la découpe particulière de la partie haute permet de réserver un évidement sur l'arrière de la membrure (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

moins de 5 cm, destiné à épouser le profil du bouchain et du tasseau (fig. 75). Le découpage de ce redan, au niveau d'un point de faiblesse que représente déjà l'angle des courbes traversé en outre par un ou plusieurs clous d'assemblage, explique qu'une grande partie de ces pièces se soient fendues en cet endroit (fig. 76).

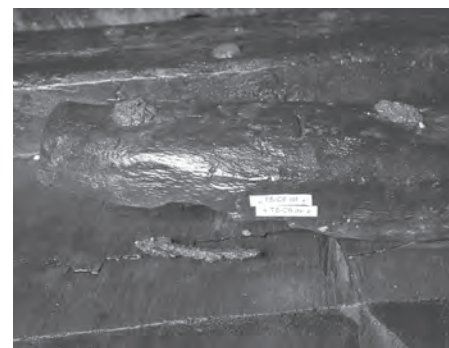
Comme pour les varangues, les arêtes de la face supérieure des courbes ont été légèrement abattues, sur 1,5 cm de largeur environ.

Les courbes situées dans la partie centrale du chaland, au niveau du caisson (*infra*, p. 159-164), montrent par ailleurs une découpe particulière de leur partie sommitale : en





**Fig. 80 :** La pièce isolée C17 (C23 en n° subaquatique) ne présente qu'une partie verticale fixée au flanc au moyen d'un clou unique, sans retour horizontal côté sole (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 81 :** Vue d'un trou d'anguiller en forme de demi-lune sous la courbe C9 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

forme de fourche sur C5, C7, C8, C9 et C12 (fig. 77), de ressaut sur C6, ou encore sous forme d'une pièce rapportée sur C10 (fig. 78)<sup>12</sup>. Ces aménagements permettent de réserver, entre l'arrière du haut de ces courbes et la face interne des bordés de flanc, un évidement dont la largeur est comprise entre 3,5 cm et 4 cm et dont la hauteur est comprise entre 6,5 et 9 cm (fig. 79). Ceux-ci sont vraisemblablement à mettre en relation avec la mise en place de fargues amovibles (*infra*, p. 105 et 163).

Les courbes C13, C14 et C15 présentent par ailleurs un trou circulaire non traversant sur la face interne de leur bras vertical dont la fonction demeure, là aussi, indéterminée.

Parmi les vingt courbes recensées sur le chaland *Arlès-Rhône 3*, trois d'entre elles sont particulières. Les courbes C7 et C12, disposées en vis-à-vis, à la proue, en arrière de la varangue-emplature (M129), présentent, sur la face interne de leur bras vertical, une rainure creusée au centre de la pièce (fig. 103 et 168). D'une hauteur de 62,5 cm pour une largeur de 4,1 et 4,2 cm et une profondeur de 3 cm, ces encoches étaient destinées à recevoir les planches de fermeture transversales de l'avant du caisson (C13.1 et C13.2) qui étaient ainsi glissées l'une au-dessus de l'autre (fig. 182). Ces courbes ont donc été appelées « courbes-glissières » afin d'en souligner la double fonction liée à la fois au renfort transversal de la coque et à la réception des planches de fermeture du caisson. Elles présentent en outre, sur le can avant de leur bras vertical, une encoche destinée à l'emboîtement de l'arrière du banc de mâts (*infra*, p. 103-105).

La pièce isolée appelée C17 et située au niveau de la proue, sur bâbord (en arrière de M133), ne présente quant à elle qu'une partie verticale fixée au flanc au moyen d'un clou unique, sans aucun bras horizontal, côté sole (fig. 80). À l'évidence il ne s'agit pas ici d'une courbe, selon la définition attribuée à ce type de pièce, et sa fonction, qui ne semble jouer aucun rôle structurel, reste indéterminée.

Enfin, pratiquement toutes les courbes identifiées comme telles, à l'exception de C8 située dans la partie centrale du chaland, des courbes glissières et des courbes situées plus en avant sur la proue, présentent des trous d'anguiller. Avec une section en forme de demi-lune, comme sur les varangues, ou trapézoïdale, ces anguillers sont également très petits avec des largeurs comprises entre 6,5 et 8 cm et des hauteurs de l'ordre de 6 à 17 mm (fig. 81).

12. La pièce rapportée au sommet de C10 (h. 13,5 × ép. 4,5 cm) vient s'encaster dans une feuillure ménagée dans le haut de la courbe et permet de réserver un évidement sur l'arrière de cette membrure. Elle est assemblée au moyen de trois clous traversant.

Maille de la membrure	Écartement entre les varangues	Écartement entre les courbes
A la poupe (entre M95 et M101)	48,70 cm en moyenne	
Au centre (de M102 à M128)	31,96 cm en moyenne	30,7 à 36,4 cm
A la proue (de M129 à M141)	40,27 cm en moyenne	13 cm environ

Fig. 82 : Maille et dimensions des membrures.

Membrures	Dimensions des varangues (en cm)	Dimensions de la varangue-emplanture (M129) (en cm)	Dimensions des courbes (en cm)
A la poupe (entre M95 et M101)	Longueur conservée : 130,5 (M98) Les plus larges : entre 25 et 28,5 Épaisseurs comprises entre 5,2 et 7,5 (6,6 en moyenne)		Longueur des parties horizontales (côté sole) : entre 48 et 106 Longueur des parties verticales (côté flanc) : entre 39,5 et 88,5 Largeurs : entre 10 et 18,5 Épaisseurs : entre 5,5 et 10,5
Au centre (de M102 à M128)	Longueurs les plus grandes : de 229 à 231 (M116-M122) Les moins larges : 22 à 27 Les plus larges : 28 à 34 Épaisseurs comprises entre 7,2 et 9,5 (8,2 en moyenne)		
A la proue (de M129 à M141)	Longueur de la dernière membrure (M141) : 36 Les moins larges : 14,5 à 25 Les plus larges : 25,5 à 31 Épaisseurs comprises entre 4,4 et 9 (6,6 en moyenne)	Longueur : 201 Largeur : 42 Épaisseur : de 8,5 à 12,5	

### Mise en place de la membrure et assemblages

L'ensemble de la charpente transversale est fixée à la sole, aux bouchains et aux bordés au moyen de clous en fer.

Les varangues sont assemblées aux bordages de la sole au moyen de clous essentiellement enfoncés depuis le dos de la membrure ; leur pointe est alors rabattue systématiquement sur l'extérieur de la sole soit une fois à angle droit, soit deux fois pour venir s'enfoncer dans le bois et venir former une véritable agrafe. Le rapport entre le recours à l'une ou l'autre technique est inégal<sup>13</sup> et ce sont parfois les agrafes qui sont majoritaires et parfois les pointes rabattues ; il ressort toutefois que lorsque les pointes sont rabattues deux fois, la longueur de la pointe est le plus souvent supérieure à 7 cm (fig. 83 et 84). Avec l'emploi de trois à quatre clous par virure (le plus souvent quatre), la disposition des têtes de clous, sur le dos des varangues, vient dessiner un schéma en quinconce (fig. 83 et pl. II). D'autres clous, moins nombreux (quatre fois moins que ceux enfoncés depuis le dos des varangues), ont également été enfoncés depuis l'extérieur de la coque (fig. 83 et 84). Les pointes de ces clous sont également rabattues systématiquement, le plus souvent une seule fois, sur le dos de la varangue qu'ils viennent fixer à la sole<sup>14</sup> (fig. 85). Depuis l'extérieur, ce sont de un à trois clous (le plus souvent un ou deux) qui ont été insérés par virure, la tête des clous se situant toujours près des joints des bordages, à environ 5 cm (fig. 84). Trois cas de clous avec une tête cassée, enfoncés depuis l'extérieur de la coque, ont été observés. Dans ce cas, la tige a été enfoncée et un second clou a été inséré dans le même trou afin d'assurer au mieux l'assemblage (fig. 86).

L'insertion de clous, depuis l'intérieur et depuis l'extérieur de la coque, assure un clouage croisé des varangues à la sole qui permet de renforcer leur fixation. Cette donnée est d'autant plus importante que les bordages de sole ne sont pas liés entre eux et que c'est par conséquent l'assemblage des varangues aux bordages qui permet d'assurer la cohésion de l'ensemble de ces structures<sup>15</sup>.

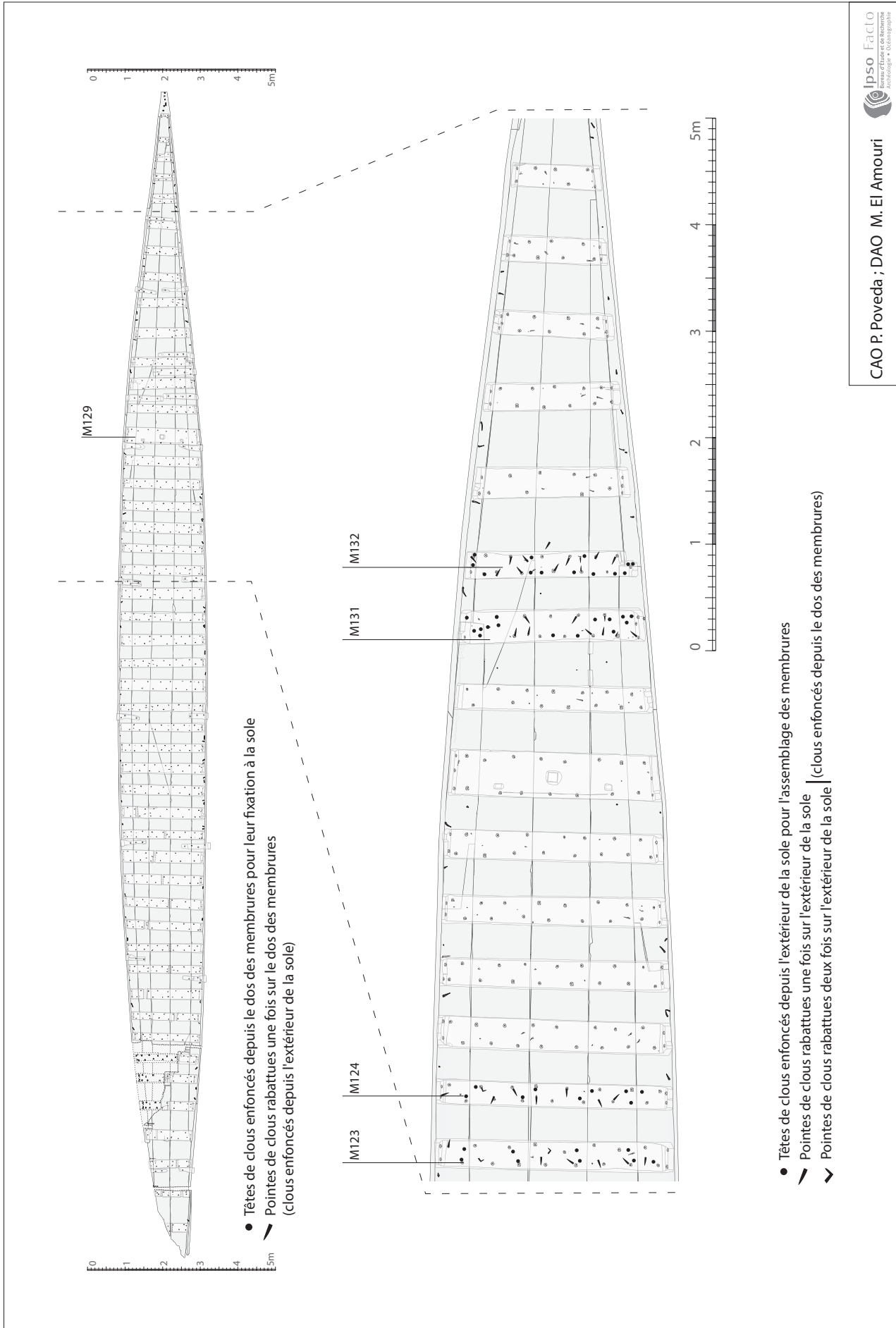
Les varangues sont également assemblées aux bordés monoxyles de transition et aux bordages verticaux des bouchains composés par l'intermédiaire d'une paire de clous enfoncés transversalement depuis chaque ressaut, situé aux extrémités des membrures, en direction des bouchains dans lesquels les tiges s'enfoncent à pointe perdue (fig. 66). Sur certaines membrures, plus larges que les autres (aux environs de 30 cm), un troisième clou (sur M120, à tribord, par exemple), voire jusqu'à cinq clous (sur M133, à tribord) ont pu être enfoncés dans le ressaut de la varangue en direction du bouchain. Il a également été observé, sur deux varangues (M133 et M135), qu'un long clou avait également été enfoncé transversalement depuis l'extérieur du bouchain en direction de la membrure dans laquelle il s'enfonçait à pointe perdue.

Comme les autres varangues de la charpente transversale, la varangue-emplanture est fixée à la sole et aux bouchains au moyen de clous en fer (fig. 69). Ceux-ci sont également enfoncés de façon croisée depuis le dos de la pièce en direction de la sole et depuis la face

13. Sur l'extérieur de la sole observée au niveau de l'assemblage de onze varangues (M117, M118, M119, M122, M123, M124, M133, M134, M135, M136, M137), on compte, par membrure, entre une et sept pointes rabattues deux fois (agrafes) contre une à quatorze pointes rabattues seulement une fois.

14. Les longueurs des pointes de clous sortantes varient entre 1 et 4,8 cm (mesures prises sur cinq varangues : M133, M134, M135, M136, M137). Lorsque les pointes dépassent les 3,5 cm de longueur, elles sont toujours rabattues deux fois. Les faibles dimensions des pointes de clous ressortant sur le dos des membrures expliquent aussi pourquoi, sur le dos de certaines varangues, on compte peu de pointes de clous rabattues alors qu'un certain nombre de têtes de clous sont visibles sur l'extérieur de la sole. Cela ne signifie pas que ces clous étaient à pointe perdue dans l'épaisseur de la membrure mais plutôt que les pointes de clous, peu longues, et donc fragiles, ont été cassées et ne sont, par conséquent, plus visibles.

15. Sur les chalands gallo-romains, on observe également souvent un assemblage croisé de la charpente transversale à la sole. Sur les épaves de Lyon, Parc St-Georges, les clous sont cependant enfoncés à pointe perdue et aucun ne ressort à la surface des membrures ou sur l'extérieur de la sole (Guyon 2010).



**Fig. 83 :** Positionnement des têtes et des pointes de clous sur le dos des membrures (en haut) et vue en transparence du positionnement des têtes et des pointes de clous sur l'extérieur de la sole d'après l'observation de quatre varangues (en bas).



**Fig. 84 :** Vue, sur l'extérieur de la sole et de part et d'autre d'un joint de virure, d'une pointe de clou rabattue correspondant à un clou enfoncé depuis le dos d'une varangue pour son assemblage à un bordage, et d'une tête de clou enfoncé depuis l'extérieur de la sole pour la fixation de la même membrure (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 85 :** Têtes de clous enfoncés depuis le dos d'une varangue pour sa fixation à la sole. Et pointes de clous rabattues sur le dos de la varangue correspondant aux clous enfoncés depuis l'extérieur de la sole (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



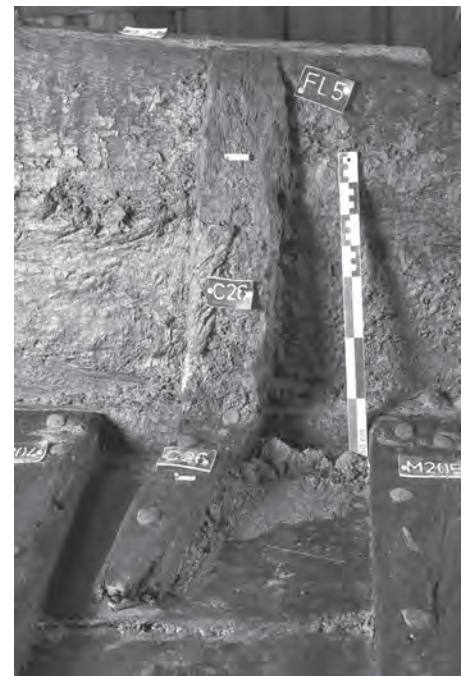
**Fig. 86 :** Tige de clou cassée et second clou enfoncé dans le même trou de passage pour la fixation d'une membrure à la sole (L. Damelet, CCJ/CNRS).

externe des bordages vers le dos de la membrure. Contrairement aux autres varangues, où les clous sont disposés en quinconce sur le dos des membrures, les clous sont ici répartis uniquement près des bords des deux faces latérales. L'épaisseur importante de cette pièce (de 8,5 cm à 12,5 cm dans sa partie centrale) fait que la plupart des clous sont à pointe perdue dans l'épaisseur de la varangue-emplanture et que très peu de clous présentent des pointes rabattues (seulement une pointe rabattue une fois sur le dos de la membrure et quatre pointes rabattues, également une fois, sur l'extérieur de la sole). Comme pour les autres varangues, trois clous sont également enfoncés au niveau de chaque ressaut pour l'assemblage de la pièce avec les bouchains dans lesquels ils s'enfoncent à pointe perdue.

Les courbes sont quant à elles assemblées à la sole au moyen de clous exclusivement insérés depuis l'intérieur (fig. 73) avec, comme pour l'assemblage des varangues, les pointes de clous rabattues systématiquement sur l'extérieur des bordages. On compte de un à trois clous (le plus souvent deux) par virure pour les retours horizontaux des courbes disposés côté sole. Ces clous sont enfoncés le plus souvent de façon légèrement décalée les uns par rapport aux autres de manière à former un schéma en W. Seule la courbe C16 présente un schéma de quatre clous alignés.

Les courbes sont également assemblées aux bouchains au moyen de un à trois clous enfoncés de manière oblique depuis l'intérieur, au niveau de leur angle d'ouverture (fig. 87), en direction des bouchains dans lesquels ils s'enfoncent, le plus souvent, à pointe perdue.

Les bras verticaux des courbes sont enfin assemblés aux bordés au moyen de clous enfoncés transversalement depuis l'intérieur, à raison de cinq à six clous par bras pour les courbes les plus grandes et sont, le plus souvent, à pointe perdue dans l'épaisseur des bordés de flanc en demi-tronc. Seuls les clous situés dans les parties hautes des courbes présentent des pointes rabattues sur l'extérieur des bordés de flanc F11 et F12, là où les pièces sont les moins épaisses (fig. 97). Comme pour l'assemblage à la sole, les clous disposés sur les bras verticaux des courbes sont également disposés selon un schéma décalé, en W.



**Fig. 87 :** La courbe C18 (C26 en n° subaquatique) (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

## Les bordés

### Définition, constitution et rôle des bordés

Dans la construction de type fluvial, les bordés correspondent aux flancs du bateau. Ils peuvent être constitués de plusieurs planches appelées – comme pour la sole – « bordages ».

Sur le chaland *Arlès-Rhône 3*, les bordés ont la particularité d'être composés de bordages massifs taillés dans des demi-troncs de sapin (*infra*, p. 190-191) – que nous appellerons « bordés de flanc en demi-tronc » – rehaussés par des éléments de plat-bord qui constituent les derniers bordages en élévation du bateau (fig. 48).

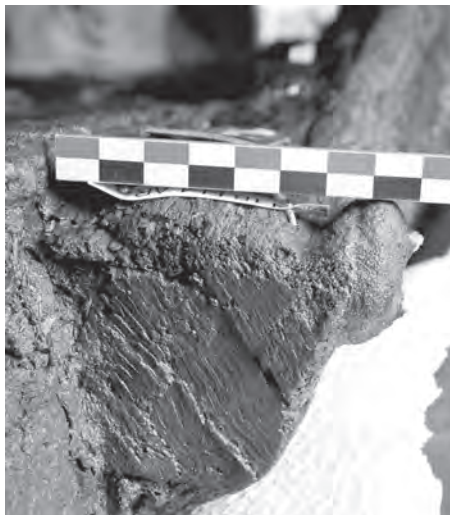


Fig. 89: Vue, en section, de l'arrière du bordé monoxyde de flanc FI2 (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



Fig. 88: Vue, de l'intérieur, de l'écart qui permet de passer du bordé monoxyde de flanc FI1 au bordé FI5, sur l'avant, à bâbord. Cet écart est bloqué par un étrier en fer (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

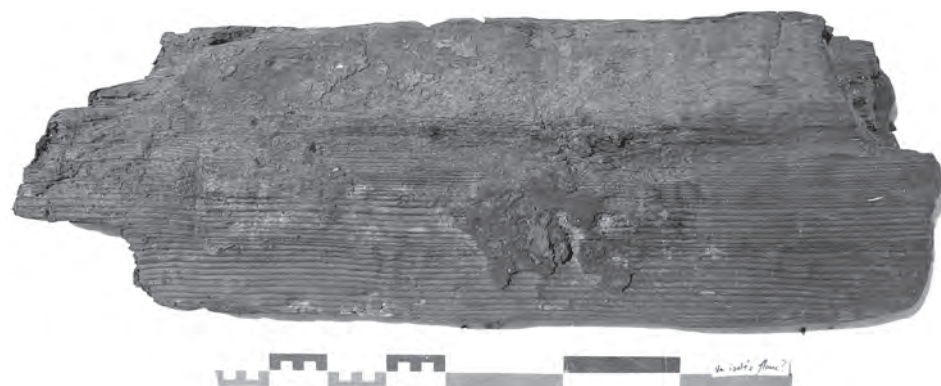


Fig. 90 : Face interne de la pièce FI3, prélevée en 2007 et non identifiée (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

#### Disposition et dimensions des bordés

Parfaitement symétriques, les deux bordés de flanc en demi-tronc principaux (FI1 et FI2), qui s'étendent de M95, sur l'arrière, à proximité de M137, sur l'avant, mesurent plus de 26 m de longueur (pl. II). Il s'agit de pièces débitées dans le même arbre, un sapin de très grande taille (*infra*, p. 190-192), qui présentent une hauteur maximale de 90 cm pour une épaisseur maximale de 21 cm et qui ont été ployées et façonnées pour leur mise en place (*infra*, p. 191) (pl. I, VIII et fig. 69)<sup>16</sup>.

Sur l'avant, ces bordés de flanc en demi-tronc sont prolongés par une autre pièce en demi-tronc, en épicéa pour FI5, à bâbord, et en sapin pour FI6, à tribord. Le passage d'un bordage à l'autre s'effectue au niveau de la membrure M133 jusqu'à la maille M136-M138 au moyen d'un écart en adent bloqué par un étrier en fer plat (pl. II). Ce dernier, de 4,8 cm de large, vient enserrer les deux pièces, depuis le plat-bord (*infra*), en y étant fixé, au moyen de clous, sur leurs faces interne et externe sur une hauteur de 42 cm (fig. 88)<sup>17</sup>. De dimensions plus modestes, les bordés de flanc en demi-tronc de la proue présentent une hauteur maximale de l'ordre de 45 cm pour une épaisseur de 12-13 cm sur l'arrière et d'environ 9,3 cm sur l'avant (fig. 65).

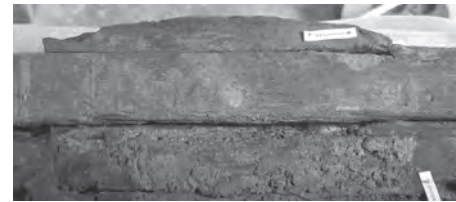
Sur l'arrière, le bordé de flanc en demi-tronc principal tribord (FI2), entièrement conservé bien que très érodé dans sa partie sommitale<sup>18</sup>, présente une coupe nette, droite, pour un écart bout à bout avec une pièce ultérieure, non conservée en place (fig. 89). Une pièce en sapin, de forme globalement rectangulaire avec une longueur maximale conservée de 72 cm pour une hauteur de 24 cm et une épaisseur comprise entre 4,4 cm à 7,2 cm a été découverte à proximité de l'extrémité arrière de l'épave (FI3) (pl. I). Bien que très abîmée, cette pièce a été sculptée et présente une surface aplanie enduite de résine (fig. 90). S'il a pu être envisagé que cette pièce, appartenant sans aucun doute à l'épave, venait prolonger FI2 sur l'arrière, déterminant ainsi l'extension maximale du bateau sur la poupe,

16. Ces dimensions maximales se situent au niveau de la membrure M127, sur le tiers avant du chaland.  
17. Sur l'épave du chaland gallo-romain découvert place Tolozan à Lyon, et daté du 1<sup>er</sup> s., un tel étrier a été découvert mais placé sur le can supérieur d'un des bordés monoxyde de transition (Rieth 2011, p. 69). Sans lien avec le renforcement d'un écart quelconque ou d'une réparation apparente, sa fonction demeure ici indéterminée.

18. Il manque sans doute une grande partie de la hauteur de la pièce (environ 30 cm puisque sa hauteur restituée est de 46 cm).

la présentation de cette pièce, dans le modèle 3D mais également sur le chaland en cours de remontage, conduit à rejeter cette hypothèse. Il a également été envisagé que cette pièce pouvait venir fermer le bateau, sur l'arrière, en étant positionnée de façon transversale sur le haut du seuil mais, là encore, les essais de remise en place ne sont pas concluants. Au final, les vestiges archéologiques conservés du bordé tribord s'achèvent sur l'écart franc de l'arrière du bordé de flanc en demi-tronc F12. L'arrière du chaland a par conséquent dû faire l'objet d'une restitution.

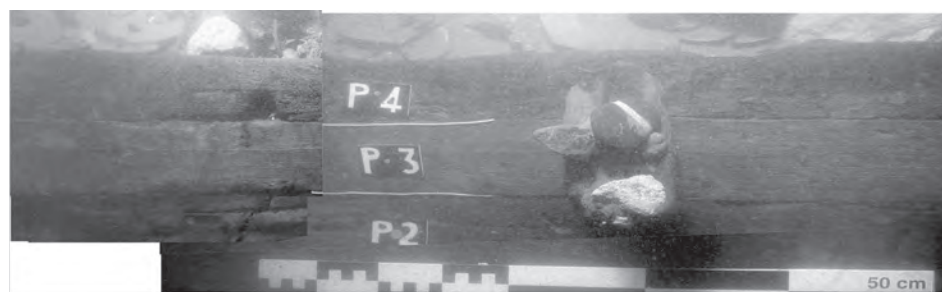
Sur l'ensemble du chaland, les bordés de flanc en demi-tronc sont surmontés, sur l'avant et sur l'arrière, par des planches de plat-bord en chêne de section trapézoïdale aux arrêtes sommitales arrondies (fig. 38, 91, 93) d'une largeur, à la base, de 4 à 5 cm pour une épaisseur maximum de 6 cm (P4 sur tribord arrière, P13-P19-P30 sur tribord avant, P6-P17 sur bâbord avant) (pl. II et fig. 91). Sur l'arrière comme sur l'avant, les planches de plat-bord viennent buter, à leurs extrémités, dans une petite encoche ménagée dans la face supérieure du bordé de flanc en demi-tronc ou d'une planche de réparation (*infra*, p. 151-152) (fig. 92). Comme le montre le sommet de ces plats-bords arrondi par l'érosion, ces pièces de bois étaient destinées à protéger le sommet des flancs des manœuvres de navigation répétées et concentrées à la proue et à la poupe du chaland.



**Fig. 92 :** Extrémité arrière du plat-bord P13 qui vient buter dans une encoche ménagée dans le can supérieur de la planche de réparation P15 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 91 :** Intérieur, sur bâbord avant, de la planche de plat-bord P17, disposée sur le haut du bordage de flanc F15 avec un orifice percé à l'intersection des deux pièces (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 93 :** Vue subaquatique du taquet fixé sur la planche de réparation P3, sur tribord arrière. De part et d'autre du taquet, le plat-bord P4 présente des traces d'usure (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

Liés aux passages de cordages, on observe régulièrement, sur ces planches, des aménagements et des traces d'usure. Ainsi, sur tribord arrière, deux traces d'usure (d'environ 10 et 7 cm de large) sont situées sur le can supérieur du plat-bord P4, de part et d'autre d'un taquet (fig. 93). Long de 11 cm, cet élément est disposé verticalement et à cheval sur les planches P3 et P4 auxquelles il est fixé au moyen d'un clou. On observe également, régulièrement aménagés le long du can inférieur des plats-bords (sur P4, P6, P13, P17), des évidements de forme semi-circulaire à circulaire percés en correspondance avec des évidements situés sur la planche inférieure (bordés de flanc en demi-tronc ou planche de réparation) (fig. 91). De 3,6 à 4 cm de diamètre, ces orifices présentent des bords usés liés au passage de cordages pour lesquels des fragments ont été conservés en place.



**Fig. 95 :** Vue, sur la section avant du tronçon T4, de la mise en place du bordé monoxyle de flanc bâbord (F1) de façon à ce que le bord inférieur de cette pièce vienne recouvrir le can du bordé monoxyle de transition BM1 (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 96 :** Vue, de face, des pointes de clous rabattues sur l'intérieur du bordé monoxyle de transition BM4 correspondant aux clous enfoncés depuis la base externe du bordé monoxyle de flanc FI2. Une planchette de réparation (Rep. 9) est également située sur le joint B4-BM4, entre les membrures M133 et M134 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 97 :** Vue, sur la face externe du bordé monoxyle de flanc FI5, de pointes de clous rabattues correspondant aux clous enfoncés depuis le dos de la courbe C20 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

**Fig. 94 :** Dimensions des bordés de flanc en demi-tronc du chaland.

Bordés de flanc en demi-tronc	F11	F12	F15	F16
Longueur totale (en m)		26,4	6,3	5,8
Longueur conservée (en m)	20,4			
Longueur restituée (en m)	26,3			
Hauteur max. mesurée (en cm)	90 (mesure prise au niveau de la section M126-M127)		46	44,5
Épaisseur max. mesurée (en cm)	21	21	12-13 (mesure prise sur l'arrière de F15)	

### Mises en place des bordés et assemblages

Les bordés de flanc en demi-tronc sont disposés de manière à ce que la face interne de leur bord inférieur vienne se positionner contre le can externe des bouchains auxquels ils sont assemblés au moyen de clous enfoncés de manière oblique, depuis leur base externe, en direction des bouchains sur l'intérieur desquels la pointe est rabattue (fig. 95 et 96)<sup>19</sup>. Lorsque les clous ressortent le long des ressauts des extrémités des varangues, les pointes ne sont pas rabattues en raison de la difficulté à effectuer cette opération. Et lorsque les clous pénètrent directement dans le ressaut des varangues ou dans l'épaisseur des courbes, les clous sont le plus souvent à pointe perdue. On enregistre également, sur tribord, deux cas où les pointes de clous sont ressorties au-dessus du bouchain, sur le tasseau, leur pointe étant alors rabattue sur cette pièce.

Les parties hautes des virures de bordé sont assemblées aux courbes au moyen de clous enfoncés depuis l'intérieur et à pointe perdue dans l'épaisseur des flancs. Dans la partie haute des bordés de flanc en demi-tronc, là où l'épaisseur des pièces est la plus faible, les pointes de clous peuvent cependant ressortir sur l'extérieur des flancs où leur pointe est alors rabattue. C'est le cas, à bâbord, pour les courbes C2 et C7 liées à F11 et, sur tribord, pour la courbe C20 liée à F15 (fig. 97).

### Les tasseaux

#### Définition des tasseaux

Selon la définition donnée dans le Grand Dictionnaire Universel du XIX<sup>e</sup> s. (Encyclopédie Larousse), un tasseau est un « petit morceau de bois qui soutient une tablette ». Il ne s'agit donc pas d'un terme usuel de marine. Ce mot a cependant été utilisé par Michel

19. Sur les épaves Ep. 2, Ep. 4, Ep. 5 et Ep. 7 de Lyon St-Georges qui présentent, comme sur AR3, des bordés monoxyles de transition associés à des bordés de flanc en demi-tronc, les clous, pour l'assemblage des bordés aux bouchains, sont enfoncés de la même manière mais sont en revanche enfoncés à pointe perdue dans l'épaisseur des bouchains (Guyon 2010, fig. 39, fig. 53, fig. 58). La même mise en œuvre, avec des pointes perdues, avait été observée pour l'assemblage des membrures à la sole (cf. note 15).



**Fig. 100** : Vue, sur bâbord, au niveau de la membrure M133 (M203 en n° subaquatique) de l'extrémité avant du tasseau Ta3 qui vient buter contre un décroché aménagé dans la face supérieure du bordé monoxyde de transition BM3 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 98** : Vue, en section, de la base du bordé monoxyde de flanc F12 apposé contre le bouchain BM2 que surmonte le tasseau Ta2 (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

Rival dès la première expertise (*supra*, p. 24-25) pour qualifier de longues pièces de bois fines de section carrée disposées de chaque côté du chaland, sur le haut des bouchains, et pour lesquelles il ne donnait pas d'explication concernant leur rôle ou fonction présumée (fig. 48). Lors du sondage et des fouilles les années suivantes, ce terme générique a été conservé et il s'est finalement avéré être parfaitement adapté à la fonction supposée que revêtent ces pièces dans le bateau.

#### Disposition et dimensions des tasseaux

Disposés de chaque côté du chaland, sur le haut des bouchains, les tasseaux sont plaqués contre les bordés de flanc en demi-tronc (fig. 75 et 98) et sont bloqués, contre leur face interne, par les saillies sculptées sur le haut des ressauts des extrémités des varangues (*supra*) (fig. 67 et 88).

Sur l'ensemble du chaland, on compte au total quatre longs tasseaux, deux disposés à bâbord et deux disposés sur tribord. Appelés Ta1 et Ta3 sur bâbord, Ta2 et Ta4 sur tribord, ils se répartissent de façon symétrique d'un bord à l'autre. Ainsi, les pièces Ta1 et Ta2 s'étendent depuis la maille M95-M96 sur l'arrière (c'est ce que révèle au moins Ta2 qui a été conservé) jusqu'à la membrure M110 pour Ta1 et entre M108 et M109 pour Ta2. À ce niveau les tasseaux Ta3, sur bâbord, et Ta4, sur tribord, prennent le relais jusqu'à la proue où ils viennent s'achever au niveau de la maille M133-M134, sur bâbord, et au niveau de la membrure M133, sur tribord (pl. II). De chaque côté, la jonction entre les tasseaux se fait au moyen d'un écart en biseau (fig. 99) au niveau duquel de la poix a été appliquée entre les jointures. La longueur totale de ces tasseaux est de 23,80 m à bâbord et de 22,95 m à tribord. De section quadrangulaire, proche du carré, leur section moyenne est de 5 cm de côté.

Sur tribord arrière, Ta2 s'achève avec un pan incliné qui se termine en pointe sur le bordage vertical BV2 sur la face supérieure duquel une encoche a été taillée pour recevoir l'extrémité du tasseau (fig. 44). De la même façon, les extrémités avant des tasseaux Ta3 et Ta4 viennent buter contre des encoches pratiquées sur la face supérieure des bordés monoxydes de transition BM3 et BM4 (sur BM3, la hauteur de l'entaille mesurée est de 6 mm, créant ainsi une légère butée) (fig. 100).



**Fig. 99** : Vue, au niveau de la membrure M110, de l'écart en biseau, sur tribord, pour le passage du tasseau Ta2 à Ta4 (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

Tasseaux	Ta1	Ta2	Ta3	Ta4
Longueur totale (en m)		7,5	14,33	15,45
Longueur conservée (en m)	4,98			
Longueur restituée (en m)	9,47			
Largeurs mesurées (en cm)	4 à 6	5 à 6	5 à 6	5 à 6
Hauteurs mesurées (en cm)	3,6 à 5,5	4,5 à 5	3,5 à 5,7	3,1 à 5,7

**Fig. 101** : Dimensions des tasseaux du chaland.





**Fig. 102** : Vue, dans la partie centrale de la coque, de l'assemblage du tasseau au bouchain et au flanc par des clous et de l'empreinte laissée par la traverse sur sa face supérieure (L. Roux, *O'Can-Ipsa Facto*, MdAa/CG13).

### Les assemblages

Disposés sur le haut des bouchains et plaqués contre les flancs, les tasseaux sont assemblés à la fois aux bordés monoxyles de transition et aux bordages verticaux des bouchains composés, sur l'arrière, ainsi qu'aux bordés de flanc en demi-tronc. Pour les bouchains, ils sont fixés au moyen de clous enfoncés verticalement depuis leur dos ; pour les flancs, ils sont fixés de la même manière au moyen de clous enfoncés transversalement depuis leur face interne (fig. 99 et 100). Dans les deux cas, les clous sont enfoncés à pointe perdue.

### Interprétation

Tout d'abord interprétées comme des pièces destinées à rehausser les bouchains, dans la mesure où les bordés monoxyles de transition sont des pièces qui présentent une faible hauteur (de l'ordre de 12 cm), permettant par ailleurs de renforcer l'assemblage des bordés de flanc en demi-tronc dans leur partie basse, les tasseaux ne semblent cependant pas avoir de rôle structurel propre. Leur assemblage aux flancs par de petits clous enfoncés dans ceux-ci à pointe perdue ne permet pas non plus de véritablement renforcer l'assemblage de ces pièces de flanc massives. Il s'agit en outre de pièces de petite section. Dans la partie centrale du chaland, les tasseaux sont sans aucun doute à mettre en relation avec le caisson : ils permettent de recevoir l'extrémité des traverses pour éviter que celles-ci ne reposent directement sur le dos des varangues où des longerons ont en plus été disposés avec une fonction similaire à celle des tasseaux (*infra*, p. 159-160). On retrouve ainsi, sur le dos des tasseaux, les empreintes légères à profondes des extrémités des traverses (jusqu'à 1,5 cm de profondeur) (fig. 102). Sous le poids du chargement, les tasseaux sont en outre parfois complètement déformés et aplatis. La présence des tasseaux se prolonge néanmoins au-delà du caisson, sur l'arrière jusqu'à la maille M95-96, et sur l'avant jusqu'à la maille M133-M134 (pl. I). Sur l'arrière, les tasseaux permettent de recevoir les jambettes (J1 à J6 conservés sur tribord) afin d'éviter que celles-ci prennent appui directement sur le haut du bouchain (*infra*). Sur l'avant, le prolongement des tasseaux sur quatre mailles au-delà de la fin du caisson ne trouve en revanche aucune explication directe en lien avec les vestiges archéologiques conservés. Les tasseaux devaient néanmoins eux aussi permettre, au départ de la levée de poue, de pouvoir disposer, en cas de nécessité, un plancher transversal qui ne reposait pas directement sur le dos des membrures.

## Le barrotage

### Définition, constitution et rôle des barrots

Les barrots, ou baux, sont des pièces transversales de la charpente d'un bateau, allant d'un bord à l'autre, et servant à soutenir le plancher d'un pont tout en augmentant la résistance de la coque à la pression latérale de l'eau.

Le chaland *Arles-Rhône 3*, comme tous les chalands gallo-romains découverts à ce jour, compte très peu de barrots. Deux sont présumés sur l'arrière et n'ont pas été conservés. Sur l'avant, le banc de mât, ou banc d'étambrai, qui sert au passage et au maintien du mât, joue également le rôle de barrot en permettant de maintenir l'écartement des flancs (fig. 48).

### Sur l'arrière

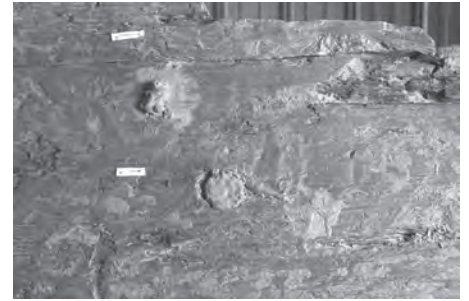
Sur l'arrière, la présence de barrots est révélée par la découverte d'une planche-support longitudinale (P1) clouée sur le haut de la face interne du bordé de flanc en demi-tronc tribord (F12) (pl. I et fig. 45). Cette planche, qui vient buter sur l'arrière contre la courbe C3, mesure 3,20 m de longueur et présente une section quadrangulaire de 9 cm de largeur pour 4 cm d'épaisseur. Elle est soutenue par une série de six jambettes (J1 à J6) (h. 35,5 à 40 × larg. 2,8 à 7 × ép. 2,5 à 7 cm) qui prennent elles-mêmes appui sur le tasseau disposé sur le haut du bouchain. Ces pièces sont fixées au flanc au moyen d'un clou unique par pièce. La planche P1 présente deux encoches rectangulaires (16 × 3 cm) ménagées dans son can supérieur, selon un écartement de 55 cm. Aucune pièce n'est en place dans ces encoches mais elles étaient certainement destinées à recevoir des barrots.

Le même type d'aménagement devait se trouver sur bâbord mais, de ce côté, tout le flanc arrière a disparu (*supra*, p. 77), expliquant également la disparition des barrots présumés.

Maintenant l'écartement des flancs au niveau de la poue, il est possible que ces barrots aient également permis de recevoir non pas un pont mais une petite plateforme à mettre en relation avec la pelle de gouverne et la direction du bateau (*infra*, p. 226).

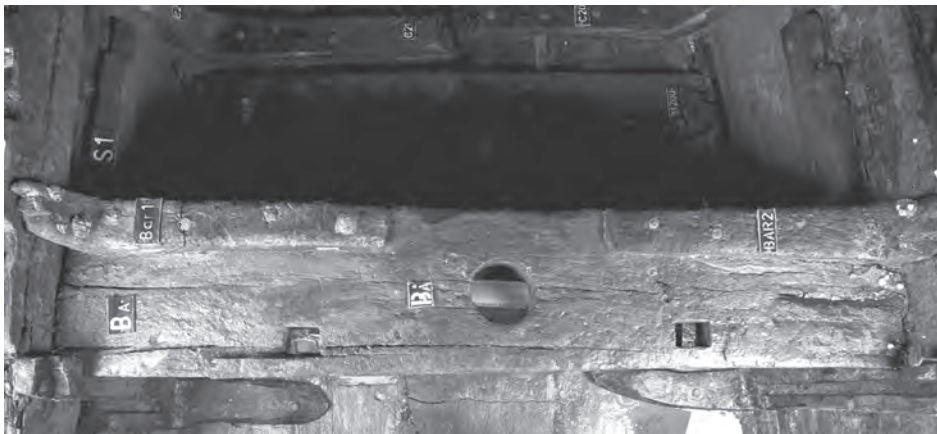
### Sur l'avant

Comme pour l'arrière, où les barrots présumés sont situés à l'endroit où les flancs se resserrent, le barrot avant est localisé au point qui marque la fermeture d'angle à la poue.



**Fig. 105 :** Tête de broche enfoncée depuis l'extérieur du bordé monoxyde de flanc F11 pour l'assemblage du banc de mât et pointe de clou rabattue correspondant à l'assemblage de la pièce de support longitudinale sur laquelle repose le banc (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

**Fig. 103 :** Vue du tronçon T8 avec le complexe du banc de mât (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 104 :** Banc d'étambrai vu du dessus (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

Situé à l'aplomb de la varangue-emplature (*supra*, p. 91-92), ce barrot correspond au banc d'étambrai destiné au maintien et au passage du mât. Soumis à des efforts importants, il repose ici sur des pièces de support longitudinales, auxquelles il est fixé, et est maintenu par-dessus grâce à des courbes (fig. 103 et 182).

Le banc, de fort échantillonnage, est de dimensions sensiblement équivalentes à celles de l'emplature, soit une longueur de 216 cm pour une largeur de 40,8 cm et une épaisseur de 13,5 cm. Il est percé en son centre d'un orifice circulaire de 16 à 16,5 cm de diamètre destiné au passage du mât (fig. 104). De part et d'autre de cet orifice, deux mortaises latérales ont été percées en arrière de la pièce. Il s'agit de deux mortaises de forme quadrangulaire, de 9,2 cm sur 6,1 cm, traversant l'épaisseur du banc. Ces deux mortaises ne sont pas tout à fait en vis-à-vis avec celles découvertes sur l'emplature ; elles sont en effet très légèrement décalées dans la mesure où elles sont moins écartées sur le banc que sur l'emplature. Aucune épontille n'a cependant été découverte en place dans ces aménagements.

Du point de vue des assemblages, cette pièce est fixée aux bordés de flanc en demi-tronc au moyen de deux broches insérées, pour chacune, de façon transversale depuis l'extérieur de chaque flanc et enfoncées à pointe perdue dans l'épaisseur du banc (fig. 105).

Le banc repose sur deux pièces de support longitudinales (S1 à bâbord et S2 à tribord) dont les cans supérieurs présentent une encoche sur l'avant et sur l'arrière, cette dernière étant destinée à recevoir le banc et à le bloquer sur l'avant (fig. 106). Parfaitement symétriques, les deux pièces mesurent 102 cm de longueur pour une largeur minimum de

**Fig. 106 :** Vue, de face, de la pièce de support S2 située contre la face interne du bordé monoxyde de flanc en demi-tronc Fl2, sur laquelle reposait (sur le décroché arrière avec la petite cale en place) le banc de mât (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



9,4 cm (S1) et 8,2 cm (S2), une largeur maximum de 17,2 cm (S1) et 17 cm (S2), et une épaisseur de 5,4 cm. Elles sont fixées aux bordés au moyen de gros clous essentiellement enfoncés depuis la face interne des pièces et à pointe perdue dans l'épaisseur des bordés de flanc en demi-tronc. Seule une pointe rabattue, correspondant à un clou enfoncé depuis l'extérieur du bordé de flanc tribord, a été enregistrée sur la face interne de S2. Entre cette pièce, disposée à tribord, et le banc d'étambrai, une petite cale, de 17 cm de longueur conservée (il manque toute la partie avant de cette cale) pour une largeur de 5,3 cm et une épaisseur de 3,2 cm a été disposée sur l'encoche arrière (fig. 106). La pièce S2 n'étant pas tout à fait positionnée à l'horizontal, la fonction de cette cale était sans doute de mettre le banc à niveau avec le côté bâbord. Bloqué sur l'avant par ces pièces de support, le banc de mât est également maintenu, sur l'arrière, par l'encastrement de toute son épaisseur dans un décroché découpé sur le can avant des bras verticaux des « courbes-glissières ».

Le banc d'étambrai est également maintenu, par-dessus, par deux courbes (Bar 1 à bâbord et Bar 2 à tribord) fixées sur sa face supérieure, dans sa partie avant (fig. 103 et 104). Ces deux courbes sont liées à la fois au banc au moyen de clous enfoncés verticalement depuis la face supérieure des pièces et à la fois aux bordés au moyen de clous transversaux enfoncés depuis le bras vertical des courbes. Les clous sont enfoncés à pointe perdue dans l'épaisseur du banc. C'est aussi le plus souvent le cas pour l'assemblage aux bordés de flanc en demi-tronc mais on note cependant, de chaque côté du bateau, un clou plus important qui présente une pointe rabattue sur l'extérieur du flanc (fig. 105). Dans leur partie supérieure, ces deux courbes présentent chacune un aménagement en équerre découpé sur l'arrière de la pièce (fig. 103 et 104). Comme pour les aménagements du haut des courbes de la partie centrale du chaland (*supra*, p. 94-95), ce décroché peut sans doute également être mis en relation avec le maintien de fargues amovibles (*infra*, p. 163).

Très peu de banc d'étambrai ont été découverts sur les épaves de chalands gallo-romains. Seules les épaves *Zwammerdam 4* (Pays-Bas, 1<sup>er</sup> s.), *Woerden 1978* (Pays-Bas, dernier quart du II<sup>e</sup> s.) et *Woerden 1988* (Pays-Bas, indéterminé) ont livré un barrot servant de second point d'appui à la fixation du mât (Arnold 1992b, p. 78, 81 et 82). Sur les deux premières épaves, l'orifice, pour le passage du mât, de forme circulaire, est percé sur le bord du banc pour permettre l'abattage du mât lorsque celui-ci n'est pas bloqué sur l'arrière. Le barrot muni d'un trou central découvert sur l'épave de la petite barque *Woerden 1988* correspond au même type de banc d'étambrai que celui découvert sur *Arles-Rhône 3*.

## Les levées

### *Définition et fonction des levées*

Les levées correspondent aux parties relevées de la sole, à l'arrière et à l'avant, pour la fermeture des extrémités des bateaux fluviaux. La courbure vers le haut, entre le départ de la levée et l'extrémité du bateau, peut être plus ou moins importante mais toujours de façon à positionner la levée au-dessus du niveau de l'eau. Très souvent, la courbure s'accompagne d'un rétrécissement en largeur. La levée permet au bateau d'aborder frontalement un quai ou une berge en pente et de s'y échouer en partie afin de charger ou décharger le fret par l'avant. Sa forme est par ailleurs adaptée à l'espace de navigation

dans lequel il évolue. Du point de vue architectural, la levée peut être intégrée à la sole, impliquant alors un ployage des bordages, ou rajoutée et assemblée à la sole.

#### *La levée arrière*

Sur le chaland *Arles-Rhône 3*, la levée de poupe s'amorce en arrière de M102, soit juste avant le positionnement du caisson central (pl. II et III). Il s'agit d'une levée intégrée à la sole avec un ployage des bordages sur l'arrière. Celle-ci est ainsi constituée des bordages de sole B3, B1 et B2 qui se relèvent et se resserrent pour ne plus conserver, au niveau du seuil, que les seuls bordages B1 et B2 pour une largeur restituée de 48 cm. Pour réaliser la levée, selon l'angle souhaité, les planches ont été ployées, comme le suggère l'observation de la faible variation de débitage observée d'un bout à l'autre de la pièce à partir des coupes transversales de B1 relevées au niveau de chaque tronçon (*infra*, p. 176-177), sans doute à chaud. Les bordés de flanc principaux (F11 et F12) ont également dû être ployés pour la réalisation de la levée arrière (*infra*, p. 191).

C'est aussi au niveau de la levée arrière que les bordés monoxyles de transition principaux (BM1 et BM2) s'achèvent, prolongés par des bouchains composés. Ce passage s'explique ici par une rupture dans l'angle de la levée et l'impossibilité de ployer des pièces de bois monoxyles sculptées que sont les bouchains composés.

La levée arrière compte également six varangues (M95 à M101) et une seule paire de courbes affrontées (C3 et C4).

Il est également probable que deux barrots maintenaient, à l'origine, l'écartement entre les flancs du bateau au niveau de cette levée arrière. Ces barrots devaient par ailleurs permettre de supporter une plateforme sur laquelle prenait place le timonier (*infra*, p. 226).

Au final, la longueur de la levée arrière est de 5,85 m pour une hauteur, à l'extrémité de la poupe, de 34 cm ; la pente moyenne, pour son angle de relèvement, est donc de 3,3°<sup>20</sup>. Il s'agit ainsi d'une poupe à levée à seuil étroit pour lequel, à l'image de la réplique navigante *Altaripa*, un tableau de fermeture a été restitué (*infra*, p. 226).

#### *La levée avant*

##### **Du bois...**

La levée de proue s'amorce en avant de l'emplanture de mât, au niveau de la membrure M131 (pl. II).

Il s'agit également d'une levée intégrée à la sole avec un ployage des bordages sur l'avant. Celle-ci est constituée des bordages de sole B3-B8 (qui forment la virure bâbord), B5 et B4 qui se relèvent et se resserrent pour ne plus conserver, au niveau de l'extrémité de la proue, que le seul bordage B8 pour une largeur de 16,30 cm.

Les planches, à l'image du chaland de Bevaix (Arnold 1992a, p. 58 ; 1999, p. 115-131), ont été ployées à chaud. Les coupes transversales effectuées sur B5, comme pour B1 sur l'arrière, montrent en effet que le débit de cette planche varie très peu d'un bout à l'autre (*infra*, p. 176-177). De même, les bordés de flanc principaux (F11 et F12) ont été ployés sur l'avant (*infra*, p. 191).

C'est aussi au niveau du départ de la levée avant que des aménagements complexes concernant les bouchains ont été mis en œuvre. Rappelons en effet ici que les retours verticaux des bordés monoxyles de transition (BM1-BM3 à bâbord et BM2-BM4 à tribord) participent de bouchains composés avec les bordages latéraux secondaires B7 et B6 (fig. 57). Ce type d'aménagement, qui ne trouve pas de parallèles dans la batellerie fluviale gallo-romaine, est sans aucun doute lié au relèvement de la coque qui ne permettait pas de ployer des pièces sculptées de type monoxyle, telles que les bouchains BM1 et BM2<sup>21</sup>.

Egalement en raison de l'angle de relèvement, c'est aussi au niveau de la levée de proue que se situent les écarts pour le passage des bordés de flanc en demi-tronc principaux F11 et F12 aux bordés de flancs situés à la proue (F15 et F16).

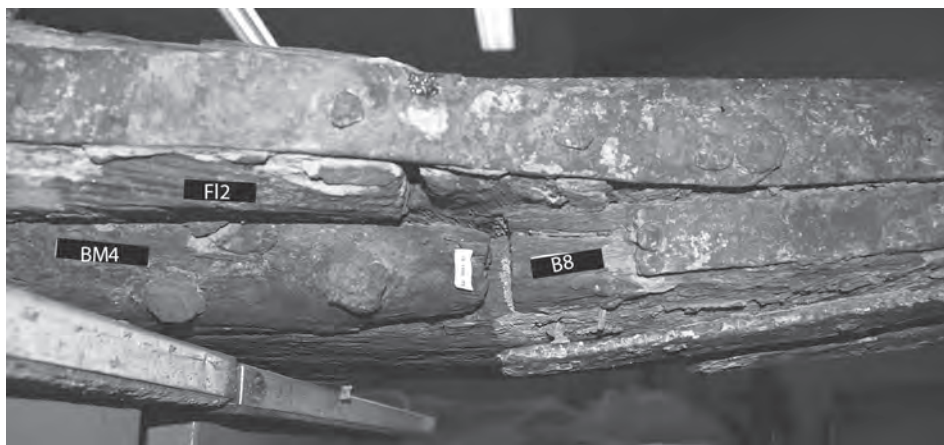
La levée avant compte aussi onze varangues (M131 à M141) et deux paires de courbes affrontées (C13-C14 et C18-C19) ainsi que deux courbes disposées, seules, sur tribord (C15 et C16) et une seule disposée sur bâbord (C20).

À 64 cm de l'extrémité de la proue, le bordage B8 présente une découpe en forme de pointe de flèche avec deux encoches contre lesquelles viennent buter les extrémités du bordage vertical BV3 du bouchain composé, à bâbord, et celles de la partie verticale du bordé monoxyle de transition BM4, à tribord (fig. 51 et 107). C'est aussi à ce niveau que viennent s'achever les extrémités des bordés de flanc en demi-tronc F15 et F16 qui présentent alors une épaisseur amoindrie de 5 cm chacun. À ce niveau, une série de cinq planchettes transversales, de 10,5 cm à 15,4 cm de largeur pour 3 à 4 cm d'épaisseur, sont clouées sur la face interne de B8, sur une longueur de 65 cm (fig. 108) ; enfoncés verticalement depuis l'intérieur, ces clous sont à pointe perdue dans l'épaisseur du bordage. Tandis que les planches disposées en avant de la première présentent une forme trapézoïdale

20. L'angle a été mesuré sur le relevé 3D entre le point de départ de la levée et l'extrémité de la poupe, en ligne droite, sans tenir compte de l'arrondi de la sole.

21. De fait, les écarts entre les retours verticaux des bordés monoxyles de transition (BM1-BM3 à bâbord et BM2-BM4 à tribord) se situent en arrière du départ de la levée.

**Fig. 107 :** Vue de la face latérale tribord de la proue (S. Marlier).



**Fig. 108 :** Vue de l'extrémité de la proue, après déconcrétionnement des éléments métalliques, qui met en évidence les planchettes transversales, en avant de la pièce pyramidale (S. Marlier).



avec les cans externes découpés de façon à épouser parfaitement la largeur de B8 qui se resserre, la première de ces planches présente une découpe de son can arrière, formant un petit pan incliné, qui vient s'arrêter au niveau des extrémités des pièces FI5 et FI6. L'ensemble de ces planches était recouvert d'une épaisse couche de poix (fig. 39 et 108). Par-dessus les deux premières planches transversales, une autre pièce transversale de forme pyramidale, de 22,4 cm de longueur pour une largeur de 8,5 cm et une hauteur de 3,4 à 6,3 cm au point le plus haut, y est fixée au moyen de clous enfoncés verticalement depuis la face supérieure de cette pièce (fig. 108 et 109). Elle présente, dans sa partie centrale, un orifice circulaire de 3,6 cm de diamètre qui traverse la pièce de part en part, longitudinalement au bateau, et dans lequel les fragments d'un cordage, posés sur un résidu de poix, ont été retrouvés. Ceux-ci sont probablement à mettre en relation avec le fragment de cordage retrouvé plus en arrière, au niveau des membrures M138 et M139 (*infra*, p. 216-217; fig. 275), qui devait aussi passer dans les orifices circulaires percés dans la largeur des deux dernières membrures, M140 et M141 (fig. 65).

#### ... et des renforts métalliques

Ainsi constituée, l'extrémité de la proue est cerclée par des bandes métalliques en fer qui viennent la ceinturer à la fois sur les côtés, de façon latérale sur bâbord et sur tribord, et à la fois par-dessus et par-dessous, de façon longitudinale également sur bâbord et sur tribord (fig. 2, 51, 107 et 109).

Latéralement, une première plaque métallique est fixée, à bâbord, contre le bordé de flanc en demi-tronc FI5. De forme lancéolée, l'extrémité arrière de cette plaque se ter-



**Fig. 109 :** *Vue de trois-quarts de l'extrémité de la proue du chaland (S. Marlier).*



**Fig. 110 :** *Vue, sur bâbord, de la plaque métallique latérale qui est décollée du bois de la coque avec notamment trois clous qui ont sauté et n'ont pas été remplacés (S. Marlier).*

mine par un retour sous forme de bande verticale de 3,5 cm de large qui vient enserrer la partie sommitale de F15 pour redescendre, un peu en arrière de M139, sur sa face interne sur environ 15 cm, formant ainsi une sorte d'étrier. Depuis son extrémité lancéolée, cette plaque se développe sur 2,48 m, en se rétrécissant, jusque sur l'extrémité de la proue qu'elle vient enserrer et continue ainsi, à tribord, jusqu'au niveau de la deuxième planche transversale située sur l'extrémité de la proue. À ce niveau, une deuxième plaque métallique, également de forme lancéolée, prend le relais et se déploie sur 2,08 m, jusqu'au niveau de la maille M139-M140 où, quelque peu décalée en avant par rapport à bâbord, cette bande se termine également par un retour vertical avec une bande métallique de 3,7 cm de large qui vient enserrer le haut du bordé de flanc en demi-tronc F16 où elle s'arrête, sans redescendre sur la face interne du bordé. Au niveau de l'extrémité de la proue, ces plaques métalliques se divisent par ailleurs en deux, sur les faces latérales du bordage B8, avec un retour de la bande verticale inférieure qui vient s'arrêter, de chaque côté, un peu avant l'extrémité des pièces BV3 et BM4 participant des bouchains composés, à bâbord et à tribord. Ces deux plaques lancéolées sont toutes deux fixées au moyen de clous aux faces latérales des bordés de flanc F15 et FL6, ainsi qu'aux cans de l'extrémité du bordage B8 et des planches transversales qui le recouvrent. Enfoncés depuis l'extérieur, les clous sont répartis selon un schéma en quinconce, au niveau de la forme lancéolée, et selon un alignement horizontal, sur l'avant, et vertical sur les bandes situées sur l'arrière.

Longitudinalement, deux bandes métalliques sont disposées sur le haut des pièces de bouchains BV3 et BM4; elles courent depuis la membrure M138, sur une longueur de 2,72 m, et viennent enserrer l'extrémité de la proue en passant par-dessus les plaques

## La monnaie votive du chaland

Joël FRANÇOISE

**Fig. 111a et 111b :** La monnaie votive du chaland : un denier en argent frappé à Rome en 123 av. J.-C.  
Poids : 3,37 g ; diam : 23 mm.

Au droit se trouve une tête casquée de Rome à droite dans un cercle de grénétis avec un X derrière la nuque.

Au revers se trouve une Victoire sur un bige à droite, tenant un fouet de la main droite et les rênes de la gauche ; dans un cercle de grénétis avec la légende en dessous C. CATO. À l'exergue : ROMA (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).



Lors de la fouille et du démontage d'une partie de la structure du chaland *Arles-Rhône 3*, une monnaie a été découverte, coincée entre deux éléments en bois de la coque, à la proue. Elle était posée sur le bordé monoxyle de transition BM4 à tribord, sous le tasseau Ta4, au niveau de la varangue M133. Sa position ne laisse pas de doute quant au caractère volontaire du dépôt qui n'a pu se faire que pendant l'assemblage des pièces de construction du bateau (pl. I).

Il existe d'autres exemples de dépôts volontaires de monnaies au sein des éléments de bois constituant l'ossature des navires (Carlson 2007). Pour la période antique, les plus anciennes découvertes sont datées du II<sup>e</sup> s. av. J.-C. et ne concernent que le monde romain. Cette tradition a perduré jusqu'à l'époque contemporaine dans de nombreuses contrées maritimes. Les monnaies découvertes sur les épaves antiques sont en général déposées dans la cavité de l'emplanture destinée à recevoir le pied de mât (Marsden 1965). La monnaie du chaland *Arles-Rhône 3*, disposée à la proue, serait donc une exception. Il existe néanmoins d'autres épaves plus tardives sur lesquelles les monnaies ont été retrouvées non pas dans le massif d'emplanture, mais au niveau de la charpente axiale (entre la quille et l'étambot ou entre la quille et l'étrave) (Henningsen 1965 ; Carlson 2007, p. 318). C'est souvent le cas sur les bateaux où les mâts pouvaient être abaissés ou démontés ; pour éviter le vol de la monnaie votive, nous dit Peter Marsden (1965), celle-ci était alors placée dans un endroit inaccessible.

L'endroit généralement choisi pour déposer les monnaies était significatif. Le pied de mât était une pièce maîtresse de la structure du navire. Les monnaies étaient placées dans la cavité d'emplanture et recouvertes par le pied de mât. Il était donc impossible de les récupérer, à moins d'enlever le mât. Dans le cas de la barge *Arles-Rhône 3*, le mât était un mât de halage, donc amovible pour des facilités de navigation sur le fleuve. Par conséquent, la cavité d'emplanture n'était pas appropriée pour y placer une monnaie et les constructeurs ont choisi de la déposer entre deux pièces d'architecture, à l'avant de la coque, afin d'assurer la pérennité de leur dépôt.

Le caractère volontaire du dépôt d'*Arles-Rhône 3* confère à cette monnaie un aspect votif que l'on peut définir comme une monnaie de fondation. De nombreux parallèles existent en archéologie terrestre avec des monnaies placées sous des seuils ou contre la base des murs (Roure, Pernet (dir.) 2011). Ces dépôts seraient des talismans susceptibles d'attirer la prospérité et d'éloigner le malheur et l'on peut supposer que ce rituel était aussi pratiqué par les charpentiers de marine et les marins eux-mêmes (Carlson 2007, p. 322).

La monnaie d'*Arles-Rhône 3* est un denier de la République romaine de la *gens Porcia* au nom de C. Cato, frappé à Rome en 123 av. J.-C. (Crawford 2008, p. 294, n° 274) (fig. 111a et 111b). Plusieurs contremarques sont visibles au droit : sur la joue, un croissant ; devant le nez, une croix (?); et devant les lèvres, un M. L'ensemble de ces contremarques indique que cette monnaie a été régulièrement contrôlée avant son utilisation comme monnaie votive.

Il s'agit d'un denier romain en argent dont le pouvoir libératoire était important au début de notre ère. On estime qu'il équivalait à une journée de travail d'un ouvrier. En l'état actuel des connaissances, ce dépôt d'une monnaie d'argent est isolé : l'étude des découvertes monétaires dans les épaves antiques montre que l'on déposait plutôt des espèces divisionnaires et principalement des as (Carlson 2007, p. 319)<sup>22</sup>.

Le denier retrouvé pris entre deux éléments d'assemblage du chaland *Arles-Rhône 3* témoigne de la religiosité ou de la superstition d'une corporation de bateliers. Pour conjurer le sort, le constructeur ou le propriétaire du chaland a probablement prélevé un denier de sa bourse pour le déposer dans un endroit inaccessible après assemblage des différentes pièces de bois constituant la charpente du bateau.

22. Au I<sup>er</sup> s. ap. J.-C., un denier d'argent valait 16 as de cuivre. Signalons qu'à l'époque moderne, ce sont des louis d'or, ou au moins des monnaies d'argent, qui faisaient office de dépôts votifs. Dans un article de 1965, H. Henningsen recense des enregistrements de cette pratique jusque dans les années 1950 en Angleterre, aux États-Unis et dans les pays d'Europe du Nord. En France, cette pratique était encore en usage très récemment, en lien avec les navires de pêche. Ainsi, sur le littoral méditerranéen, «une monnaie en or se mettait au fond de la mortaise du pied de mât» sur les navires de pêche de Sète (information communiquée par M. A. Aversa, charpentier de marine des chantiers Aversa, de Sète). Sur les bords de la Manche, le dépôt d'un louis d'or sous le pied de mât était encore pratiqué sur les chalutiers de pêche de Basse-Normandie (information M. E. François, patron pêcheur dans les années 1950). P. Marsden (1965) nous dit que cette pratique est finalement liée à la marine en bois et qu'elle se serait arrêtée avec la construction des navires en fer.

métalliques latérales (fig. 2 et 338) pour venir se fixer sous le bordage B8, sous lequel elles se poursuivent sur une longueur de 65 et 44 cm (fig. 51). Larges de 3,8 cm (bâbord) et 4,1 cm (à tribord) et épaisses de 1 à 1,8 cm, ces renforts métalliques sont également fixés au bois au moyen de clous, selon un écartement d'une trentaine de centimètres.

Sur l'épave *Zwammerdam 6* (Pays-Bas, I<sup>er</sup>-III<sup>e</sup> s.), on retrouve ce même type de cerclage métallique qui vient protéger les contours de la levée de proue (de Weerd 1988b, p. 159, fig. 85 et 86).

Ces éléments métalliques, qui viennent véritablement ceinturer la proue, ainsi que l'ensemble des éléments transversaux (planches et pièce pyramidale) fixés sur l'extrémité du bordage de sole B8, ont pour objectif évident de renforcer cette extrémité filiforme, et donc fragile du bateau, notamment dans le cas d'échouages ou de manœuvres d'évitage que le chaland aurait pu réaliser par appui sur la proue<sup>23</sup>. Ces renforts ont aussi un rôle de protection évident, dans le cas de chocs collatéraux (autre bateau, tronç à la dérive...). Sur bâbord, on observe d'ailleurs que la plaque métallique latérale, en arrière des planches transversales fixées sur le bordage B8, est décollée du bois de la coque et que trois clous ont sauté et n'ont pas été remplacés (fig. 109 et 110). Il s'agit à l'évidence d'un décollement qui n'a pas été réparé et sans doute à mettre en relation avec un choc important que le bateau a dû prendre, de façon symétrique, sur tribord. De face, un léger décalage des bandes métalliques latérales sur tribord et bâbord est en effet visible (fig. 42). Reste à savoir à quel moment a pu se produire le choc et s'il pourrait être en lien avec la cause du naufrage.

Si la fonction première de renfort de cette armature métallique fixée sur l'extrémité de la proue est indéniable, il est aussi évident que les constructeurs se sont appliqués à faire en sorte que cette structure soit aussi esthétique. La forme lancéolée des plaques latérales, leur fixation au moyen de clous disposés selon un schéma en quinconce et symétrique d'un bord à l'autre, ainsi que le développement de ces plaques avec les bandes longitudinales laisse clairement deviner une volonté de rendu symétrique et harmonieux de la part des constructeurs pour cette partie du bateau visible depuis l'extérieur. Sur la « mignole » de la Meuse, des ferrures métalliques, disposées sur l'avant et l'arrière du bateau dans le but de renforcer les extrémités du bateau, présentent, de la même façon, un effet décoratif (Beaudouin 1985, p. 225-226). Au final, la levée de proue est de type fuselé. Sa longueur est de 7,70 m pour une hauteur, à l'extrémité de la proue, de 75 cm et son angle de relèvement<sup>24</sup>, en pente moyenne, est de 5,6°.

## Analyse du système architectural

Sabrina MARLIER

La construction du chaland *Arles-Rhône 3* met en œuvre très peu de virures pour la composition de la sole : trois grandes virures longitudinales, constituées chacune de deux bordages de grande largeur (fig. 49 et pl. II). Afin de ne pas affaiblir la rigidité longitudinale du fond, les joints, pour la liaison des bordages de chaque virure, ne se situent pas au même endroit. Les bordages, disposés à franc-bord, ne sont par ailleurs pas assemblés entre eux, à l'exception de leurs extrémités qui sont fixées au bordage adjacent au moyen de quelques clous transversaux. À ces trois longues virures viennent s'ajouter deux petits bordages latéraux secondaires (B6 et B7) qui sont mis en place au niveau de l'emplanture de mât. Leur rôle est lié à l'agencement des bouchains sur l'avant (fig. 57).

L'utilisation combinée et alternée de bouchains de type monoxyle (bordés monoxyles de transition) et, localement, de bouchains de type composé, selon un aménagement parfaitement symétrique d'un bord à l'autre, est singulière dans la batellerie gallo-romaine. Les chalands étudiés jusqu'à présent en Europe révèlent en effet soit le recours exclusif à des bordés monoxyles de transition – et c'est le plus souvent le cas – soit, de façon plus rare, uniquement à des bouchains de type composé<sup>25</sup>.

L'agencement, ici, entre bouchains monoxyles et bouchains composés est aussi rendu complexe en raison du type d'écart mis en place pour le passage de l'un à l'autre avec notamment des écarts très complexes à la proue qui combinent à la fois des écarts simples, pour la partie horizontale des bordés monoxyles de transition, et des écarts à mi-bois ou en biseau, pour la partie verticale qui continue parfois sur près de 2,50 m de longueur (pour BM2), au-delà de la terminaison de la partie horizontale.

Ce type d'agencement n'est sans doute pas à mettre en relation avec des questions d'approvisionnement en bois de chêne dans des dimensions importantes puisque les constructeurs ont pu mettre en œuvre, dans ce chaland de 31 m, des pièces de bordés

23. L'évitage consiste, pour un bateau, à manœuvrer pour faire un demi-tour. Cette manœuvre est notamment réalisée lorsqu'un bateau descend le courant et qu'il souhaite accoster (sur un fleuve, un bateau est toujours amarré proue face au courant. *Infra*, p. 264). Il peut alors s'appuyer sur une ancre mouillée à cet effet, par l'avant, ou sur une haussière frappée sur un point d'ancrage fixé à terre (bitte d'amarrage, arbre...). Mais il peut aussi envoyer l'avant du bateau dans la berge du fleuve. Dans le cas du chaland AR3, le recours à la manœuvre d'évitage par appui sur la proue pourrait ainsi expliquer la présence de renforts métalliques à cet endroit. Nous remercions ici M. P. Feron, doctorant en archéologie navale à l'université Paris I, pour ses éclairages sur la question.

24. Comme pour la poupe, l'angle a été mesuré entre le point de départ de la levée et l'extrémité de la proue, en ligne droite.

25. Parmi les six épaves gallo-romaines découvertes sur le site de Lyon St-Georges, cinq de ces épaves (*Ep. 2*, *Ep. 3*, *Ep. 4*, *Ep. 5* et *Ep. 7*) présentent des bordés monoxyles de transition tandis que seule l'épave *Ep. 8* présente des bouchains de type composé (Guyon 2010, p. 49, 57, 65, 76, 85 et 88 ; Rieth 2010b, p. 99-100). Selon B. Arnold, cette dernière technique prendra un essor considérable au Moyen Âge pour finalement supplanter totalement celle des bouchains sculptés (Arnold 1992b, p. 81).





**Fig. 112 :** *Photogrammétrie de la coque du chaland Arles-Rhône 3, après le remontage de ses éléments (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).*

monoxyles de transition mesurant près de 20 m. Ce n'est sans doute pas par hasard non plus que ces bordés monoxyles de transition viennent se terminer au niveau de l'emplanture de mât et, qu'à ce niveau, seules leurs parties verticales, assemblées aux retours verticaux des bordés monoxyles de transition de la proue (BM3 et BM4), sont conservées et viennent former un bouchain composé avec les bordages de sole secondaires de la coque (B6 et B7), ces derniers étant introduits spécifiquement ici dans le seul objectif de former ce type de bouchain (fig. 57). Le secteur de l'emplanture de mât, en plus d'être une zone qui a besoin d'être renforcée, correspond en effet au départ de la levée, située juste en avant de celle-ci (au niveau de la varangue M131) : les bouchains monoxyles ne peuvent donc pas être ployés<sup>26</sup> pour suivre la courbure de la sole qui se relève progressivement selon une pente moyenne de 5,6 °. Plutôt que d'introduire des bouchains composés formés de deux nouvelles pièces, un bordage vertical et un bordage de sole, qui auraient affaibli la coque à ce niveau, sans compter les problèmes d'étanchéité à résoudre, les constructeurs ont ainsi imaginé et mis en œuvre une solution technique qui permet de s'appuyer sur le prolongement des parties verticales des bordés monoxyles de transition BM1 et BM2 vers l'avant et le prolongement des parties verticales des bordés monoxyles de transition BM3 et BM4 vers l'arrière, ne nécessitant ainsi que la mise en place de bordages de sole secondaires.

Sur la poupe, en revanche, il n'a pas semblé problématique d'introduire, à la suite des bordés monoxyles de transition BM1 et BM2, des bouchains composés (BV1-B1 et BV2-B2) puisque ceux-ci sont situés au-delà de l'angle de relèvement de la levée arrière (fig. 58).

De même, sur l'extrémité de la proue, on retrouve à nouveau des bouchains composés formés par un bordage vertical et un bordage de sole à bâbord (BV3-B8) et le retour vertical d'un bordé monoxyde de transition et un bordage de sole à tribord (BM4-B5/B8). L'introduction d'un bordage vertical, à bâbord, est sans doute dû ici à un problème soit d'échantillonnage soit de rupture de la pièce de bordé monoxyde de transition BM3 qui, selon la logique de symétrie parfaite mise en œuvre par les constructeurs dans ce bateau, aurait dû se poursuivre, au niveau de son retour vertical, comme pour BM4 à bâbord, jusqu'à l'extrémité de la proue.

Concernant la fonction des bouchains, qu'ils soient de type monoxyde ou composé, ceux-ci doivent assurer un rôle à la fois sur le plan conceptuel et structural de la coque, d'une part, et sur le plan fonctionnel, d'autre part (Rieth (dir.) 2010, p. 100).

D'un point de vue conceptuel, les bouchains sont déterminants dans la conception de la géométrie de la forme de la coque et nous reviendrons sur ce point plus largement dans le paragraphe consacré au principe et aux procédés de construction (*infra*, p. 202).

26. « Dans la construction monoxyde-assemblée, les bordés monoxyles de transition constituent [en effet] un obstacle (impossibilité de ployage) à la courbure longitudinale de la sole vers ses extrémités » (Rieth 2010a, p. 42).

D'un point de vue structural, bien qu'étant de taille réduite, notamment pour la hauteur qui ne dépasse pas 12 cm, les bordés monoxyles de transition, en forme de L couché, et les bouchains composés constituent des pièces de charpente longitudinales parfaitement identifiables et jouent donc bien un rôle de jonction entre le fond et les flancs<sup>27</sup>. En revanche, toujours sur le plan structural, le rôle de ces bouchains, qui est également de venir renforcer – en l'absence de quille – la rigidité longitudinale du bateau, se trouve ici restreint. Du fait de la nature même des bouchains composés qui ne peuvent assurer un rôle de raidisseur, d'une part, et en raison de l'échantillonnage faible des bordés monoxyles de transition qui se trouvent « réduits à une simple équerre », d'autre part (Rieth 2007, p. 73), le rôle de ces pièces, censées agir « mécaniquement comme des sortes de cornières profilées qui contribuent à rigidifier et à renforcer longitudinalement les bords de la sole et l'assise des flancs » (Rieth 2007, p. 73 ; 2010a, p. 42) se trouve ainsi amoindri.

Bien que leur fonction, sur le plan structural, se voie limitée en raison de leurs dimensions réduites, les bordés monoxyles de transition, héritiers de l'architecture de type monoxyle, vont cependant venir jouer un rôle important sur le plan fonctionnel : c'est celui, crucial, de l'étanchéité de la coque et de sa résistance aux chocs et à l'usure (notamment échouages, chocs contre les berges...). En effet, en cet endroit du bateau où l'angle formé par le fond et le flanc rend difficile la mise en place d'un système d'étanchéité efficace, le recours à des pièces monoxyles permet de faciliter l'imperméabilité de la structure. Et c'est sans doute pour cela que, en plus des contraintes mécaniques liées aux relèvements des extrémités, les constructeurs se sont efforcés de mettre en place les bouchains de type composé uniquement, et sur de courtes longueurs, aux extrémités du bateau, assurant en revanche la mise en place de bouchains de type monoxyle sur l'essentiel de la longueur du bateau. Les bordés monoxyles de transition jouent enfin un rôle vital, par leur volume de bois, pour le clouage de la base des massifs bordés de flanc en demi-tronc.

L'étude conduite sur la charpente transversale permet de mettre en évidence un échantillonnage des varangues et une densité de la maille plus importants dans la partie centrale du bateau qu'à ses extrémités. Ce renforcement de la membrure à cet endroit de la coque est bien évidemment à mettre en relation avec le chargement pondéreux – en l'occurrence des pierres lors de son dernier voyage – que transportait ou était amené à transporter le chaland. Le clouage croisé des varangues à la sole, avec des clous enfoncés à la fois depuis l'intérieur et à la fois depuis l'extérieur de la coque avec des pointes rabattues à angle droit (le plus souvent une fois sur le dos des membrures et une à deux fois sur l'extérieur de la sole), selon un schéma en quinconce, permettait en outre d'assurer un assemblage solide de la membrure à la sole. Les varangues étaient également fixées aux bouchains par l'intermédiaire des clous enfoncés depuis les ressauts de leurs extrémités ainsi que par quelques clous enfoncés transversalement depuis l'extérieur des bouchains en direction de la membrure. C'est donc une construction soignée et solide que révèle la mise en place des varangues.

En revanche, on compte curieusement peu de courbes sur ce chaland : à peine vingt sur une coque de 31 m de longueur avec une concentration essentiellement en avant de l'emplanture de mât et finalement très peu dans la partie centrale où on compte seulement une paire de courbes affrontées toutes les cinq à huit mailles. Ce n'est pas tant ici le renforcement de la charpente transversale qui est remis en cause puisque la densité de la maille, avec notamment un rapport entre l'écartement des membrures et la largeur de celles-ci, est très serrée. C'est en revanche le maintien des flancs, et notamment des demi-troncs de sapin utilisés comme virures de bordé, dans leur partie haute, qui pose problème avec l'insertion d'aussi peu de courbes. Sur la proue, au-delà de la varangue-emplanture, on compte en revanche davantage de courbes – mais qui ne sont alors pas systématiquement disposées par paire – avec un maillage très serré de la membrure (varangues et courbes confondues). Ce renforcement de la charpente transversale à cet endroit se justifie non seulement par le fait que la zone d'emplanture est une zone fragile, qu'il faut donc consolider, mais aussi par le fait que l'on se trouve au départ de la levée avant avec tout le poids de la proue, renforcée notamment par des éléments métalliques et la masse supplémentaire de ces ferrures (70 kg), à supporter. Par conséquent, étant donné la construction soignée que révèle la mise en place de la charpente transversale, tant en ce qui concerne les varangues que les courbes au niveau de la proue, la faiblesse du nombre de courbes dans la partie centrale du chaland ne révèle sans doute pas un défaut de construction de la part des charpentiers et doit nécessairement trouver une explication technique sur laquelle nous reviendrons.

La fonction de la membrure, au sein du chaland, est donc bien d'assurer un renfort structurel dans le plan transversal de la coque. La charpente transversale permet en outre d'assurer la cohésion de l'ensemble des structures dans la mesure où les bordages de sole

27. Ce type de bordé monoxyle de transition, qu'É. Rieth qualifie d'« atrophié » (Rieth 2007, p. 73), constitue en effet une pièce de charpente longitudinale parfaitement identifiable et se rattache au type F de la chrono-typologie des bordés monoxyles de transition établie par K. Vlierman (1996, p. 104, fig. 73).

ne sont pratiquement pas assemblés entre eux, ni les bordés monoxyles de transition à la sole, et qu'elle assure, par l'intermédiaire des courbes, le maintien des flancs dans leur partie haute.

Sur le chaland *Arles-Rhône 3*, les virures de bordé sont constituées par des pièces de bois massives taillées dans des demi-troncs de sapin. Les deux bordages principaux, qui sont disposés de part et d'autre du bateau (F11 et F12), mesurent un peu plus de 26 m de longueur et proviennent du même tronc d'arbre fendu en deux dans le sens de la longueur et retaillé pour chaque pièce sur leurs faces internes et externes, de façon symétrique. Ils sont prolongés, au moyen d'écartés, sur l'avant par d'autres pièces de bordé retaillées dans des demi-troncs de sapin et d'épicéa et disposées de façon symétrique. L'emploi de demi-troncs de résineux, pour la réalisation des flancs, est une caractéristique que l'on retrouve également sur les épaves *Ep. 2*, *Ep. 4* et *Ep. 5* des chalands gallo-romains (milieu II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> s.) du site Lyon Saint-Georges (Guyon 2010, p. 65, 76-77 et 85) ainsi que sur le chaland *Arles-Rhône 5* (Marlier 2011a). Ces bordés de flanc en demi-tronc évoquent, de manière très significative, la « mémoire monoxyle » de l'architecture de ces chalands (Rieth 2010b, p. 98).

D'un point de vue conceptuel, ces virures de bordé singulières sont disposées contre le bouchain de manière à ce que leur bord inférieur vienne recouvrir le can du bordé monoxyle de transition ou du bordage vertical des bouchains composés selon le principe de sole « intégrée » sur lequel nous reviendrons dans le paragraphe consacré au principe et aux procédés de construction (*infra*, p. 202).

D'un point de vue structurel, ces demi-troncs agissent indubitablement comme des raidisseurs longitudinaux de la coque compensant, sur ce point, la faiblesse structurelle des bordés monoxyles de transition.

Assemblés aux bouchains au moyen de clous enfoncés régulièrement et de manière oblique depuis l'extérieur de leur base, les bordés de flanc en demi-tronc sont, en revanche, comme on l'a rappelé précédemment, faiblement assemblés dans leur partie haute aux courbes. Il est donc possible de penser que les constructeurs ont sans doute compté sur la rigidité longitudinale de ces demi-troncs et la pression de l'eau exercée sur les bordés (pression latérale) pour les maintenir en place et éviter qu'ils ne s'ouvrent. La présence de deux barrots présumés, sur l'arrière, ainsi que du banc d'étambrai solidement fixé aux bordés, sur l'avant, permettait par ailleurs de maintenir l'écartement entre les murailles de la coque ainsi construite.

Quant à l'intérêt du recours à des demi-troncs de sapins pour la constitution des bordés, la possibilité qu'ils aient pu servir de flotteurs naturels ou de pare-battages a été proposée à de nombreuses reprises. Nous reviendrons sur cette question dans la partie dédiée aux calculs hydrostatiques (*infra*, p. 230).

Au final, si le chaland *Arles-Rhône 3* est une coque monoxyle-assemblée, la faiblesse de l'échantillonnage de ses bordés monoxyles de transition, le recours à des bouchains composés et l'importance des bordés de flanc en demi-tronc qui permettent de renforcer la rigidité longitudinale de la coque, conduisent à repenser la question de la caractérisation d'un tel système architectural que l'on pourrait alors qualifier, à l'instar de Catherine Lonchambon, d'« assemblé à bouchain monoxyle »<sup>28</sup>. Selon Éric Rieth, en effet, « plus la taille du bordé monoxyle de transition diminue, plus son rôle conceptuel et structural perd de son importance corrélativement à une augmentation de la fonction des membrures et, plus particulièrement, de celle des courbes. C'est la logique architecturale qui, dès lors, tend à se modifier. En effet, si la sole occupe toujours la position centrale au sein de la structure d'ensemble de la coque, c'est la charpente transversale interne (plus spécifiquement les courbes) qui reprend alors une part notable du rôle tenu auparavant par les bordés monoxyles de transition. Dans ces conditions, la limite précise entre construction monoxyle-assemblée et construction assemblée tend de plus en plus à se réduire » (Rieth 2007, p. 73). Ce constat s'applique à l'évidence au chaland *Arles-Rhône 3*, à ceci près que ce sont sans aucun doute les bordés de flanc en demi-tronc, et non la charpente transversale et encore moins les courbes, qui reprennent en grande partie, sur le plan structural, le rôle joué jusqu'alors par les bordés monoxyles de transition. Néanmoins, dans l'architecture intégralement assemblée ou « composée », plus aucune trace de l'architecture monoxyle n'est présente dans la structure du bateau qui fait appel à une construction exclusivement « composite ». En ce sens, le chaland *Arles-Rhône 3*, avec ses bordés monoxyles de transition, bien qu'atrophés, témoigne encore de l'héritage de l'architecture monoxyle et doit donc bien être qualifié de structure « monoxyle-assemblée ». Le choix précis de la terminologie employée, pour définir les systèmes architecturaux des coques des bateaux, permet de les regrouper dans de grandes catégories et de pouvoir procéder à des comparaisons au sein de ces catégories. Ainsi en est-il du chaland *Arles-Rhône 3* qui, en tant que structure « monoxyle-assemblée », pourra être rapproché des épaves de Tolozan (Lyon), du pont de Chalon-sur-Saône ainsi que des épaves *Ep. 2*, *Ep. 3*, *Ep. 4*, *Ep. 5* et *Ep. 7* du site de Lyon Saint-Georges (*infra*, chapitre 9).

28. Selon C. Lonchambon, le concept de système architectural « assemblé à bouchain monoxyle » qu'elle propose, au terme de son étude sur les bateaux du pont romain de Chalon-sur-Saône, « permet de rendre compte, de manière plus évidente, du fait que ces embarcations sont conçues en terme de « bateaux à planches » plutôt qu'en terme de monoxyle éclaté » (Lonchambon, Bonnamour 2009, p. 101).

Au contraire de l'architecture « monoxyle », ces deux types d'architecture, « monoxyle-assemblée » et intégralement « assemblée », doivent dans tous les cas recourir à deux techniques essentielles que sont l'étanchéité et l'assemblage. La première doit permettre d'assurer l'étanchéité des joints localisés entre les éléments assemblés de la partie immergée de la coque et, tout particulièrement, de la sole. La seconde doit permettre d'assurer l'assemblage des structures primaires de la coque.

## LES PROCÉDÉS D'ÉTANCHÉITÉ MIS EN ŒUVRE DANS LE CHALAND ARLES-RHÔNE 3

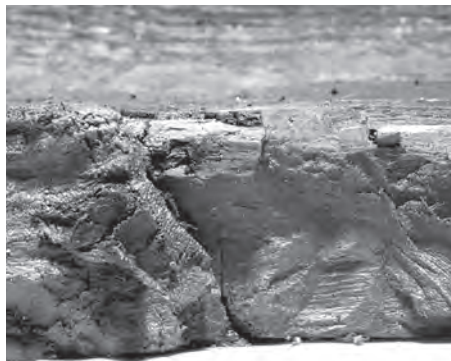
L'architecture à coque monoxyle-assemblée nécessite, avec la diversification des structures assemblées, d'assurer l'étanchéité des coutures des bordages de sole, des joints situés entre les bouchains et la sole de même qu'entre les pièces constitutives des bouchains composés ainsi qu'entre les bordés de flanc et les bouchains.

Pour assurer l'étanchéité d'un bateau de navigation intérieure, deux techniques peuvent être employées : le calfatage et le lutage (Arnold 1992b, p. 86). Le calfatage consiste à insérer de force un matériau d'étanchéité (généralement de la mousse maintenue en place par une latte fixée par de petits clous) entre deux pièces d'architecture déjà réunies. Cette technique trouve une origine continentale, située au nord des Alpes. Le lutage procède à l'inverse et consiste à mettre en place un matériau d'étanchéité (généralement un tissu enduit de poix) avant la réunion des planches. Cette technique est d'origine méditerranéenne. L'étanchéité d'une coque peut être complétée par un traitement de surface, avec l'application d'un matériau imperméable comme de la poix seule<sup>29</sup> ou de la poix mélangée à de la cire d'abeille<sup>30</sup>. Le gonflement du bois n'est en revanche pas une technique d'étanchéité proprement dite mais relève d'un processus naturel lié à l'immersion de la coque.

### Le lutage

Sabrina MARLIER

Dans le cas du chaland *Arlès-Rhône 3*, l'étanchéité de la coque est assurée au moyen de tissus poissés disposés entre les éléments de sole, de bouchains et de bordés de flanc en demi-tronc avant leur réunion, provoquant parfois des débordements de matière importants sur l'intérieur et sur l'extérieur de la coque (fig. 113 et 114)<sup>31</sup>. Ainsi, à la proue, sur le joint B8-B5, le débordement de matière enregistré entre les membrures M138-M139, sur la face interne, est de 8,4 cm de largeur pour une épaisseur de près de 2,5 cm (fig. 65). Mais c'est entre les bouchains et les bordés de flanc en demi-tronc que l'on retrouve les bourrelets d'étanchéité les plus épais avec des débordements importants de matière pouvant atteindre 4,6 cm d'épaisseur sur l'intérieur du bateau. L'excès de matière, au niveau des angles que forment le fond avec les flancs, s'explique par la nécessité d'assurer une bonne étanchéité du bateau en ces zones complexes du bateau à étanchéifier.



**Fig. 113 :** Tissus poissés disposés contre le can du bordé monoxyle de transition BM1 avant l'apposition de celui-ci contre le bordage de sole B3 (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

**Fig. 114 :** Vue, sur la face interne de la coque, d'un débordement de matière important du matériau d'étanchéité entre un bordé monoxyle de transition et un bordage de sole (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

Sur certains bordages et certaines pièces de bouchain, on observe que leurs cans ont été biseautés ou entaillés<sup>32</sup> (fig. 115). La base des bordés de flanc en demi-tronc a par ailleurs été taillée en biseau (fig. 98) et la face interne du can abattu a en plus été taillée pour former des crêtes saillantes, obliques et parallèles (fig. 116). Ce type d'aménagement est à mettre en relation avec la disposition du matériau d'étanchéité pour une meilleure adhérence du tissu poissé contre les cans des planches. De la même façon, sur le site de Lyon Saint-Georges, les fouilleurs ont relevé sur les chalands gallo-romains des épaves

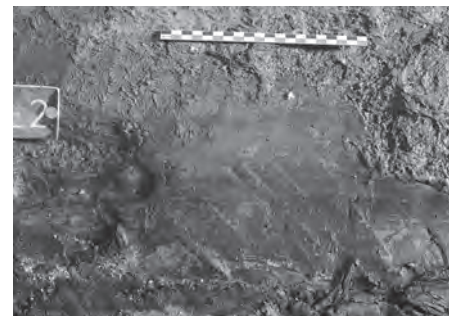
29. La poix résulte d'une transformation de la résine, par l'action du chauffage (*infra*, p. 125).

30. C'est ce mélange de poix et de cire qui a, par exemple, été utilisé en traitement de surface pour le bateau grec archaïque *Jules-Verne 9* (analyses J. Connan, Laboratoire des substances naturelles, Université Louis Pasteur, Strasbourg) (Connan 2002).

31. La mise en place de planches de réparation, sur les bordés de flanc en demi-tronc (*infra*, p. 151-152),



**Fig. 115:** Vue en section, sur le tronçon T3, des cans des bordages biseautés pour l'apposition du matériau d'étanchéité (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 116:** Base de la face interne du bordé monoxyle de flanc FI2, taillée avec des arêtes parallèles pour une meilleure adhésion du matériau d'étanchéité (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

**Fig. 117:** Épandage d'une couche de poix importante sur l'intérieur du bordé monoxyle de flanc FI2. Cette couche de poix s'arrête au niveau du plancher de cale (ici démonté) signifiant que son épandage a été réalisé après la mise en place du fond du caisson (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



*Ep. 2, Ep. 3, Ep. 4 et Ep. 7* que les cans des bordages étaient biseautés vers l'extérieur. Sur l'épave *Ep. 3*, pour laquelle des observations plus précises ont pu être réalisées, il ressort également que le maintien du matériau d'étanchéité entre deux bordages de la sole s'effectuait grâce à la taille des cans de façon à lui donner une forme particulière avec un biseau et un ressaut (Guyon 2010, p. 56, 59 et fig. 30, p 60, 63, 75, 88).

Ce procédé d'étanchéité, où les matériaux sont mis en place avant la réunion des planches, relève de la technique de lutage. Les tissus ici utilisés pour assurer l'étanchéité sont des chiffons de laine remployés et amalgamés ensemble, trempés dans de la poix (*infra*, p. 122).

## L'épandage de poix

Sabrina MARLIER

bénéfice du même procédé d'étanchéité avec la disposition de tissus poissés entre leurs cans et les cans des pièces adjacentes (cf. les planches de réparation P3, FI5 Rep. et FI2-FI6 Rep.) (fig. 45 et 161).

32. Ce qui signifie également qu'un ajustage au niveau du sommet de la couture n'est pas aussi important que pour un vrai calfatage (remarque B. Arnold, communication personnelle).

Afin de parfaire l'étanchéité du chaland, une épaisse couche de poix a finalement été répartie sur l'ensemble de la surface interne (à l'exception des varangues de la partie centrale) et une partie de la surface externe de la coque. De nombreuses traces de ce matériau ont été retrouvées sur l'intérieur de la coque, en couche épaisse, ainsi que sur l'extérieur des flancs, mais en couche moins épaisse, sans doute arasée par l'eau durant la période de navigation du bateau. Sur l'intérieur, la couche de poix s'arrête au niveau du plancher de cale, signifiant que son épandage a été réalisé après la mise en place du fond du caisson et explique ainsi qu'aucune trace n'a été retrouvée sur les varangues de la partie centrale (fig. 117). En revanche, la poix a dû être répartie avant la mise en place des

cloisons latérales du caisson puisqu'on en retrouve des traces sur le dos des courbes et la face externe de ces cloisons, en contact direct avec ces membrures.

La poix a également été utilisée, seule, pour assurer l'étanchéité – et sans doute la mise en place – des planches de réparation et des éléments de plat-bord sur le haut des bordés de flanc en demi-tronc.

En revanche, aucune trace de poix n'a été découverte sur l'extérieur de la sole ni dans les évidements creusés sous les bordages destinés à recevoir les têtes des clous insérés depuis l'extérieur pour la fixation des membrures à la sole. Un grattage systématique du dessous de la tête de clous enfoncés depuis l'extérieur de la sole, au niveau de la varangue (M125), a en effet montré qu'aucun matériau d'étanchéité, destiné à éviter les entrées d'eau, n'avait été placé dans les logements pratiqués pour recevoir ces têtes.

Il apparaît finalement que cette couche de poix est à associer aux parties de la coque pouvant se trouver hors d'eau lorsque le bateau est léger. Dans ces conditions, le bois sèche et se rétracte, provoquant ainsi des micro-fentes, notamment au niveau du passage des clous. Ces problèmes de rétraction, en particulier le long des bordages de la sole, sont spécifiques aux levées mais aussi aux flancs, comme cela a pu être observé sur la réplique du chaland gallo-romain *Altaripa* (Arnold 1999, p. 146).

### Les tissus associés à la construction du chaland Arles-Rhône 3 : qualité et gestion de la matière première

Fabienne MÉDARD

#### La collection

##### Prélèvements

Le présent corpus porte sur une série de huit prélèvements, tous effectués directement sur le chaland. Sept d'entre eux sont liés au matériau d'étanchéité de la coque ; le huitième correspond à un amalgame placé sous un fond de *dolium* installé à l'arrière de l'embarcation (Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011, p. 132). Dans un souci de représentativité et de diversité, les prélèvements ont été répartis en plusieurs points le long de la coque (fig. 20 et 21).

Réalisé entre 2006 et 2011, l'échantillonnage se présente sous la forme de blocs compacts et noirâtres qui, à l'issue des opérations de restauration et d'étude, se révèlent être constitués chacun de plusieurs étoffes.

##### Effectif

Présenter la collection de manière synthétique implique une analyse technique détaillée de chaque élément afin d'effectuer les recoupements nécessaires entre des fragments épars appartenant au même tissu. L'étude porte ainsi sur l'examen de 70 fragments de tissus déployés et sur l'identification d'étoffes au sein d'amalgames non démontés : 38 tissus différents ont été individualisés (fig. 118).

n° de prélèvement	n° de tissu	Nbr de fragments associés à chaque tissu	n° et dimensions des fragments (en cm)
#8 (2006)	tissu 1	9	1 : 14,5 x 11,5 ; 2 : 10,5 x 4 ; 3 : 5,5 x 3,5 ; 4 : 3,5 x 3,5 ; 5 : 3,5 x 1,5 ; 6 : 2,5 x 2 ; 7 : 2,5 x 2 ; 8 : 13 x 4 ; 9 : 12 x 12,5
	tissu 2	4	1 : 24 x 4 ; 2 : 13 x 3,5 ; 3 : 11,5 x 4,5 ; 4 : 9,5 x 3,5
	tissu 3	3	1 : 17 x 3 ; 2 : 11 x 3,5 ; 3 : 15 x 12
	tissu 4	1	1 : 21 x 12
	tissu 5	1	1 : 8,5 x 7
	tissu 6	2	1 : 11 x 8 ; 2 : 4,5 x 2
	tissu 7	2	1 : 3,5 x 2 ; 2 : 5 x 3,5
	tissu 8	5	1 : 4 x 3 ; 2 : 2,5 x 3,5 ; 3 : 2,5 x 1,5 ; 4 : 1,8 x 1,2 ; 5 : 3,5 x 1,5
	tissu 9	non déployé	sur bloc
	tissu 10	non déployé	sur bloc
#14 (2007)	#14 (2007)	2	1 : 30 x 12 ; 2 : 22 x 11
#22 (2009)	tissu 1	non déployé	sur bloc d'environ 12 x 7 x 3
	tissu 2	non déployé	sur bloc d'environ 12 x 7 x 3

Fig. 118 : Les tissus d'étanchéité du chaland : recensement détaillé des éléments du corpus (F. Médard, Anatex).

n° de prélèvement	n° de tissu	Nbr de fragments associés à chaque tissu	n° et dimensions des fragments (en cm)
#6 (2011)	tissu 1	12	1 : 9,5 x 4 ; 3 : 13 x 8 ; 5 : 3 x 3 ; 10 : 8,5 x 8 ; 11 : 12,5 x 6,5 ; 12 : 10,5 x 6 ; 14 : 2,5 x 3 ; 17 : 10,5 x 6 ; 20 : 21 x 6 ; 24 : 4 x 3,5 ; 30 : 6,5 x 5 ; 31 : 3,5 x 3,5
	tissu 2	5	2 : 10,5 x 6,5 ; 4 : 13,5 x 11 ; 6 : 2,5 x 6 ; 7 : 3,5 x 3 ; 9 : 1,5 x 1,5
	tissu 3	1	8 : 2 x 3
	tissu 4	4	15 : 5 x 2,5 ; 16 : 3,5 x 3,5 ; 18 : 9 x 6 ; 19 : 5,5 x 12,5
	tissu 5	6	13 : 16 x 10,5 ; 22 : 8 x 5 ; 23 : 5,5 x 5,5 ; 25 : 2,5 x 1,5 ; 27 : 3 x 3 ; 28 : 16,5 x 8
	tissu 6	1	21 : 15 x 17,5
	tissu 7	1	26 : 4 x 3,5
	tissu 8	1	29 : 1 x 2
	textile 9	1	32 : 14 x 11
#7 (2011)	tissu 1	non déployé	sur bloc d'environ 21 x 10
	tissu 2	non déployé	sur bloc d'environ 21 x 10
	tissu 3	non déployé	sur bloc d'environ 21 x 10
	tissu 4	non déployé	sur bloc d'environ 21 x 10
	tissu 5	non déployé	sur bloc d'environ 21 x 10
	tissu 6	non déployé	sur bloc d'environ 21 x 10
#8 (2011)	tissu 1	non déployé	sur bloc d'environ 10 x 3,5 x 2
	tissu 2	non déployé	sur bloc d'environ 11 x 5 x 2,4
	tissu 3	non déployé	sur bloc d'environ 16 x 4,5 x 2
	tissu 4	non déployé	sur bloc d'environ 16 x 4,5 x 2
	tissu 5	1	sur bloc d'environ 16 x 4,5 x 3. Tissu d'environ 24 x 28
	tissu 6	non déployé	sur bloc d'environ 10 x 3,5 x 2
	tissu 7	non déployé	sur bloc d'environ 10 x 3,5 x 2
#12 (2011)	#12 (2011)	1	1 : 9,5 x 11
#22 (2011)	tissu 1	6	1 : 42 x 12,5 ; 2 : 11 x 8 ; 3 : 4,5 x 4 ; 4 : 4 x 1,5 ; 5 : 2 x 1,5 ; 6 : 1,5 x 1
	tissu 2	1	1 : 67 x 40
<b>Nbr de tissus analysés</b>	<b>38</b>		

### Traitements et états de conservation

Exceptés deux fragments de tissu restaurés au musée de l'Arles antique (#14 (2007) ; Bouquin, Médard 2011, p. 168-169), l'ensemble de la collection a été traité dans les locaux de l'atelier de restauration ARC-Nucléart à Grenoble.

L'intérêt du travail effectué sur ces prélèvements tient à ce qu'ils n'ont pas été abordés suivant le même protocole. Certains ont été déployés ; les textiles qui constituent les amalgames #8 (2006) ; #6 (2011) ; #12 (2011) ; #22 (2011) ont été désolidarisés, dépliés et dégagés de la poix qui les imprégnait pour gagner en lisibilité technique. De bonne tenue, les éléments se présentent sous la forme de fragments brunâtres aux bords déchirés.

Les autres prélèvements ont été lyophilisés en l'état<sup>33</sup>. Les tissus qui composent les échantillons #7 (2011), #8 (2011) et #22 (2009) gardent ainsi l'ajustement qu'ils avaient entre les planches du chalard et renvoient sans équivoque aux bourrelets d'étanchéité tels qu'ils se présentaient à l'issue de la pose. À l'inverse des tissus déployés, ils sont extrêmement fragiles. De texture pulvérulente et sèche, ils se disloquent sous l'effet des manipulations nécessaires à leur analyse. De fait, le nombre de tissus recensés par amalgame n'est pas exhaustif ; il correspond à ce qui est identifiable.

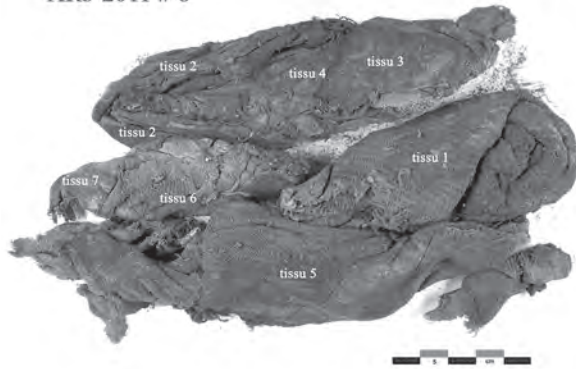
Les deux options de traitements apportent des informations différentes et complémentaires (fig. 119). Les tissus déployés permettent d'aborder le détail des techniques de fabrication (fils, armures, anomalies, spécificités de tissage, etc.) et d'apprécier la dimension moyenne des « chiffons » utilisés pour étanchéfier la coque du bateau. Les amalgames permettent d'aborder la composition générale des bourrelets d'étanchéité, d'apprécier le choix comme la disposition des tissus qui les constituent.

### Analyse

#### Les matières premières

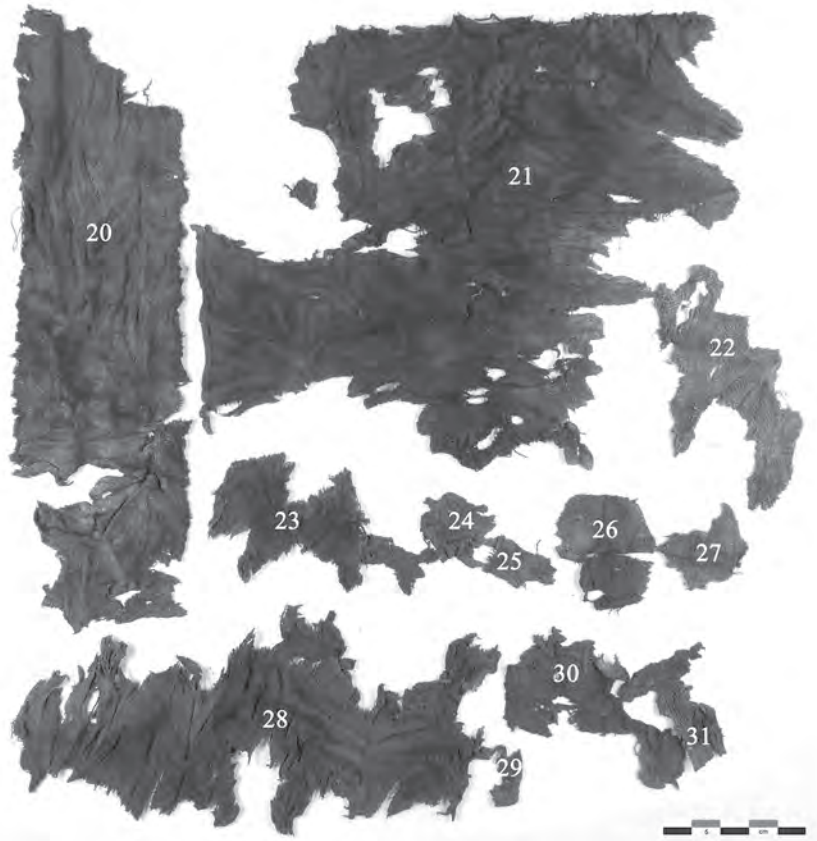
Chaque tissu individualisé a fait l'objet de deux prélèvements de fibres, l'un en chaîne, l'autre en trame ; ce double échantillonnage a pour objectif de mettre en évidence une

33. Il s'agit d'un choix raisonné destiné à préserver les vestiges en l'état tout en servant un intérêt muséographique de présentation au public.



## AR3 2011 # 6

Tissu 1 (fragments 20, 24, 30, 31)  
 Tissu 5 (fragments 22, 23, 25, 27, 28)  
 Tissu 6 (fragments 21)  
 Tissu 7 (fragment 26)  
 Tissu 8 (fragment 29)



éventuelle mixité des matériaux. Si les textiles anciens n'attestent quasiment jamais l'utilisation de fibres différentes au sein d'un même ouvrage, cette possibilité ne peut être exclue sans vérification. L'ensemble des prélèvements est observé en microscopie électronique pour une identification des fibres fondée sur des critères morphologiques. L'examen des 75 prélèvements effectués montre que tous les tissus sont confectionnés à partir de fils de laine, sans exception.

Comme observé sur les exemplaires archéologiques associés à la construction des chalands gallo-romains mis au jour sur le site du Parc Saint-Georges à Lyon, l'état de conservation des fibres varie d'un échantillon à l'autre (Médard 2011, p. 111). Cela tient généralement à l'érosion des surfaces ; d'évidentes à inexistantes, les écailles caractéristiques des fibres de laine sont plus ou moins lisibles (fig. 120). La présence de particules polluantes ajoute à la difficulté de lecture des vestiges. Il demeure que la section circulaire des fibres, systématiquement conservées en volume, leur diamètre ainsi que la présence de fibrilles constituent des éléments de diagnostic supplémentaires (fig. 121).

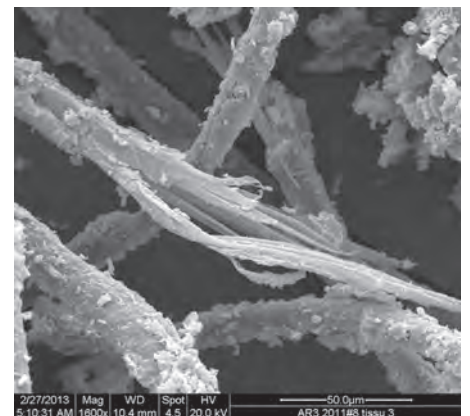
### Les tissus

- Sens de torsion et diamètre des fils

Exceptés un tissu confectionné à partir de filés S dans un sens et Z dans l'autre ainsi que trois tissus constitués de fils retors S2z dans un sens de tissage, les autres textiles sont strictement conçus à l'aide de fils simples tordus en Z. La présence quasi exclusive de filés simples en Z est conforme à ce qu'il est coutumier d'observer sur les tissus de cette époque en Europe occidentale, principalement lorsqu'il s'agit de fils en laine (Wild 1970 ; 2002). Technique de filage issue d'une lointaine tradition puisant au cœur de notre préhistoire (Médard 2006), le filage au fuseau est depuis toujours utilisé dans nos régions pour produire des fils de torsion Z. Cette caractéristique tend à signer une production indigène.

Les fils retors, généralement utilisés pour les coutures et ourlets, sont rarissimes dans le tissage gallo-romain. Ils concernent une faible proportion d'objets<sup>34</sup> et sont employés dans le même sens de tissage, exclusivement ou combinés à des fils simples de torsion Z.

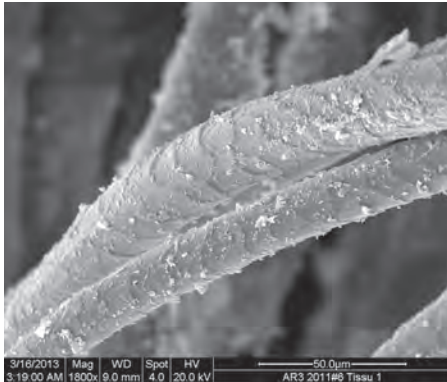
**Fig. 119 :** Exemple de deux prélèvements de tissus d'étanchéité restaurés différemment (Restauration : ARC-Nucléart ; cliché : F. Médard, Anatex).



**Fig. 120 :** Tissu d'étanchéité du chaland : fibre de laine endommagée laissant apercevoir les fibrilles dont elle est constituée (S. Knopf, IS2M/CNRS)

34. Voir par exemple les séries du Parc St-Georges, à Lyon : 2 sur 40 (Médard 2010, p. 140). Pompéi : 2 tissus sur 61 (Médard 2009 ; Médard, Borgard, Moulherat 2011, p. 86). Le petit Creusot : 1 sur 45 (Médard, Montheil 2004, p. 100).





**Fig. 121 :** Tissu d'étanchéité du chaland : détail de deux fibres de laine aux surfaces couvertes d'écaillés (S. Knopf, IS2M/CNRS).

**Fig. 122 :** Répartition des armures de tissage sur les tissus d'étanchéité du chaland.

C'est ici le cas : deux tissus sont confectionnés à l'aide de fils simples en Z dans un sens et de fils retors S2z dans l'autre (#8 (2006), tissus 3 et 4). Un autre alterne régulièrement les fils simples en Z et les retors S2z dans le même sens de tissage (#8 (2011), tissu 7). Les trois exemplaires sont conçus ainsi pour obtenir des effets décoratifs ; ils représentent 8 % de la collection, soit 3 tissus sur 37.

D'une façon générale, les étoffes sont confectionnées à partir de fils de diamètres équivalents en chaîne et en trame. La moyenne se situe à 0,5 mm ; la valeur minimum étant de 0,1 mm et la valeur maximum de 2 mm.

- Armures et réductions de tissage

La collection s'inscrit dans ce qu'il est commun d'observer sur d'autres séries contemporaines, à savoir une répartition des armures suivant les proportions de deux tiers en toile et dérivés et de un tiers en sergé et dérivés (fig. 122).

Armures toile et dérivés						Armures sergé		
Toile équilibrée	Toile face chaîne	Toile face trame	Toile, face chaîne ou trame	Cannelé	Louisine ou Cannelé	Sergé 2 lie 1	Sergé 2 lie 2	Autres bases sergé
4	3	3	8	5	4	3	5	2
<b>27 (73 %)</b>						<b>10 (27 %)</b>		

Ces deux familles d'armures de tissage sont accompagnées de notables différences au niveau des fils utilisés. Ceux qui servent à confectionner les sergé sont plus épais que ceux utilisés pour le tissage des toiles, principalement les toiles à effets. Les fils les plus fins sont réservés à la confection des cannelé et louisine tandis que les plus épais servent à tisser les sergé de 2 lie 2. Avec logique, les réductions de tissage suivent la même tendance (fig. 123).

**Fig. 123 :** Diamètre des fils et réduction de tissage en fonction des armures sur les tissus d'étanchéité du chaland.

	Toile équilibrée	Cannelé/Louisine	Toile à dominante...	Sergé 2 lie 2	Sergé 2 lie 1
Diamètre des fils	Environ 0,6 mm	Environ 0,2-0,3 mm	Environ 0,4-0,5 mm	Environ 1 mm	Environ 0,5-0,6 mm
Réductions moyennes ch. et tr.	9 fils / cm	31-35 fils / cm	18-19 fils / cm	8 fils / cm	12-19 fils / cm

Ces observations convergent à tel point avec les séries de Lyon, Parc Saint-Georges, et de Pompéi, qu'il est exclu d'évoquer une coïncidence (Médard 2009 ; 2010, p. 140 ; 2008). Aux 1<sup>er</sup> et 1<sup>re</sup> s. de notre ère, les tissus les plus répandus semblent en effet être confectionnés en armure toile, les plus fins étant tissés en armures cannelé et/ou louisine et les plus grossiers, en sergé de 2 lie 2 (fig. 124). Les sergé de 2 lie 1 et les toiles équilibrées se valent en termes quantitatifs et qualitatifs ; ils forment une catégorie intermédiaire.

### Spécificités de la collection

La collection ne pouvant être exposée ici de façon détaillée, nous proposons de mettre en lumière certaines spécificités de la série ; quelques éléments rarement rencontrés dans un contexte général relativement bien documenté.

Dans le domaine des fils et des armures, un ouvrage réalisé en armure toile (#8 (2011), tissu 4) est confectionné à l'aide de fils de trame de diamètres différents. Insérés alternativement dans chaque foule, ils créent un effet côtelé dans le tissage. Ces deux qualités pourraient renvoyer à des fils de couleurs différentes, dont il ne resterait aucune trace. Une autre étoffe confectionnée en armure sergé de 2 lie 1 (#8 (2011), tissu 6) présente une trame en cannelé de 2 coups (hypothèse où OX est la trame) (fig. 125). Sur la même base d'armure, le tissu 7 (#8 (2011)) alterne dans le sens supposé de la chaîne, les fils simples et retors au rythme de 2 simples et 1 retors. De plus, les fils de trame couvrent entièrement la chaîne. Ces effets cannelés, côtelés et couvrants se rencontrent très rarement sur des tissus réalisés en armure sergé.

La présence d'un tissu en armure losangé brisé construit sur une base sergé de 2 lie 2 mérite également mention (#22 (2011), tissu 1) ; connu de longue date – on en rencontre dès le Hallstatt, par exemple à Vix (Moulherat 2003, p. 288-289) – cette armure de tissage n'est pas fréquente dans les collections gallo-romaines, du moins dans celles qu'il nous a été donné d'examiner. De grandes dimensions comparées à celles des autres fragments, il présente de très nombreuses erreurs de tissage et une asymétrie courante pour ce type

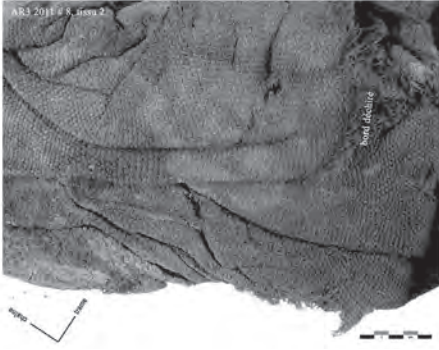
AR3 2011 #8, tissu 2

AR3 2011 #12

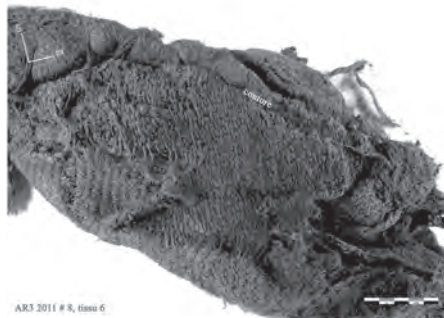
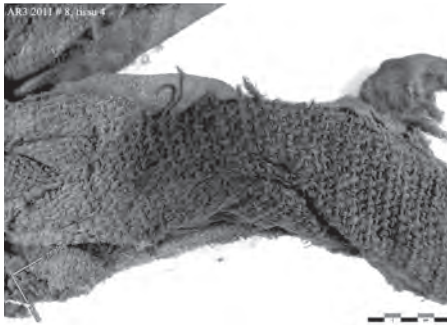


Cannelé de 2 coups :  
diam. fils : 0,2 mm ; réduction : 20 fils /2x32 coups

Sergé de 2 lie 2 :  
diam. fils : 2 mm ; réduction : 4-6fils /4-6 coups

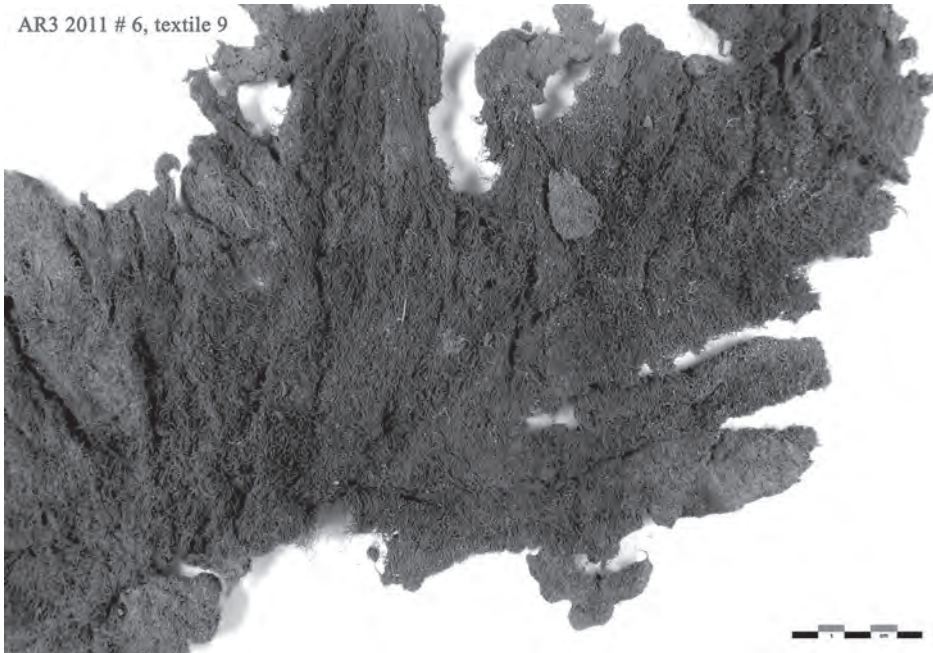


**Fig. 124 :** Comparaison, aux mêmes échelles, des catégories d'étoffes les plus fines et les plus grossières sur les tissus d'étanchéité du chaland (F. Médard, Anatex).



**Fig. 125 :** Exemple de deux tissus attestant de spécificités techniques (F. Médard, Anatex).  
À gauche : fils de trame de diamètres différents.  
À droite : deux coups de trame par duite.

AR3 2011 #6, textile 9



**Fig. 126 :** Tissu en feutre découvert parmi les tissus d'étanchéité du chaland (F. Médard, Anatex).

d'armure. Le choix du dispositif de tissage influe manifestement sur l'asymétrie de l'ouvrage pour lequel est soupçonné l'utilisation d'un métier à tisser vertical à poids et trois barres de lisses (Hoffmann 1964, p. 188).

Enfin, il convient de signaler la présence d'une étoffe particulièrement rare dans les séries archéologiques : un feutre pris dans un bloc d'étanchéité aux côtés d'autres fragments de tissu (#6 (2011), textile 9). Par définition, le feutre est une étoffe non tissée faite de fibres animales amalgamées les unes aux autres grâce à leur aptitude naturelle à se « crocheter » ensemble sous l'effet d'une action mécanique d'échauffement, de pression et d'humidification. Les plus anciennes mentions de feutre datent du II<sup>e</sup> millénaire av. J.-C. en Mésopotamie (Ur, Isin) et les plus anciennes découvertes datent du même millénaire en Anatolie. Suspecté sur le site néolithique de Catal Hüyük (Mellaart 1975, p. 285), le feutre est avéré sur celui de Beycesultan daté de l'âge du Bronze (Lloyd, Mellaart 1962 ; Mellaart 1966, p. 180). Quant aux plus spectaculaires découvertes, elles proviennent du site sibérien de Pazyryk (Scythes, v-iv<sup>e</sup> s. av. J.-C.) (Alexeev, Barkova, Galanina 2001, p. 77, 87 ; Bunn 2010, p. 16 ; Laufer 1930 ; Burkett 1977, p. 111). Si l'évocation du feutre est indissociable des steppes d'Asie centrale, il en existe à une date également très ancienne en Europe occidentale, les sépultures scandinaves de l'âge du Bronze en ayant livré (Voegelin (ed.) 1958, p. 22). Son usage ne s'est sans doute jamais perdu et, plus proches dans le temps, les auteurs antiques en mentionnent l'utilisation à plusieurs reprises. Homère, dans *l'Illiade* (X, 265) l'évoque à propos des cuirasses, chapeaux, accessoires et vêtements divers ; Aristote le mentionne à propos de la protection du bétail (couvertures) ; Pline en expose brièvement le traitement. Il s'agit vraisemblablement d'une des rares descriptions que nous en ayons : « (...) en foulant la laine on fait le feutre, étoffe qui, imbibée de vinaigre, résiste au fer même ; bien plus, la laine résiste au feu dans le dernier apprêt qu'elle subit, car elle sort des chaudières des dégraisseurs pour être employée à faire des matelas, invention qui, je crois, est gauloise (...) » (Pline, *H.N.*, VIII, 73). Des sources documentaires peu abondantes et un matériel archéologique particulièrement rare – comparé aux étoffes tissées, le feutre se disloque facilement – élèvent la présente découverte au rang d'exception. Car il s'agit là d'un feutre véritable. À ce sujet, la littérature prête souvent à confusion ; plusieurs produits sont ordinairement désignés sous le même terme : « *Felts are divided into two types: fiber felts, which are made directly from loose fibers; and woven felts, in which the fibers are spun and woven (...)* » (Barber 1991, p. 216). S'y adjoignent les rembourrages de matelas et diverses housses, également assimilés au feutre pour cause d'imprécision linguistique (Roche-Bernard, Ferdière 1993, p. 65). Or, le vestige d'*Arles-Rhône 3* n'est ni un tissu feutré, ni une bourre de laine, mais une étoffe non tissée dont la conservation fortuite tient vraisemblablement à l'humidité, au tassage et à l'enduction de poix conjugués (fig. 126) (pour une synthèse des données techniques, cf. tableau, fig. 127).

### *Réflexions autour de la collection*

Le nombre élevé de vestiges textiles mis en évidence grâce à l'analyse détaillée des prélèvements fait de cette série un ensemble de première importance pour la connaissance des textiles gallo-romains, pour celle des techniques de construction navale et pour la compréhension de l'organisation du travail sur les chantiers de cette époque.

Exceptionnelle pour le nombre des vestiges qu'elle réunit, cette collection l'est aussi pour sa rareté. En dépit des remarquables découvertes effectuées au cours des dernières décennies, les collections textiles issues des contextes de construction navale restent en effet peu nombreuses. L'explication de ce déficit tient à un intérêt autrefois modéré pour les vestiges en matière organique, notamment parce qu'ils nécessitent des traitements de conservation et de restauration lents, coûteux et, il y a peu encore, mal connus.

### **Bilan documentaire: les données disponibles**

La littérature mentionne de manière éparse, et souvent anecdotique, l'existence de tissus associés plus ou moins directement aux embarcations découvertes sur notre territoire. Parmi eux, des pièces de calfatage en toile de chanvre (peut-être issues d'une voile) sont évoquées à propos des épaves antiques du Grand Congloué à Marseille (Benoît 1961) ; l'épave de la place Tolozan à Lyon (I<sup>er</sup> s. ap. J.-C.) a livré, pris entre les planches de bordé, des restes de tissus en sergé de laine (Becker, Rieth 1995 ; Rieth 1998, p. 77-79). Deux embarcations localisées sous la pile n° 3 du pont romain de Chalon-sur-Saône, l'une monoxyle, l'autre monoxyle-assemblée présentaient, pour la première, des traces de réparation sous la forme de bourrelets de tissus et, pour la seconde, un fond étanchéifié à l'aide de tissus enduits de résine (Bonnamour 2000, p. 55-57). Datée du II<sup>e</sup> s., l'épave à fond plat *Arles-Rhône 2* révélait lors de sa découverte un bourrelet d'étanchéité visible entre les virures du fond. Se présentant sous la forme d'un cordon torsadé, il s'agissait probablement d'un amalgame de tissus poissés et non d'une corde, comme cela est parfois le cas. L'étude

du matériau n'a cependant pas été réalisée (Long 2000, p. 181). Plus tardive, l'épave *Port-Vendres I* (charnière des IV<sup>e</sup> et V<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) laissait également apercevoir une étoupe de calfatage lors de sa découverte (Liou 1974, p. 422).

Les textiles mis au jour sur le site de la Bourse, à Marseille (III<sup>e</sup> s.), et sur celui du Petit-Creusot à Chalon-sur-Saône (II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> s.) (Médard, Monthel 2004) « ont servi à égaliser la couche de poix protectrice sur des carènes de bateaux et ont été ensuite jetés à l'eau après usage » (Boyer, Vial 1982, p. 269). Assemblages plus ou moins compacts de chiffons, ainsi furent-ils interprétés au vu de leur aspect non comprimé et de leurs surfaces largement enduites de poix<sup>35</sup>. La collection du Petit-Creusot constitue une des rares séries anciennement découvertes à avoir été analysée dans le détail (Monthel *et al.* 1998, p. 24-32). Elle a livré des données techniques fiables sur lesquelles fonder des comparaisons utiles à la caractérisation de la production textile en Gaule romaine. Toutefois, elle ne correspond pas exactement au contexte qui nous occupe puisqu'elle n'appartient pas intrinsèquement au bâti du chaland.

Les tissus poissés observés sur l'épave *Arlès-Rhône 3*, sur celle de la place Tolozan, sur celle monoxyle-assemblée de Chalon et peut-être sur *Arlès-Rhône 2*, correspondent à la technique du lutage associée à la mise en place du matériau d'étanchéité entre les planches avant la réunion de celles-ci (Lonchambon 2000, p. 176, fig. 4, p. 177). Hormis ceux d'*Arlès-Rhône 3*, aucun des textiles issus de ces épaves n'a été véritablement étudié. La seule série conséquente ayant fait l'objet d'une analyse complète, comparable quantitativement et qualitativement à celle d'*Arlès-Rhône 3*, est celle du Parc Saint-Georges à Lyon (Médard 2010, p. 136-146; 2011, p. 105-117).

### Vers une meilleure appréciation de la production textile à l'époque gallo-romaine

La richesse de la collection permet de développer plusieurs niveaux de réflexion. Le premier consiste à considérer les textiles en tant qu'artefacts. Analyse technique, mise en évidence de particularités servent de base pour comparer des collections contemporaines et géographiquement cohérentes; en l'occurrence, le contexte de découverte ne constitue pas un élément discriminant.

Au terme de l'analyse, les informations sont traitées statistiquement afin d'en extraire des données récurrentes, propres à caractériser la production textile dans sa globalité. Les séries du Petit-Creusot (Monthel *et al.* 1998; Médard, Monthel 2004), de Pompéi (Médard 2008; 2011), de Lyon, Parc Saint-Georges (Médard 2009; 2010) offrent une solide base de comparaison, à la fois parce qu'elles sont bien documentées et parce qu'elles réunissent un abondant matériel. Qu'il s'agisse de la torsion des fils, de l'emploi de filés simples et retors, de la répartition des armures ou de la finesse des réalisations, les ensembles dessinent, de par leur homogénéité, une image relativement précise de la production textile gallo-romaine. Signalant une production indigène, les fils simples sont pour l'essentiel tordus en Z. Les armures toiles dominent les collections avec une proportion de vestiges comptant pour deux tiers de l'ensemble, contre un tiers pour les armures sergé. Au sein du premier groupe, on dénombre une majorité de cannelé et/ou lousine de deux fils: il s'agit des productions les plus fines. Au sein du second groupe se côtoient principalement des sergé de 2 lie 2 et des sergé de 2 lie 1; les 2 lie 2 comptant parmi les productions les plus grossières. Sans entrer dans le détail des techniques de fabrication, la qualité des tissus représentés dans ces séries et dans d'autres de même époque tend à indiquer l'utilisation conjointe de métiers à tisser verticaux à poids et de métiers verticaux à deux ensouples (Wild 1970; Bender-Jorgensen 1992, Hoffmann 1964; Walton-Rogers 2001).

### Quels tissus pour assurer l'étanchéité des embarcations?

- Des étoffes usagées mises en pièces

Le remploi des tissus usagés marque un deuxième niveau de réflexion. Il n'est plus à démontrer que les textiles font, à l'époque gallo-romaine, l'objet de recyclage. Les tissus de lutage ici présents en sont une illustration, mais on en connaît également des exemples dans les univers domestique, funéraire et artisanal (Médard 2011, p. 142-143). La présente collection met en scène deux cas de figure: celui du remploi de tissus usagés pour la construction navale, et celui d'une utilisation fortuite de chiffons amalgamés et placés sous un fond de *dolium* autour duquel devaient se réunir les membres de l'équipage (#8 (2006)) (Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011, p. 127). Calage de la céramique, protection du plancher, bourrelet ignifuge, cet ensemble textile était largement enduit de poix.

Excepté cet assemblage, le reste de la collection est intégralement associé à la construction du chaland. Contrairement au calfatage dont la pratique consiste à boucher les interstices entre les planches de construction des navires une fois assemblées (Bonnefoux, Paris 1980), les tissus ont ici été placés entre deux bordages avant de les ajuster

35. Des objets similaires ont été mis au jour sur le site AR3, au niveau du dépotoir portuaire. Il s'agit de badigeons dont l'étude sera conduite en même temps que celle des vestiges issus de cette zone.

suivant la technique du lutage. Nous l'avons évoqué en amont, l'option de restauration consistant à conserver certains prélèvements sous la forme d'amalgames et celle consistant à en démonter d'autres permet d'apprécier le volume et la composition générale des bourrelets d'étanchéité comme l'aspect et les dimensions des tissus qui les constituent.

Les éléments déployés révèlent ainsi des textiles aux bords systématiquement déchirés ; pas un seul ne présente une coupe suffisamment franche pour suspecter l'utilisation d'une paire de forces. Les formes sont irrégulières et certains objets présentent des reliquats d'assemblage, coutures et ourlets témoignant d'une mise en forme antérieure. De même, les tissus présentent souvent de modestes dimensions. La plus grande pièce recensée mesure environ 67 × 40 cm (# 22 (2011), tissu 2) tandis que la surface moyenne des fragments n'excède pas 110 cm<sup>2</sup>. On en déduit que les tissus utilisés pour le lutage correspondent à des étoffes déchirées, mises en pièces à partir de lots destinés au rebut.

- Hiérarchisation des qualités

L'analyse des tissus déployés montre que chaque bourrelet d'étanchéité est constitué d'étoffes allant des plus fines aux plus grossières. Ce constat est relayé par l'étude des amalgames, de composition clairement disparate. Les ensembles analysés, bien que n'étant pas nécessairement complets, révèlent près d'une dizaine de tissus différents par bloc prélevé. Sont systématiquement représentées des productions fines, moyennes et grossières. La récurrence avec laquelle apparaît cette diversité ne saurait être fortuite ; il semble presque évident que les tissus employés pour la mise en place des bourrelets d'étanchéité répondent à une logique de travail. L'hypothèse d'une sélection des étoffes au moment de la pose est vraisemblable. D'après nos observations, les tissus les plus fins ont tendance à être pris à l'intérieur des amalgames tandis que les plus grossiers sont plutôt localisés à l'extérieur. Bien qu'il s'agisse ici de lutage et non de calfatage, cette « hiérarchisation » des matériaux en fonction de leur finesse renvoie à ce qui était pratiqué autrefois pour calfater les navires. Les cordelettes de chanvre aux diamètres les plus fins (luzin) étaient placées les premières, puis venaient les moyennes (merlin) et enfin les plus épaisses (bitord), les interstices étant finalement comblés par de l'étoupe et un goudron imperméable<sup>36</sup>. Un tel systématisme implique le tri préalable des matériaux rangés par catégorie pour faciliter la pose. Dans le cas de tissus usagés, tels qu'observés sur l'épave *Arlès-Rhône 3*, on suppose une sélection des différentes qualités d'étoffes, classées selon leur épaisseur.

- Sélection de la matière première

La sélection des tissus et, vraisemblablement, leur classement gagnent en crédibilité avec l'analyse des fibres textiles. Tous les tissus employés sont en laine. Le même constat s'était imposé lors de l'analyse des tissus d'étanchéité des chalands de Lyon, Parc Saint-Georges. « L'analyse montre que tous les vestiges textiles de la collection Saint-Georges sont en laine. Cette observation constitue une particularité en soi [...] dès lors se pose la question d'une éventuelle sélection : s'agit-il de rebuts triés en fonction de la matière première ou leur regroupement est-il dû au hasard ? [...] L'exclusion de toute autre matière incite évidemment à expliquer le phénomène par un tri intentionnel » (Médard 2010). À l'époque, aucune série comparable n'avait été examinée avec un tel degré de précision. Le constat valait donc seulement pour lui-même. Il gagne aujourd'hui en substance avec la collection d'*Arlès-Rhône 3* ; ainsi, les deux plus importantes séries analysées à ce jour montrent que les tissus employés pour étanchéfier la coque des chalands gallo-romains sont exclusivement en laine. Sur la centaine de tissus analysés, aucun n'atteste l'utilisation de fibres d'origine végétale. La sélection des tissus usagés peut donc être tenue pour avérée. S'impose alors une autre déduction : la laine était recherchée car, mieux que tout autre matériau, elle convenait à la mise en place des bourrelets d'étanchéité. La fibre de laine présente en effet des propriétés dont ne dispose pas la fibre d'origine végétale et c'est manifestement ce contraste qui permet d'exposer les arguments favorables à la laine pour cet usage.

La laine est isolante, car ses fibres retiennent l'air ; elle est absorbante, car elle peut contenir jusqu'à 25 % de son poids en eau sans être mouillée ; elle est chaude, souple et solide. Ces qualités sont dues à la frisure de la fibre qui favorise la souplesse et l'élasticité du matériau ; sa structure en écailles lui confère des qualités d'absorption. Ces aptitudes font écho à ce que, avec logique, nous supposons utile à la construction des chalands. L'absorption permet de retenir les liquides, l'eau bien sûr, mais surtout la poix, maximisant ainsi la capacité d'étanchéité du matériau utilisé. La souplesse de la laine assurera quant à elle l'élasticité des joints d'étanchéité. Pour une structure amenée à travailler sans cesse au gré des actions mécaniques qui la contraignent, une certaine souplesse au niveau des points d'assemblage est requise.

36. Information personnelle, chantier de construction de l'*Hermione*, Corderie royale de Rochefort, Charente-Maritime.

### Les textiles recyclés comme témoins d'un circuit économique organisé

La mise en place des bourrelets d'étanchéité sur la coque des bateaux gallo-romains ne représente qu'un détail comparé à l'ensemble des techniques mises en œuvre pour la construction de l'ensemble. Pour les raisons évoquées en amont et sans doute aussi parce que ces amalgames poissés n'étaient pas supposés livrer d'informations essentielles, cet aspect n'a jusqu'alors pas été traité avec attention. Bien que des corporations de calfats aient existé au cours des siècles passés, les recherches sur le sujet ont peu souvent retenu l'attention (Corre 1898, p. 285).

Pourtant, les données recueillies grâce à l'analyse des collections anciennes ouvrent des perspectives nouvelles et montrent combien il est utile de multiplier les études de ce type. En même temps qu'elle alimente une base de connaissances générale, chaque série apporte des informations inédites. Celle-ci montre notamment qu'à l'époque romaine les tissus employés sur les chantiers de construction navale suivent un circuit organisé avant d'arriver dans les ports. De neuves, les étoffes deviennent usagées, sont sans doute recyclées plusieurs fois avant d'être mises en pièces pour un dernier usage tel que celui de matériau d'étanchéité. D'après nos observations, il est plausible que des balles de chiffons déchirés, triés par matière première et par qualité d'étoffe, soient arrivées sur les chantiers de construction navale. Cela suppose qu'en amont aient été collectés et traités les tissus usagés afin de les réintroduire dans un circuit touchant vraisemblablement de nombreux domaines d'activité. Il est éventuellement possible d'envisager des corporations de chiffonniers comme il en existait encore dans nos régions au XIX<sup>e</sup> s.

Fig. 127 : Récapitulatif des données techniques des tissus d'étanchéité prélevés sur le chaland Arles-Rhône 3 (F. Médard, Anatex).

n° prélèvement	n° de tissu	Fils Ch.(OY)/tr.(OX)	Réduction Ch.(OY)/tr.(OX)	Armure de tissage	Matière première	Spécificités du tissu
2006 #8	Tissu 1	simple/simple ; Z/Z ; 0,7-0,9/0,7-0,9 mm	7-8 fils/7-8coups	toile équilibrée	Laine / Laine	Bordure d'ouvrage avec restes de franges
	Tissu 2	simple/simple ; Z/Z ; 0,5-0,7/0,5-0,7 mm	10-12 fils/10-12 coups	toile équilibrée	Laine / Laine	Ourlet ; couture faite avec un fil S3z (diam : 1 mm)
	Tissu 3	retors/simple ; S2z /Z ; 0,8/0,5 mm	16 fils/8 coups	toile à dominante chaîne ou trame	Laine / Laine	Utilisation de fils retors dans un sens de tissage
	Tissu 4	retors/simple ; S2z /Z ; 0,8/0,5 mm	26 fils/14 coups	toile à dominante chaîne ou trame	Laine / Laine	Utilisation de fils retors dans un sens de tissage
	Tissu 5	simple/simple ; Z/Z ; 0,5/0,5 mm	30 fils/10 coups	toile à dominante chaîne ou trame	Laine / Laine	-
	Tissu 6	simple/simple ; Z/Z ; 0,6-0,8/0,6-0,8 mm	10 fils/10 coups	sergé de 2 lie 1	Laine / Laine	Tissu grossier
	Tissu 7	simple/simple ; Z/Z ; 0,2-0,3/0,2-0,3 mm	2x65 fils/16 coups	lousine ou cannelé de deux	Laine / Laine	Tissu de grande finesse
	Tissu 8	simple/simple ; Z/Z ; 0,3-0,4/0,3-0,4 mm	2x18 fils/10 coups	lousine ou cannelé de deux	Laine / Laine	-
	Tissu 9	simple/simple ; Z/Z ; 1/1 mm	6 fils/6 coups	sergé complexe ou toile simple	Laine / Laine	Tissu grossier
	Tissu 10	simple/simple ; Z/Z ; 0,2-0,3/0,2-0,3 mm	12 fils/50 coups	toile à dominante chaîne ou trame	Laine / Laine	Tissu de grande finesse
2007 #14	Tissu 2007 #14	simple/simple ; Z/Z ; 0,3-0,4/0,3 mm	30 fils/12 coups	toile à dominante chaîne	Laine / Laine	Anomalie de tissage sens chaîne
2009 #22	Tissu 1	simple/simple ; Z/Z ; 0,5-0,7/0,5-0,7 mm	21 fils/10 coups	toile à dominante chaîne ou trame	Laine / Laine	
	Tissu 2	simple/simple ; Z/S ; 0,5-0,6/0,5-0,6 mm	10 fils/10 coups	toile équilibrée	Laine / Laine	Fils de torsion différente selon le sens de tissage
2011 #6	Tissu 1	simple/simple ; Z/Z ; 0,8-0,9/0,3-0,4 mm	20-22 fils/10-11 coups	toile à dominante chaîne	Laine / Laine	Anomalie de tissage sens chaîne

n° prélèvement	n° de tissu	Fils Ch.(OY)/tr.(OX)	Réduction Ch.(OY)/tr.(OX)	Armure de tissage	Matière première	Spécificités du tissu
	Tissu 2	simple/simple ; Z/Z ; 0,3/0,3 mm	10 fils/2 x 24 coups	cannelé de deux	Laine / Laine	Anomalies de tissage sens trame
	Tissu 3	simple/simple ; Z/Z ; 0,3/0,3 mm	30 fils/30 coups	sergé de 2 lie 2	Laine / Laine	Tissu très fin
	Tissu 4	simple/simple ; Z/Z ; 0,8-0,9/0,3-0,4 mm	22 fils/5 coups	toile à dominante chaîne	Laine / Laine	Présence d'une lisière ; anomalie de tissage sens chaîne et trame
	Tissu 5	simple/simple ; Z/Z ; 0,2/0,4 mm	15-18 fils/2 x 17 coups	cannelé de deux	Laine / Laine	Anomalies de tissage sens trame
	Tissu 6	simple/simple ; Z/Z ; 0,2/0,5 mm	16 fils/ 25-26 coups	toile à dominante trame	Laine / Laine	Lisière latérale
	Tissu 7	simple/simple ; Z/Z ; 0,2/0,2-0,5 mm	9-10 fils/ 2 x 17 coups	cannelé de deux	Laine / Laine	Anomalie de tissage sens trame
	Tissu 8	simple/simple ; Z/Z ; 0,1-0,2/0,5 mm	7-8 fils/ 20-22 coups	toile à dominante trame	Laine / Laine	-
	Textile 9	fibres agglomérées	structure non tissée	feutre	Laine	-
2011 #7	Tissu 1	simple/simple ; Z/Z ; 0,3/0,3 mm	32 fils/15 coups	toile à dominante chaîne ou trame	Laine / Laine	Tissu fin
	Tissu 2	simple/simple ; Z/Z ; 0,4-0,5/0,2-0,3 mm	25 fils/10 coups	toile à dominante chaîne ou trame	Laine / Laine	Tissu fin
	Tissu 3	simple/simple ; Z/Z ; 0,5-0,7/0,5-0,7 mm	10-12 fils/15 coups	sergé de 2 lie 2	Laine / Laine	Tissu moyennement fin
	Tissu 4	simple/simple ; Z/Z ; 1/1 mm	8 fils/8 coups	sergé de 2 lie 2	Laine / Laine	Tissu grossier
	Tissu 5	simple/simple ; Z/Z ; 0,2/0,2 mm	17-18 fils/2 x 15 coups	lousine ou cannelé de deux	Laine / Laine	Tissu fin
	Tissu 6	simple/simple ; Z/Z ; 0,1-0,2/0,1-0,2 mm	12 fils/2 x 30 coups	lousine ou cannelé de deux	Laine / Laine	Tissu de grande finesse
2011 #8	Tissu 1	simple/simple ; Z/Z ; 0,8/0,8 mm	12 fils/12 coups	sergé de 2 lie 2	Laine / Laine	Tissu moyennement fin
	Tissu 2	simple/simple ; Z/Z ; 0,2/0,2 mm	20 fils/2 x 32 coups	cannelé de deux	Laine / Laine	Tissu très fin
	Tissu 3	simple/simple ; Z/Z ; 0,2/0,5 mm	12 fils/24 coups	toile à dominante chaîne ou trame	Laine / Laine	Tissu fin
	Tissu 4	simple/simple ; Z/Z ; 0,4-0,5/0,3 et 0,6 mm	18 fils/10 coups	toile à effet de trame	Laine / Laine	Alternance de deux qualités de fils en trame. Tissu fin
	Tissu 5	simple/simple ; Z/Z ; 0,3/0,4 mm	10 fils/34 coups	toile à dominante trame	Laine / Laine	Tissu fin
	Tissu 6	simple/simple ; Z/Z ; 0,2/0,2-0,3 mm	18 fils/2 x 10 coups	sergé de 2 lie 1	Laine / Laine	Trame en cannelé de deux coups. Tissu fin
	Tissu 7	Simple et retors/ simple ; Z et S2z/Z ; 0,8 et 0,5/0,2 mm	10 fils/27-28 coups	sergé de 2 lie 1	Laine / Laine	Dominante trame. Tissu très fin
2011 #12	Tissu 2011 #12	simple/simple ; Z/Z ; 2/2 mm	4-6 fils/4-6 coups	sergé de 2 lie 2	Laine / Laine	Tissu grossier
2011 #22	Tissu 1	simple/simple ; Z/Z ; 0,6-0,7/0,6-0,7 mm	10 fils/ 10 coups	losangé brisé 2-2	Laine / Laine	Nombreuses erreurs de tissage dans les deux sens
	Tissu 2	simple/simple ; Z/Z ; 0,2-0,4/0,5 mm	8 fils/2 x 11 coups	cannelé de deux	Laine / Laine	Présence de lignes décoratives

## La poix utilisée pour l'étanchéité du bateau

Analyses moléculaire et isotopique des matériaux d'étanchéité du chaland Arles-Rhône 3

Pauline BURGER

### Introduction

L'analyse de dix-huit échantillons (fig. 21), appartenant aux matériaux d'étanchéité (poix pures et tissus poissés) collectés sur le chaland *Arles-Rhône 3*, a été réalisée afin de déterminer leur composition, de caractériser certains détails de leur production et d'évaluer leur état de dégradation. Cette étude a été entreprise dans le cadre du projet AMPT (*Ancient Maritime Pitch and Tar: a multi-disciplinary study of sources, technology and preservation*) qui concerne l'étude des sources botaniques et géographiques, les technologies de production et la conservation des poix anciennes<sup>37</sup>.

Pour mémoire, rappelons qu'il est important de distinguer les termes « résine » (exsudat naturel) et « poix » (produit de transformation obtenu par chauffage soit de bois résineux soit de résine pure).

### Préparation et analyse des échantillons

- Extraction organique et CG-SM

Les échantillons ont été extraits et analysés par CG-SM selon le protocole décrit par P. Burger (2012).

- Extraction en vue des analyses isotopiques

L'extraction de chaque sous-échantillon a été réalisée à l'aide de 1 mL de dichlorométhane. Cet extrait a ensuite été centrifugé à 4 000 rpm durant dix minutes, et le surnageant séché sous flux d'azote avant d'être envoyé à l'Université de Bradford (Royaume-Uni), pour mesure<sup>38</sup>.

### Résultats et discussion

- Analyse moléculaire

Les matériaux d'étanchéité analysés sont constitués de diterpénoïdes tricycliques dérivés de l'abiétane et du pimarane (fig. 128) : ces composés sont communément acceptés comme étant les marqueurs chimiques caractéristiques des produits archéologiques dérivés de conifères (Mills, White 1994).

Certains des échantillons contiennent du rétène, le produit final formé à partir d'acides diterpéniques lors du traitement thermique requis pour la production de poix. Un certain nombre de produits intermédiaires du processus de production de la poix, tels que les norabiétatriènes, ont également été détectés dans ces échantillons (Egenberg, Glastrup 1999). Ainsi, les données moléculaires obtenues par CG-SM indiquent que les résidus analysés correspondent à de la poix de conifère, plutôt qu'à de la résine brute.

La question se pose alors de savoir si cette poix a été produite par chauffage de résine ou de bois résineux. La présence d'esters méthyliques résiniques dans une poix indique que celle-ci a été produite à partir de bois : la formation de tels esters requiert la présence de méthanol et d'un catalyseur acide libérés lors du chauffage du bois (Colombini *et al.* 2003). Lorsqu'aucun ester méthylique résinique n'est identifié dans une poix, la question du matériau de départ reste ouverte puisqu'il a été observé que ces esters pouvaient être reconvertis en acides libres avec le temps (Egenberg, Glastrup 1999). Ainsi, si la présence d'esters méthyliques est une indication de l'utilisation de bois comme matériau de départ, leur absence n'est pas forcément indicatrice de l'utilisation de résine. Dans le cas présent, aucun ester méthylique résinique n'ayant été identifié, il n'est pas possible de dresser de conclusion quant à la nature du matériau employé pour produire ces poix.

Il a été suggéré par ailleurs que le degré de décarboxylation des composés entrant dans la composition d'une poix constitue un indicateur de la température atteinte lors de la production de celle-ci (Egenberg, Holtekjølen, Lundanes 2003). La présence d'acides résiniques non altérés, c'est-à-dire présents initialement dans la résine, conjointement à celle du rétène, indique que ces poix ont été produites à des températures comprises entre 300 et 350 °C (Beck, Stout, Jänne 1993 ; Egenberg, Glastrup 1999).

L'acide 7-oxo-déhydroabiétique, formé à partir d'acide déhydroabiétique après une exposition prolongée à l'air et à la lumière (van den Berg *et al.* 1996), a été identifié dans certains des échantillons analysés. L'épave a été retrouvée dans le lit du Rhône, un environnement présentant peu ou pas d'oxygène et de lumière, ce qui implique que ce composé résulte vraisemblablement de l'altération de la poix lorsque le chaland naviguait encore. Toutefois, le fait que ce composé soit minoritaire par rapport à son précurseur et qu'il ne

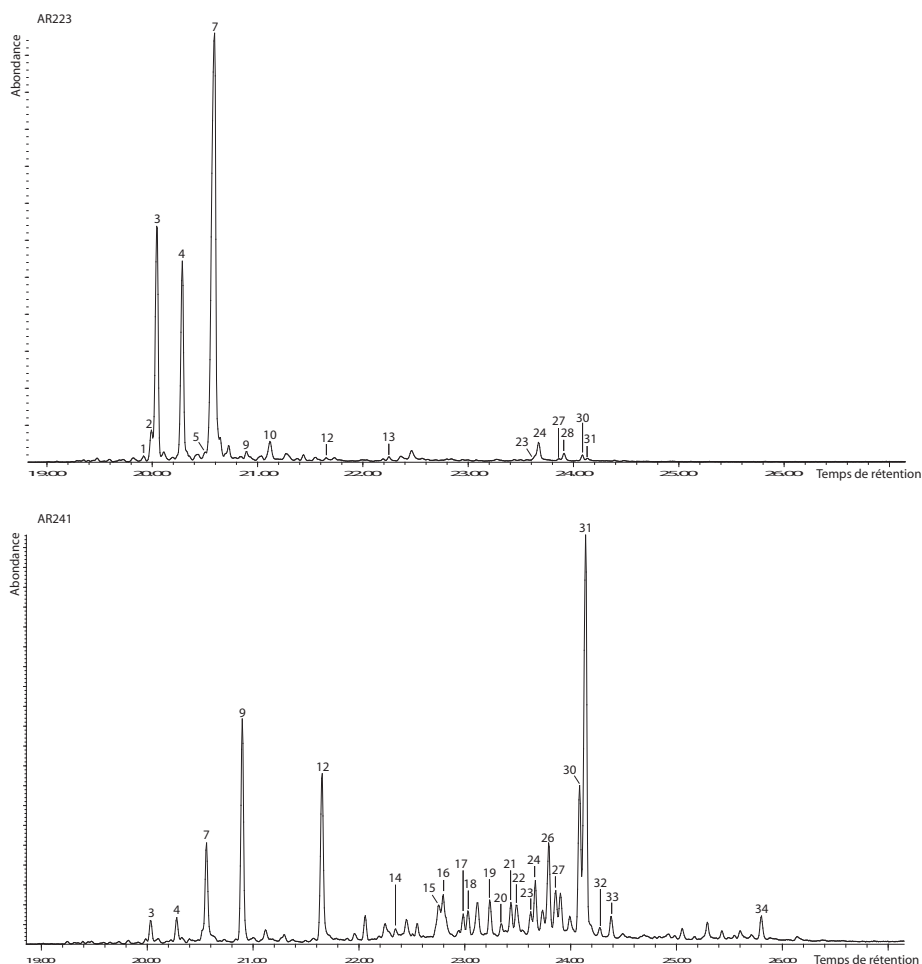
37. Le projet AMPT (PIEF-GA-2009-253942 – AMPT) a été financé par les Marie-Curie Actions.

38. L'auteur tient à remercier le Dr L. J. Clarke, *Stable Light Isotope Facility*, pour son aide.



**Fig. 128:** Exemples de profils chromatographiques de deux des échantillons collectés sur la coque du chaland Arles-Rhône 3.

\* **1** norabiétène (isomère); **2** norabiétène (isomère); **3** isonorpimarane; **4** norpimarane; **5** norabiétène (isomère); **6** 18-norabiéta-8,11,13-triène; **7** norabiétane; **8** norabiétène (isomère); **9** 19-norabiéta-8,11,13-triène; **10** 10,18-bisnorabiéta-8,11,13-triène; **11** diméthylphénanthrène; **12** 10,18-bisnorabiéta-5,7,9 (10),11,13-pentaène; **13** 1-méthyl-10,18-bisnorabiéta-8,11,13-triène; **14** 9-butyl-1,2,3,4-tétrahydroanthracène; **15** rétène; **16** acide 5 alpha-9,10-seco-déhydroabiétique TMS; **17** acide 5 beta-9,10-seco-déhydroabiétique TMS; **18** Acide palustrique TMS (isomère); **19** acide palustrique TMS (isomère); **20** acide 8-pimarèn-18-oïque TMS; **21** acide 8-abiétèn-18-oïque TMS; **22** acide pimarique TMS; **23** 9-méthylrétène; **24** acide abiétan-18-oïque TMS (isomère); **25** acide isopimarique TMS; **26** acide 13b-abiét-8(14)-èn-18-oïque TMS; **27** acide abiétan-18-oïque TMS (isomère); **28** acide abiétan-18-oïque TMS (isomère); **29** diméthylrétène; **30** acide abiétan-18-oïque TMS (isomère); **31** acide déhydroabiétique TMS; **32** acide abiéta-6,8,11,13-tétraénoïque TMS; **33** acide abiétique TMS; **34** acide 7-oxo-déhydroabiétique TMS; **35** acide palmitique TMS; **36** acide oléique TMS (isomère); **37** acide oléique TMS (isomère).  
TMS = dérivés triméthylsilylés.



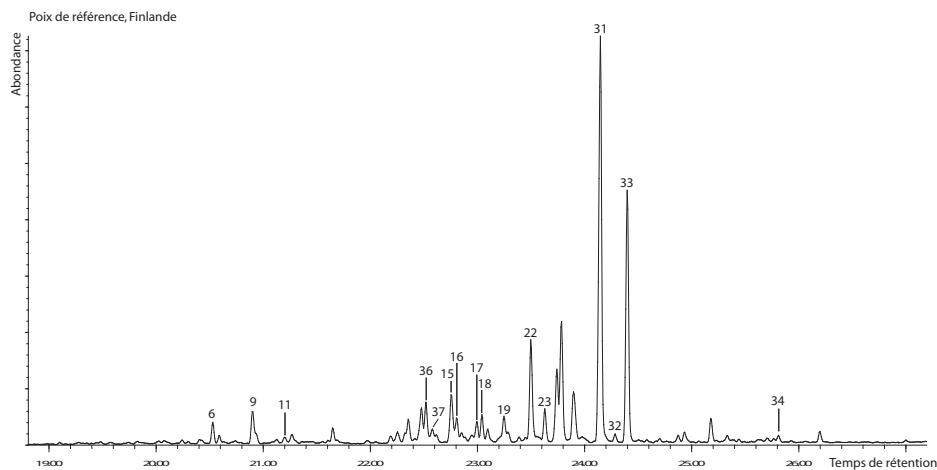
soit pas associé à des composés encore plus oxydés semble indiquer que ces matériaux d'étanchéité n'ont pas subi une oxydation très poussée. En ce point, ces matériaux sont très similaires à ceux des épaves gallo-romaines du Parc Saint-Georges à Lyon (Connan, Charrié-Duhaut 2010).

Hormis les diterpénoïdes, certains échantillons contiennent également de faibles quantités d'acide palmitique et de deux isomères de l'acide oléique, des acides endogènes des poix (Egenberg, Holtekjølén, Lundanes 2003).

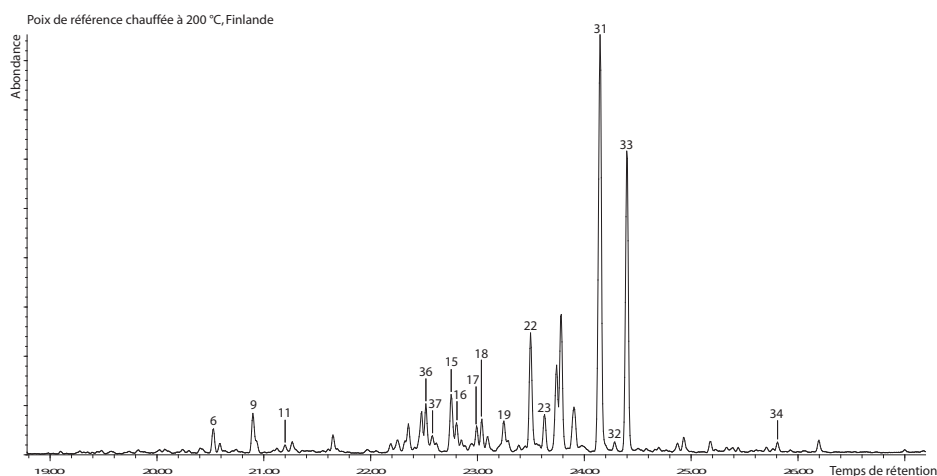
#### Échantillons AR232, AR234 et AR241 (série 1)

L'acide déhydroabiétique a été caractérisé comme étant le composé principal dans ces trois échantillons. Cependant, la détection d'isomères de l'acide abiétan-18-oïque (ou acide tétrahydroabiétique) en proportions importantes dans ces échantillons constitue une particularité rarement mentionnée dans la littérature. M. Reunanen, R. Ekman, M. Heinonen (1989) suggèrent que ce composé est formé par une réaction de dismutation d'acides résiniques lorsque de la poix est chauffée, notamment pour rendre son application sur la coque d'un navire plus aisée. Afin de tester cette hypothèse, de la poix fraîche provenant de Finlande et ne contenant aucun de ces isomères a été chauffée durant une heure à 200 °C puis analysée par CG-SM (fig. 129) : aucun isomère de l'acide abiétan-18-oïque n'a été formé (au delà de 200 °C, la poix se transforme en un produit plus visqueux (*pitch*), plus difficile à appliquer sur une coque. Cf. Egenberg 2003). Ainsi, les isomères détectés ici semblent avoir une origine différente.

Un grand nombre d'études de microbiologie traitant des processus de biodégradation des acides résiniques a été réalisé suite à leur détection dans les effluents traités biologiquement qui sont rejetés par les papeteries (Lahdelma, Oikari 2005 ; Liss, Bicho, Saddler 1997 ; Martin, Yu, Mohn 1999). L'acide abiétan-18-oïque constitue l'un des acides dominant dans ces effluents (Zender *et al.* 1994) et il a été suggéré qu'il dérive de l'acide abiétique par une hydrogénation induite biologiquement (Wilkins, Healy, Leipe 1997). Nous suggérons donc qu'une telle hydrogénation est responsable de la formation des



**Fig. 129 :** Chromatogrammes des extraits organiques de la poix de référence produite dans un four à poix traditionnel en Finlande et de la même poix réchauffée à 200° C. Pour l'identification des composés, voir fig. 128.



isomères de l'acide abiétan-18-oïque détectés dans nos échantillons : une association particulière de micro-organismes se développant dans les eaux ou les sédiments environnant l'épave doit très certainement être impliquée dans ce processus.

#### Échantillons AR223-AR225, AR227-AR231, AR233, AR235-AR240 (série 2)

Les profils chromatographiques de ces échantillons sont très similaires à celui de la poix du chaland de Chalon-sur-Saône analysée par J. Connan (Lonchambon, Bonnamour 2009) et à ceux des poix dites altérées étudiées par J. Connan et A. Charrié-Duhaut (2010) : le norabiétane apparaît comme le composé majoritaire dans ces échantillons, et ce, très certainement, par un effet de « concentration » en CG-SM. En effet, les autres diterpénoides disparaissant sous les effets de l'altération, le norabiétane, un diterpène saturé donc stable, domine le chromatogramme. Ainsi, ces échantillons semblent avoir subi une dégradation liée aux conditions anaérobiques environnementales plus poussée que les échantillons précédents.

#### Cartographie des poix sur l'épave

Nous avons donc mis en évidence deux séries de poix distinctes sur la base de leur composition moléculaire et ce, indépendamment du fait qu'il s'agisse de poix pure ou de poix collectée sur du tissu de lutage : les poix de la série 2 semblent être plus altérées que celles de la série 1.

Ces deux groupes de poix pourraient correspondre à deux lots de poix différents utilisés au moment de la construction du chaland, pour assurer deux fonctions différentes ou pour deux zones distinctes du chaland. Cependant, cette hypothèse semble peu plausible étant donné qu'aucune répartition spatiale évidente de ces deux séries de poix n'a été observée sur la coque.

Alternativement, les poix de la série 2 pourraient correspondre aux matériaux d'étanchéité appliqués au moment de la construction du chaland. Les poix de la série 1 constitueraient alors un lot de poix appliqué plus tardivement sur le chaland, au cours d'une réparation de la coque (ex : nouvelle application d'enduit d'étanchéité sur une zone

de la coque où cela s'avérait nécessaire, remplacement d'une planche de construction suite à une avarie). Cette seconde hypothèse est plus vraisemblable ici, étant donné que les trois échantillons de cette série ont été collectés sur une zone restreinte de la coque, au niveau de la poupe. Ces échantillons proviennent néanmoins de deux types de prélèvements différents : deux proviennent d'un amalgame recouvrant directement la sole, proche de la membrure M95 (AR234 et AR241), tandis que le troisième provient d'un tissu poissé pris entre les bordages B2 et B4 (AR232), proche de la membrure M101. Dans la mesure où aucune réparation n'a été observée à ce niveau de la coque, on peut donc supposer une protection ultérieure de l'intérieur de la sole par un enduit d'étanchéité provenant d'une source stockée sur le bateau et qui aurait impacté le bourrelet d'étanchéité débordant du joint B2-B4. Cette protection est peut-être à mettre en relation avec la zone de vie située à cette extrémité du chaland (*infra*, p. 271).

- Analyses isotopiques

Le tableau de la figure 130 présente une synthèse des données isotopiques du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) obtenues selon la méthode décrite par Stern *et al.* (2006). Ces auteurs avaient noté une tendance linéaire à l'appauvrissement en  $\delta^{13}\text{C}$  des échantillons quand la latitude d'origine du matériau augmente. Nous avons choisi d'étudier l'isotopie des échantillons dans leur globalité plutôt que celle de la fraction des asphaltènes correspondante, en raison de la petitesse et de la préciosité intrinsèque des échantillons archéologiques.

La faible variabilité des valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  obtenues pour les poix du chaland semble indiquer une source géographique unique pour l'essence de conifère utilisée pour la production de ces poix, et celle-ci pourrait être d'origine méditerranéenne. En effet, ces valeurs s'accordent bien avec celle obtenue pour la poix de conifère retrouvée dans une amphore (BM 1886,0401.1291) datée du VI<sup>e</sup> s. av. J.-C. (NA189, Tableau 02), découverte dans le Sanctuaire d'Apollon à Naucratis (Égypte) qui est selon toute vraisemblance d'origine méditerranéenne (données personnelles non publiées). Elles sont également en accord avec celles obtenues par J. Connan et A. Charrié-Duhaut (2010), sur les asphaltènes de poix d'origine très probablement méditerranéenne.

Fig. 130 : Données isotopiques du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$  en ‰/PDB).

Référence	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ (‰)	Moyenne $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ (‰)
AR225	-24,5	-24,5
	-24,4	
AR227	-24,4	-24,3
	-24,2	
AR232	-24,1	-24,2
	-24,2	
AR234	-24,9	-24,9
	-24,8	
AR236	-24,4	-24,3
	-24,2	
AR241	-25,1	-24,9
	-24,8	
NA189	-24,3	-24,4
	-24,5	

### Conclusions

Les résidus organiques appartenant aux matériaux d'étanchéité du chaland ont été analysés par CG-SM. Il s'agit de poix, c'est-à-dire de produits pyrolytiques obtenus par distillation de résine ou de bois résineux de conifère à des températures très certainement supérieures à 300 °C mais n'excédant pas 350 °C. Ces poix ont été soumises à des processus d'oxydation peu poussés, liés à leur exposition à la lumière et à l'eau, du temps où le chaland naviguait encore. Les particularités moléculaires de ces échantillons résultent de la combinaison de l'activité microbienne modérée et des conditions réductrices prenant place dans l'environnement de dépôt de l'épave.

Ces poix présentent des profils moléculaires très similaires à ceux obtenus par J. Connan (Lonchambon, Bonnamour 2009) et par J. Connan et A. Charrié-Duhaut (2010) pour les poix collectées sur des épaves gallo-romaines, ce qui suggère une technologie de la poix adoptée communément à cette époque pour le lutage et l'étanchéité des chalands du bassin rhodanien.

Aucune distinction moléculaire n'a pu être établie entre les poix pures et les poix collectées sur des tissus poissés. Les deux catégories distinctes de poix observées sur la coque

du chaland correspondent vraisemblablement à la poix appliquée au moment de la construction du chaland (série 2) et à une poix de protection, en lien avec la zone de vie située à la poupe (série 1). L'isotopie du carbone nous ayant permis de déterminer que ces deux séries de poix provenaient très certainement d'une aire géographique unique, probablement méditerranéenne, la poix de la série 1, moins dégradée que celle de la série 2, pourrait avoir été produite au même moment que cette dernière et aurait été transportée à bord afin de palier rapidement une éventuelle avarie.

*L'apport de l'étude du contenu en pollen et en spores de champignons coprophiles des matériaux d'étanchéité du chaland d'Arles-Rhône 3*

Valérie ANDRIEU-PONEL, Dahvya BELKACEM, Philippe PONEL

### Introduction

L'analyse du contenu pollinique des archives sédimentaires permet de reconstruire à grands traits l'histoire des anciennes végétations et des anciens climats d'un espace géographique donné et pour une période généralement bien datée, grâce à l'usage de radio-éléments dont le  $^{14}\text{C}$ . Le pollen et les spores sont de merveilleux objets biologiques qui ont la capacité de résister au temps et aux processus de dégradation qui se mettent inmanquablement à l'œuvre dès les premiers temps de la sédimentation. L'ensemble de ces microrestes contribue, par la diversité de leur statut biologique (des arbres, des herbes, des fougères...), des biotopes qu'ils occupent, de leur fonctionnement spécifique et de leurs exigences climatiques parfois étroites, à mieux connaître la composition, l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes du passé. L'interprétation paléoécologique des données biologiques repose sur le principe de l'actualisme, un postulat qui s'appuie sur l'idée que la forme et le fonctionnement biologique des êtres vivants n'ont pas changé au cours du dernier million d'années.

Lorsqu'elle est appliquée aux matériaux d'étanchéité, l'analyse pollinique permet d'obtenir des informations sur les anciens écosystèmes au sein desquels les poix ont été fabriquées et sur les lieux fréquentés par les bateaux (Andrieu-Ponel 2010, 2011, 2012; Argant 2010; Girard 1978; Weinstein-Evron, Chaim 2003; Bui Thi Mai, Girard 2006). Le message paléoécologique livré par les poix est plus difficile à interpréter que celui des archives naturelles car ces matériaux sont de fabrication artisanale et ils ont été manipulés et transportés par l'artisan qui les a élaborés. L'identification du pollen de plantes caractéristiques d'une région permet toutefois de savoir dans quelle aire biogéographique le bateau a été construit et réparé, et si les réparations ont été faites au même endroit ou dans des ports différents.

### Échantillons traités et technique d'extraction du matériel sporo-pollinique

Sur les 25 échantillons traités, 15 seulement se sont révélés riches en pollen, spores et autres microrestes biologiques (fig. 21).

Les techniques utilisées pour extraire le pollen des matériaux d'étanchéité d'*Arles-Rhône 3* sont décrites en détail dans Andrieu-Ponel (2010). Sommairement, elles consistent à éliminer, à l'aide de solvants, les résines composant une grande partie de ces échantillons et à détruire le plus possible de cellulose (celle des fibres des tissus poissés) avec des bases (de la potasse par exemple) et un mélange oxydant (acétolyse). Les matières minérales, quand il y en a, sont dissoutes dans des acides. Le matériel sporo-pollinique est ensuite monté entre lame et lamelle, la lecture de la lame est effectuée à l'aide d'un microscope photonique et les taxons polliniques et non polliniques (les algues, les champignons, les microrestes animaux) sont identifiés à l'aide de la collection de référence pollinique de l'IMBE et des ouvrages et articles de Maurice Reille (1992, 1995, 1998), Bas van Geel (1978) et Carole Cugny *et al.* (2010).

Les résultats des analyses ont été réunis dans des diagrammes polliniques (fig. 131 à 135). Des catégories écologiques par écosystèmes ont été établies. La correspondance entre les noms scientifiques et les noms vernaculaires des taxons identifiés à *Arles-Rhône 3* apparaît dans le tableau de la figure 136.

### Le résultat des analyses polliniques

Les 15 échantillons pollinifères ont révélé la présence de 132 taxons dont 38 arbres, 75 plantes herbacées, 4 fougères, 2 algues, 7 spores et microrestes de champignon, deux thèques de thécamoebiens (des amibes) et deux thèques de Dinoflagellés (des algues), 2 microrestes d'arthropodes (fragments d'yeux composés et de mandibules), et un microreste d'étamine de chêne pubescent.

La richesse taxonomique moyenne pour les 15 échantillons est de 41.3 taxons, et varie de 31 à 53 taxons dans 2 échantillons (respectivement #5 (2011) et #21 (2009)) provenant de l'arrière du bateau. La diversité taxonomique des autres échantillons ne semble dépendre

ni du type de support d'étanchéité (tissu ou non), ni de la position des échantillons dans le bateau (aux extrémités ou au centre, dans la zone de chargement). La diversité floristique de la poix d'Arles-Rhône 3 est un élément surprenant pour ce type de matériau qui est de fabrication artisanale et n'est pas connu pour être un bon piège à pollen. L'histoire compliquée de ces poix associée à celle de la barge, et les paysages variés et ouverts de l'époque romaine dans le sud-est de la France – des écosystèmes forestiers côtoyaient des agrosystèmes rustiques à la flore très diversifiés (Triat-Laval 1978 ; Andrieu-Ponel *et al.* 2000a et b) – peuvent expliquer cette richesse.

ARLES 3, matériau d'étanchéité, épave romaine

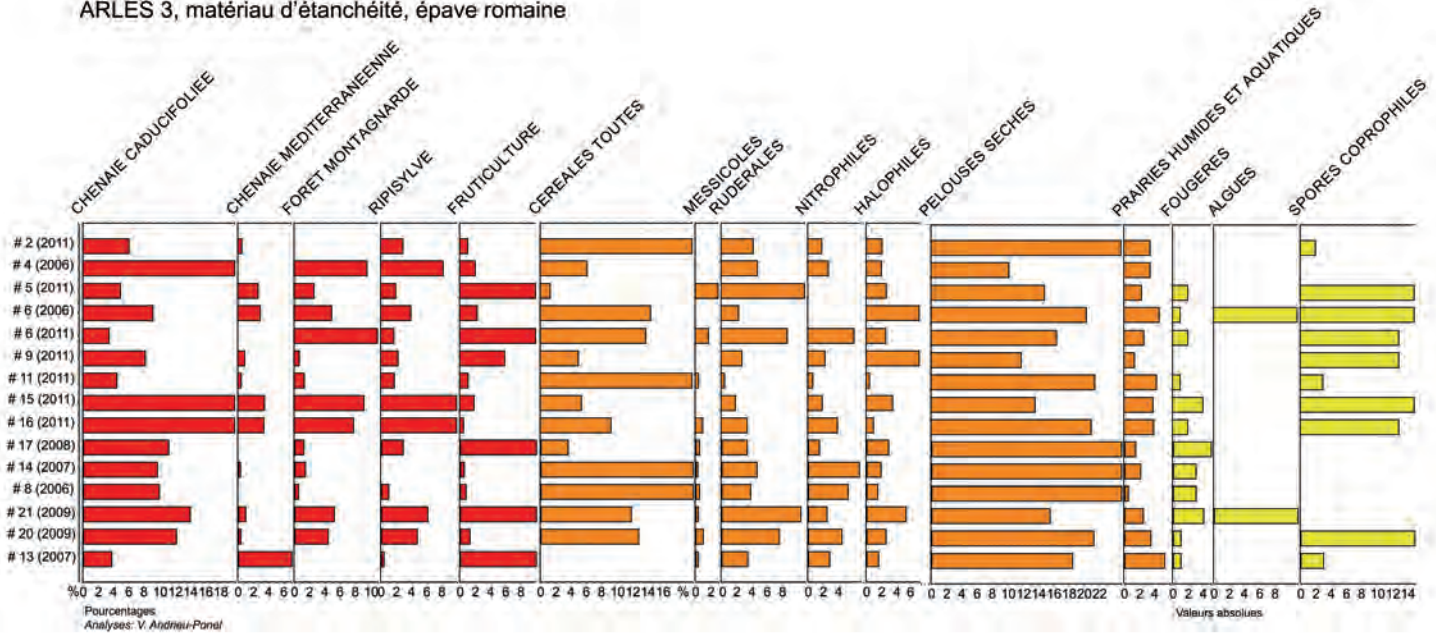


Fig. 131 : Diagramme pollinique synthétique de l'épave Arles-Rhône 3. Les valeurs sont représentées en pourcentages (calculés sur une somme pollinique de laquelle ont été exclus les cryptogames et les palynomorphes non polliniques) et en valeurs absolues (valeurs de comptage).

ARLES 3, matériau d'étanchéité, épave romaine

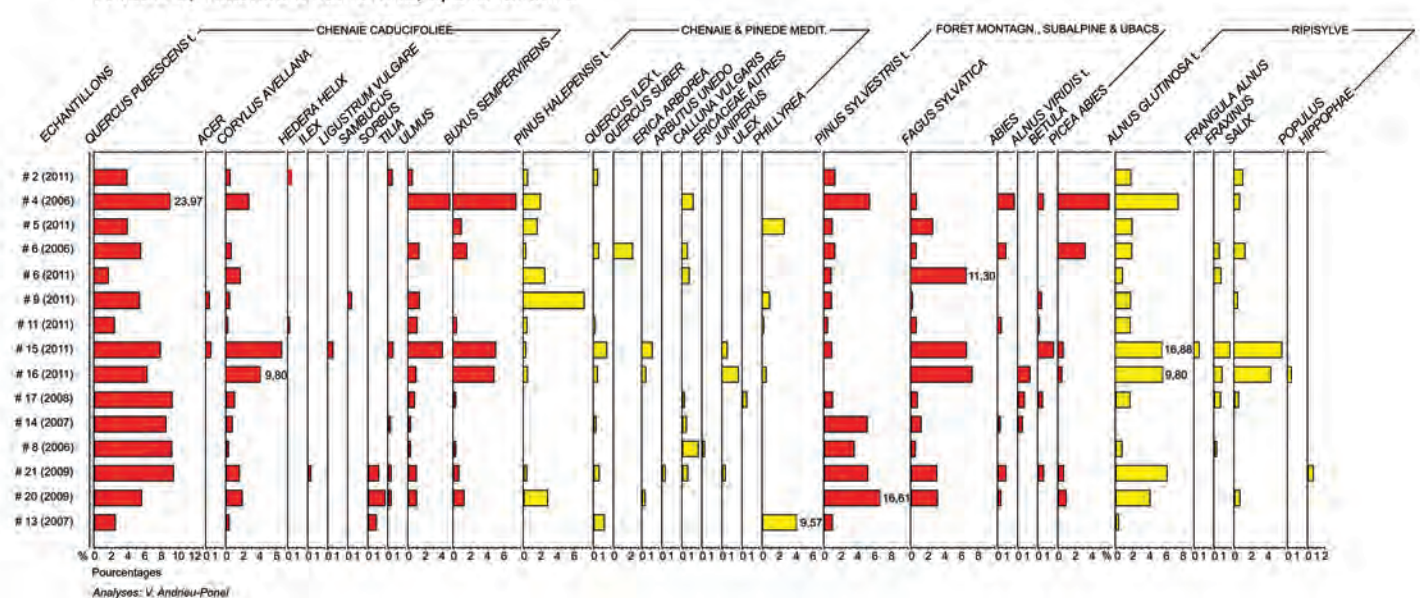
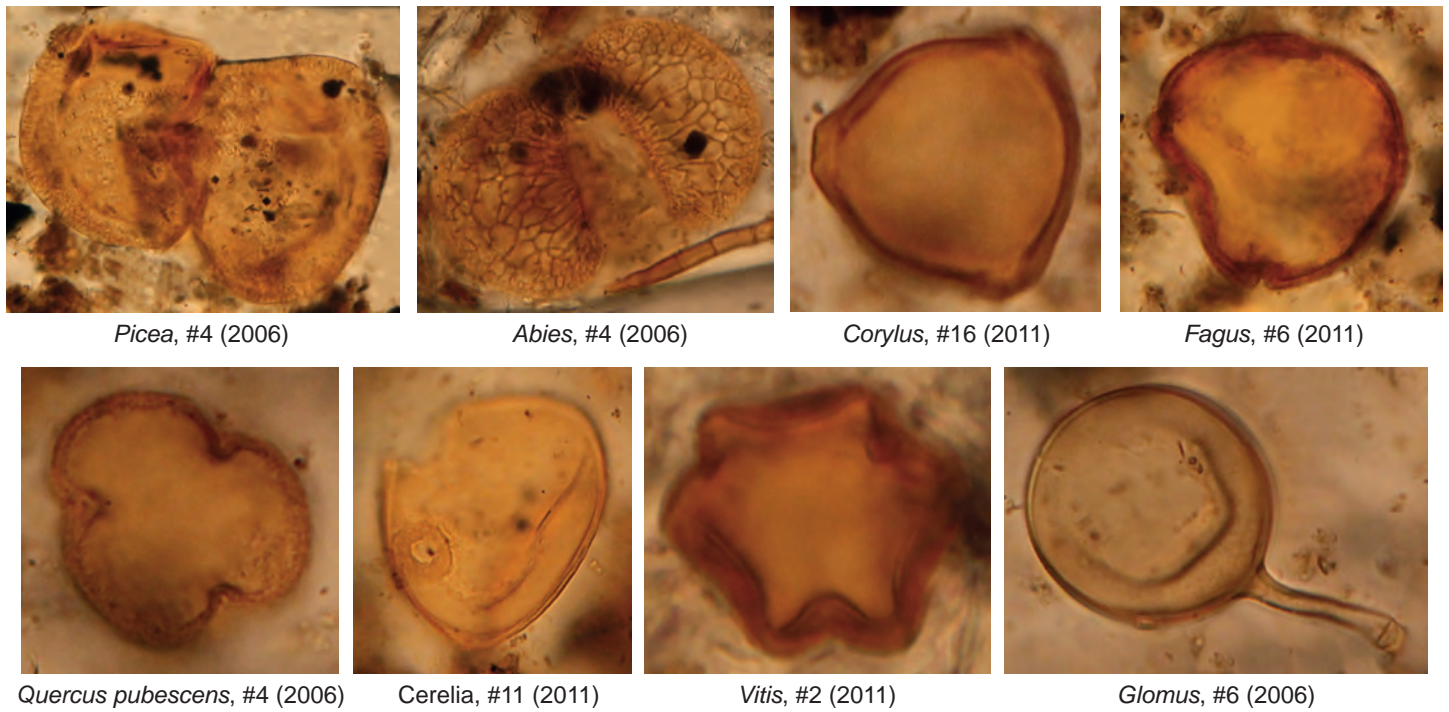


Fig. 132 : Diagramme pollinique de l'épave Arles-Rhône 3. Les valeurs sont représentées en pourcentages (calculés sur une somme pollinique de laquelle ont été exclus les cryptogames et les palynomorphes non polliniques) et en valeurs absolues (valeurs de comptage). Les pourcentages importants sont représentés par des chiffres. Abréviations : medit. : méditerranéenne ; montagn. : montagnarde ; t. : type pollinique (ce sont des types morphologiques).



Fig. 136 : Correspondance des noms scientifiques et des noms vernaculaires des taxons polliniques et non polliniques identifiés sur Arles-Rhône 3.

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nom vernaculaire
<i>Abies</i>	Sapin	<i>Lythrum</i>	Salicaire
<i>Acer</i>	Erable	<i>Malva</i>	Mauve
<i>Aconitum</i>	Aconit	<i>Mentha</i>	Menthe
<i>Agrostemma githago</i>	Nielle des blés	<i>Mercurialis</i>	Mercuriale
<i>Alnus glutinosa</i>	Aulne glutineux	<i>Odontites</i>	Odontites
<i>Alnus viridis</i>	Aulne Vert	<i>Olea</i>	Olivier
<i>Ammi</i>	Ammi	<i>Ononis</i>	Ononis
<i>Anemone nemorosa</i>	Anémone des bois	<i>Onopordon</i>	Onopordon
<i>Anthemis</i>	Anthémis	<i>Pediastrum</i>	Pediastrum
Apiaceae	Apiacées	<i>Phillyrea</i>	Filaire
<i>Arbutus unedo</i>	Arbousier	<i>Picea abies</i>	Épicéa
<i>Arcella artocrea</i>	Arcella artocrea	<i>Pimpinella</i>	Anis
<i>Artemisia</i>	Armoise	<i>Pinus halepensis t.</i>	Pin d'Alep
<i>Aster</i>	Aster	<i>Pinus sylvestris t.</i>	Pin sylvestre
<i>Atriplex</i>	Arroche	<i>Plantago coronopus</i>	Plantain corne de cerf
<i>Betula</i>	Bouleau	<i>Plantago lanceolata</i>	Plantain lancéolé
<i>Blackstonia</i>	Blackstonie	<i>Plantago major</i>	Grand plantain
<i>Botryococcus</i>	<i>Botryococcus</i>	<i>Platanus</i>	Platane
Brassicaceae	Brassicacées	Poaceae	Poacées, Graminées
<i>Buxus sempervirens</i>	Buis	<i>Podospora polysporus</i>	<i>Podospora polysporus</i>
<i>Calendula</i>	Souci	<i>Polygonum aviculare</i>	Renouée des oiseaux
<i>Calluna vulgaris</i>	Callune	<i>Polygonum bistorta</i>	Bistorte
<i>Calystegia</i>	Calystegia	<i>Polygonum persicaria</i>	Renouée persicaire
<i>Cannabis</i>	Chanvre	<i>Polypodium vulgare</i>	Polypode
<i>Castanea sativa</i>	Châtaignier	<i>Populus</i>	Peuplier
<i>Centaurea collina</i>	<i>Centaurea collina</i>	<i>Potentilla</i>	Potentille
<i>Centaurea nigra</i>	Centaurée noire	<i>Prunus</i>	Prunier, Prunellier
<i>Cerastium</i>	Céraiste	<i>Pteridium aquilinum</i>	Fougère aigle
Cerealialia	Céréales	<i>Quercus pubescens</i>	Chêne pubescent
Chenopodiaceae	Chénopodiacées	<i>Quercus ilex</i>	Chêne vert
Cichorioideae	Cichorioidées	<i>Quercus suber</i>	Chêne liège
<i>Cirsium</i>	Cirse	<i>Ranunculus</i>	Renoncule
<i>Corylus avellana</i>	Noisetier	<i>Ranunculus lanuginosus</i>	Renoncule laineuse
Cyperaceae	Cyperacées	Rosaceae	Rosacées
<i>Dianthus</i>	Œillet	<i>Rosmarinus</i>	Romarin
<i>Draba</i>	Drave	<i>Rumex</i>	Oseille
<i>Erica arborea</i>	Bruyère arborescente	<i>Rumex conglomeratus</i>	Patience agglomérée
Ericaceae	Ericacées	<i>Sagina</i>	Sagine
<i>Euphorbia</i>	Euphorbe	<i>Salix</i>	Saule
<i>Fagus sylvatica</i>	Hêtre	<i>Sambucus</i>	Sureau
<i>Filipendula</i>	Spirée	<i>Sanguisorba minor</i>	Pimprenelle
<i>Frangula alnus</i>	Bourdaine	<i>Scleranthus</i>	Scléranthe
<i>Fraxinus</i>	Frêne	<i>Scutellaria</i>	Scutellaria
<i>Galeopsis</i>	Galéopsis	<i>Secale cereale</i>	Seigle
<i>Galium</i>	Gaillet	<i>Sedum</i>	Sedum
<i>Gentiana pneumonanthe</i>	Gentiane	<i>Silene</i>	Silène
<i>Geranium</i>	Géranium	<i>Sinapis</i>	Moutarde
<i>Glomus</i>	Glomus	<i>Sorbus</i>	Sorbier
<i>Hedera helix</i>	Lierre	<i>Spergula</i>	Spergule
<i>Helianthemum</i>	Hélianthème	<i>Sporormiella</i>	<i>Sporormiella</i>
<i>Hippophae</i>	Argousier	<i>Succisa pratensis</i>	Mors-du-diable
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	Ecuelle-d'eau	<i>Tamarix</i>	Tamaris
<i>Hypecoum</i>	Cumin	<i>Tilia</i>	Tilleul
<i>Ilex</i>	Houx	<i>Trifolium</i>	Trèfle
<i>Juglans regia</i>	Noyer	<i>Turgenia latifolia</i>	Caucalis à larges feuilles
<i>Juniperus</i>	Genévrier	<i>Ulex</i>	Ajonc
<i>Lemna</i>	Lentille d'eau	<i>Ulmus</i>	Orme
<i>Ligustrum vulgare</i>	Troène	<i>Urtica</i>	Ortie
<i>Lotus</i>	Lotier	<i>Vicia</i>	Vesce
<i>Lychnis</i>	Lychnis	<i>Vitis vinifera</i>	Vigne
<i>Lysimachia</i>	Lysimaque	<i>Xanthium</i>	Lampourde



Les assemblages polliniques sont, en moyenne, plus riches en pollen d'herbacées (60.4 % de la Somme Pollinique -S.P.) qu'en pollen d'arbres (39.6 % de la S.P.) et, parmi les herbacées, les taxons témoignant directement ou indirectement d'activités agricoles (céréaliculture et pastoralisme) sont dominants. Les marqueurs directement liés à une activité agricole sont les pollens de céréales (fig. 137) dont l'espèce ne peut être identifiée et qui englobe toutes les Poaceae cultivées à l'époque en Europe occidentale dont le blé, sauf *Secale cereale* que des critères diagnostiques bien connus permettent d'identifier sans ambiguïté (fig. 133). Des Céréales ont été dénombrées dans tous les spectres polliniques parfois en grande quantité, jusqu'à plus de 60 % de la S.P. (#11 (2011)). La notation du pollen de *Cannabis* (le chanvre) dans deux échantillons (fig. 133) dont un provenant d'un amas de tissu enduit de poix (#8 (2006)) n'est pas incongrue et il est très vraisemblable que cette plante ait été couramment cultivée à proximité du lieu de production de la poix ou même du port antique d'Arles, pour la fabrication de cordages. Les marqueurs indirects sont ceux favorisés par certaines activités agricoles: c'est le cas des plantes messicoles (fig. 133) dont le développement est dépendant de la culture de céréales. Ce sont des marqueurs précieux de la céréaliculture car il arrive que cette activité soit muette dans les enregistrements polliniques pour des raisons physiologiques propres aux Poaceae cultivées. C'est le cas aussi du pollen des plantes rudérales (fig. 133) ou nitrophiles (fig. 133) qui sont respectivement les marqueurs de la présence de sols bouleversés par des troupeaux ou des populations humaines (piétinement et constructions), ou de la pratique de l'élevage (enrichissement des sols en azote par les *feces*). Au sein des nitrophiles, il y a les plantes qui le sont sans ambiguïté comme *Urtica* ou certains *Rumex*; il y a aussi celles dont les préférences biologiques sont difficiles à cerner parce que le pollen n'a pas pu être identifié au niveau de l'espèce. C'est cas du pollen d'*Atriplex* t. ou de celui des Chenopodiaceae (fig. 133) qui rassemblent des taxons adaptés aux milieux salés (taxons halophiles) ou aux terres bouleversées par l'Homme (taxons rudéraux). Les spores de champignons coprophiles (*Podospora polysporus*, *Sporormiella*, Type 2 et 200 à 204), qui ont pour habitat les déjections des animaux, sont de remarquables indices de la présence de bétail à proximité du site étudié ou directement sur le chaland (cf. transport) (fig. 135). La notation de *Glomus* dans sept échantillons (fig. 135 et 137), un champignon mycorhizien arbusculaire qui vit dans la rhizosphère des sols, pourrait témoigner, soit de l'ajout de terre dans la préparation de la poix d'étanchéité car bien souvent les poix pouvaient être faites de composés divers, soit du transport involontaire de terre par les chaussures des bateliers ou par les pattes et le pelage des animaux domestiques qui auraient pu être transportés sur la barge.

**Fig. 137 :** Choix de pollens et de spores du chaland Arles-Rhône 3. L'échelle varie d'une photographie à l'autre.



## Discussion

- De la poix fabriquée en régions méditerranéenne et médio-européenne

La notation de taxons méditerranéens (*Pinus halepensis* t., *Quercus ilex*, *Olea*, *Phillyrea*, des arbres du maquis dont *Quercus suber*, *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, ou des herbacées comme *Hypecoum*, *Turgenia latifolia*) dans tous les échantillons semble indiquer que la poix a été fabriquée en région méditerranéenne à deux endroits, à basse altitude (domination d'arbres de la chênaie) et à moyenne altitude (présence du hêtre), sauf les échantillons riches en pollen de *Picea* (#4, 2006 et #6, 2006), un arbre non méditerranéen, caractéristique de l'étage sub-alpin médio-européen et dont le pollen est dispersé localement. L'originalité de ces deux échantillons est également mentionnée par P. Burger qui pense que la poix pourrait avoir été posée lors d'une réparation ou d'une protection ultérieure de la barge et non au moment de sa construction (Burger, *supra*).

- Le témoignage d'un paysage peu foresté au sein duquel étaient pratiquées des activités agricoles diversifiées : céréaliculture, fructiculture, pastoralisme.

Les assemblages polliniques sont, sur ce point, sans ambiguïté, et témoignent tous de la pratique d'activités agricoles variées sur le lieu de fabrication de la poix et dans les ports fréquentés par la barge. Ils se caractérisent, en effet, par des taux élevés de pollen de plantes cultivées témoignant 1) de la pratique de la céréaliculture dont celle du seigle (*Secale*); 2) et de la culture d'arbres fruitiers dont le noyer (*Juglans*), l'olivier (*Olea*) et la vigne (*Vitis*) (fig. 137). La présence du noyer s'accorde remarquablement avec la datation (*infra*, p. 264) de la barge puisque la culture de cet arbre a été favorisée par les Romains en Méditerranée occidentale (Bottema 1980). Les données polliniques indiquent donc un paysage en mosaïque où devaient alterner 1) des terres laissées à la forêt (des boisements clairs de chênes caducifoliés ou sclérophylles, la pinède, la hêtraie, la sapinière, la pessière et la forêt riveraine à aulne et saule, fig. 132), 2) des champs cultivés en céréales et en arbres fruitiers (fig. 133), 3) des cultures laissées à l'abandon et colonisées par des herbacées messicoles (*Centaurea collina*, *Hypecoum*, *Polygonum aviculare*, *Sagina* t., *Agrostemma githago*, *Turgenia latifolia*) (fig. 133) dont certaines sont devenues rarissimes de nos jours comme *Agrostemma githago*, *Hypecoum* et *Turgenia latifolia* du fait de l'usage d'herbicides, 4) et des terres dévolues aux troupeaux et colonisées par des plantes rudérales (*Artemisia*, *Anthemis* t., *Aster* t., *Calendula*, *Centaurea nigra* t., *Cirsium*, *Onopordon*), et nitrophiles (les Cichorioideae, *Plantago coronopus*, *P. lanceolata*, *P. major*, *Rumex*, *Urtica*, *Xanthium*) (fig. 133). L'interprétation des taux importants de *Prunus* dans certains échantillons (jusqu'à 46,3 % de la S.P. dans #13, 2007, fig. 133) n'est pas simple. Il pourrait s'agir, soit d'espèces de *Prunus* sauvages qui auraient pu être cultivées, soit, plus vraisemblablement, du prunellier (*P. spinosa*) qui, comme de nos jours dans les campagnes, pouvait avoir été planté le long de haies pour délimiter un territoire ou pour parquer des troupeaux, définissant ainsi un paysage de bocage.

- La présence de troupeaux d'animaux domestiques révélée par des spores de champignons coprophiles

Des taux élevés de spores de champignons coprophiles ont été trouvés dans plusieurs échantillons (fig. 131 et 135). Parmi ces spores, on note la présence de *Podospora polysporus*, *Sporormiella*, et les Types 2, 200, 201, 202, 203 et 204 (Van Geel 1978; Cugny *et al.* 2010) (fig. 135). Ces spores témoignent de la présence de troupeaux. La contamination en spores de champignons des échantillons a pu se faire, soit sur le lieu de fabrication de la poix, soit à l'occasion de la réparation du chaland, soit directement par des herbivores qui auraient pu être transportés dans le bateau, soit par les charpentiers ou les bateliers qui travaillaient sur la barge et qui auraient pu contaminer en spores coprophiles, avec leurs chaussures ou leurs vêtements, les tissus enduits de poix débordant sur l'intérieur de la coque. Car, à l'époque romaine et jusqu'à des temps très récents d'ailleurs (le xx<sup>e</sup> s. de notre ère), le bétail vivait au contact direct des populations humaines. Les études carpologiques menées sur le dépotoir portuaire du site d'Arles-Rhône 3 (Tillier 2013) apportent la preuve de la présence d'animaux domestiques (des ovins et des caprins) sur les berges du Rhône. La découverte de nombreuses bergeries romaines dans la plaine caillouteuse de La Crau d'Arles (Badan *et al.* 1995) et le développement présumé du pastoralisme en Camargue (Landuré, Pasqualini 2008, p. 238) appuient cette interprétation et souligne l'importance économique de l'élevage de brebis et de chèvres, et possiblement de moutons, au temps de Rome, en Provence. Il est donc vraisemblable que les spores de champignons coprophiles proviennent, au moins en partie, des déjections d'animaux domestiques qui fréquentaient le port fluvial d'Arles à l'époque romaine. L'hypothèse du transport de bétail par la barge à l'occasion de ses déplacements le long du Rhône est une hypothèse intéressante à retenir, mais nous ne disposons pour le moment d'aucune preuve solide pour étayer cette activité commerciale à relier, d'ailleurs, avec la pratique

de la transhumance dont l'existence, en Provence, à l'époque romaine, reste toujours à démontrer alors qu'elle existait dans le sud de l'Italie (Badan *et al.* 1995).

- Une relation entre la composition taxonomique des assemblages polliniques et la composition moléculaire de la poix ?

La poix d'*Arles-Rhône 3* provient du chauffage de la résine de résineux comme le montrent les mesures moléculaires (*supra*, p. 126). On sait, par ailleurs, que le pin est l'essence la plus fréquemment utilisée pour l'exploitation de la résine pendant l'Antiquité (Trintignac 2003 ; Amigues 1980), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) d'abord, plus ou moins abondant à cette époque en région méditerranéenne française (Triat-Laval 1978 ; Andrieu-Ponel *et al.* 2000a et b) et très probablement disponible à basse altitude, à proximité des grands centres économiques (F. Guibal, comm. pers.) comme c'est le cas de nos jours, et le pin sylvestre (*P. sylvestris*), grand producteur de sève, très répandu à l'étage montagnard et subalpin, mais plus rare à basse altitude (Molinier 1981). Comme les taux de pollen de pin (*Pinus halepensis* t. et *P. sylvestris* t.) sont plutôt faibles (de 7,31 à 16,61 %) pour un arbre qui est un fort producteur de pollen, il est possible que la résine utilisée pour la fabrication de la poix n'ait pas séjourné longtemps dans la forêt de résineux exploitée, à moins que celle-ci provienne simplement du chauffage de morceaux de bois de résineux comme le suggère Pauline Burger pour certains échantillons.

### Conclusion

L'analyse pollinique des quinze échantillons de poix d'étanchéité de la barge *Arles-Rhône 3* a permis de montrer qu'une série de poix a été fabriquée en région méditerranéenne dans des régions de basse et de moyenne altitude (poix liées à la construction), et une autre en région médio-européenne (poix de protection, en rapport avec la zone de vie) favorable aux boisements d'épicéas. Ces poix témoignent très clairement de la pratique d'activités agricoles variées sur le lieu de fabrication de la poix et dans les zones fréquentées par la barge. Elles nous éclairent, aussi, sur l'existence d'un paysage en mosaïque très diversifié comme le sont de nos jours les paysages agricoles rustiques des régions méditerranéennes. Au sein de ces paysages, pouvaient coexister des espaces dédiés à la forêt et des espaces mis en valeur pour les besoins de la démographie croissante des grands centres urbains, avec la culture de céréales, d'arbres fruitiers et l'élevage d'animaux domestiques. Au vu de ces seules analyses, on ne peut cependant pas affirmer que le chaland *Arles-Rhône 3* ait pu servir, à l'occasion, au transport du bétail. La seule certitude que l'on ait, à travers la notation de spores de champignons coprophiles, est que des troupeaux ont pu fréquenter les lieux de fabrication de la poix ou vivre le long des berges du Rhône, là où la barge était amarrée.

## LES CLOUS, ÉLÉMENTS D'ASSEMBLAGE DE L'ENSEMBLE DES STRUCTURES DU CHALAND<sup>39</sup>

### Les clous employés

Sabrina MARLIER

Comme c'est le cas sur les autres chalands gallo-romains, les clous employés pour la construction du chaland sont en fer forgé. Ils présentent une tige de section carrée avec une extrémité pointue et une tête circulaire, plate à très convexe (fig. 138)<sup>40</sup>. Les enregistrements effectués sur un tiers de l'ensemble des clous de liaison du chaland mettent en évidence le fait que deux modules de clous ont été employés<sup>41</sup>.

Un petit module avec une longueur moyenne<sup>42</sup> d'environ 16 cm, un diamètre moyen de la tête compris entre 23 et 26 mm et une section moyenne de la tige<sup>43</sup> de 8-9 mm, pour un poids inférieur à 40 g (de l'ordre de 25-35 g)<sup>44</sup> (fig. 139). Ces clous ont été employés exclusivement pour :

- l'assemblage des varangues (il s'agit des paires de clous enfoncés au niveau de chaque ressaut des extrémités des varangues) et des courbes avec les bouchains ;
- l'assemblage des varangues à la sole en ce qui concerne les clous enfoncés depuis l'extérieur ;
- l'assemblage des tasseaux avec les bouchains.

Un plus grand module avec des longueurs moyennes tournant aux alentours de 20 cm, un diamètre moyen de la tête compris entre 27 et 29 mm et une section de tige similaire aux clous de petits modules, de l'ordre de 8-9 mm en moyenne, pour un poids supérieur à 40 g (de l'ordre de 40-65 g)<sup>45</sup> (fig. 139 et 140). Ces clous ont été employés pour le reste des assemblages, soit pour :

39. Ce chapitre a bénéficié d'une relecture attentive de la part de G. Pagès, archéométallurgiste (ArScAn/CNRS), que nous remercions bien chaleureusement.

40. Le même type de clou, du point de vue de la morphologie, a été utilisé pour les assemblages des chalands de Lyon St-Georges (Guyon 2010).

41. Les clous dont il est question ici concernent uniquement les clous d'assemblage des structures du chaland. D'autres clous ont été trouvés sur le chaland, au sommet du mât et en certains endroits de la coque ; ils sont traités dans ce même chapitre 5.

42. Ép. de la tête non comprise.

43. Section mesurée sous la tête.

44. Enregistrement réalisé sur huit clous.

45. Enregistrement réalisé sur dix-sept clous.

**Fig. 138 :** Planche présentant les deux modules de clous différents utilisés pour la construction du chaland.

Pour le petit module, sont présentés un clou d'assemblage situé au niveau des ressauts des varangues pour la liaison avec le bouchain, un clou enfoncé depuis l'extérieur de la sole pour la liaison avec une varangue, un clou de liaison du tasseau avec le bouchain ou le flanc.

Pour le grand module, sont présentés un clou enfoncé depuis le dos d'une varangue pour sa liaison avec la sole (la pointe a été redressée artificiellement pour son extraction) et un clou enfoncé depuis la base externe du flanc pour sa liaison avec le bouchain (L. Damelet, CCJ/CNRS).



- le blocage des écarts entre les bordés monoxyles de transition et les bordages verticaux des bouchains composés, sur l'arrière ;
- l'assemblage des bouchains composés, la fixation des varangues (pour les clous enfoncés depuis leur dos) et des courbes à la sole<sup>46</sup> ;
- l'assemblage des bordés de flanc en demi-tronc aux bouchains et aux courbes ;
- l'assemblage des tasseaux avec les flancs ;
- la liaison des courbes de maintien du banc de mât aux bordés.

Aux côtés de ces deux modules, quatre clous sortent de cette classification et sont remarquables. Il s'agit de clous liés à la fixation du banc de mât avec deux clous assurant l'assemblage entre les flancs et le banc de mât et deux clous participant à l'assemblage des courbes de maintien du banc de mât aux flancs.

Pour l'assemblage du banc aux flancs, un clou a été enfoncé depuis l'extérieur de chaque bordé de flanc en demi-tronc (un depuis le flanc bâbord F11 et l'autre depuis le flanc tribord F12) (fig. 105). Ils ont tous deux été enfoncés à pointe perdue dans le banc et présentent des dimensions exceptionnelles, avec une longueur de 39,5 cm pour un diamètre de la tête de 40-41 mm, une section de tige de 10,5 mm et un poids de plus de 200 g (201,2 g et 218 g) (fig. 139 et 141).

L'assemblage des courbes de maintien du banc est quant à lui renforcé par la présence, pour chaque courbe, d'un clou de module également plus important que les autres : de 32 cm de longueur, pour une section de tige de 8,5 mm et un poids supérieur à 100 g<sup>47</sup> ; chacun de ces clous a été enfoncé transversalement depuis le dos du retour vertical de chaque pièce en direction des bordés de flanc en demi-tronc sur l'extérieur desquels la pointe a été rabattue sur une longueur de 3,6 à 4,2 cm.

Les dimensions importantes de ces quatre éléments d'assemblage permettent finalement de les considérer plus comme des broches que comme de simples clous.

Bien que deux modules différents, auxquels il faut associer la présence de quatre broches, puissent être distingués au sein de l'ensemble de clous utilisés pour l'assemblage des différentes structures du chaland, les mesures réalisées sur les sections des tiges à la base des têtes de clous montrent des variations (allant de 6,2 à 11,5 mm) (fig. 144) qui témoignent de l'utilisation de plusieurs cloutières différentes. De plus, parmi les clous observés, au moins deux clous, dont un employé pour la liaison d'une extrémité de la varangue M116 au bouchain, présente des picots sous sa tête (fig. 142), à l'inverse des

46. Sur l'épave Ep. 2 du Parc St-Georges de Lyon, les clous utilisés pour l'assemblage des varangues à la sole sont aussi de plus grands modules pour ce qui concerne les clous enfoncés depuis l'intérieur (long. moyenne sous tête 19 cm) que ceux enfoncés depuis l'extérieur (long. 14 cm) (Guyon 2010, p. 68).

47. La tête de ces clous n'a pas été conservée à tribord et était trop corrodée à bâbord pour être mesurée. Quant au poids, un des deux clous n'a pas conservé sa tête et l'autre (dont le poids est de 101 g) présente une tête complètement concrétionnée, ce qui fausse sans aucun doute le poids mais nous permet néanmoins d'avoir une valeur approximative.

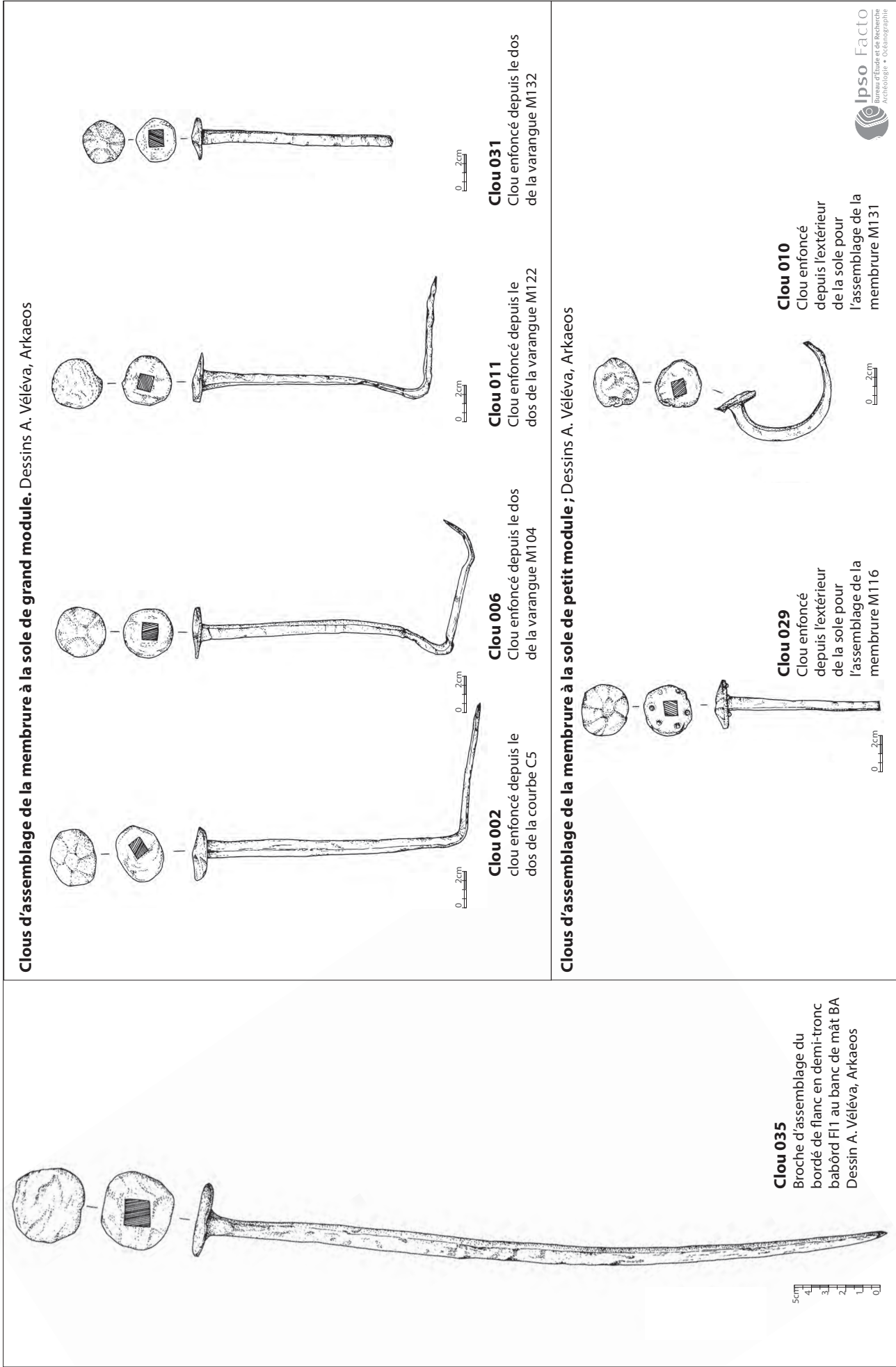
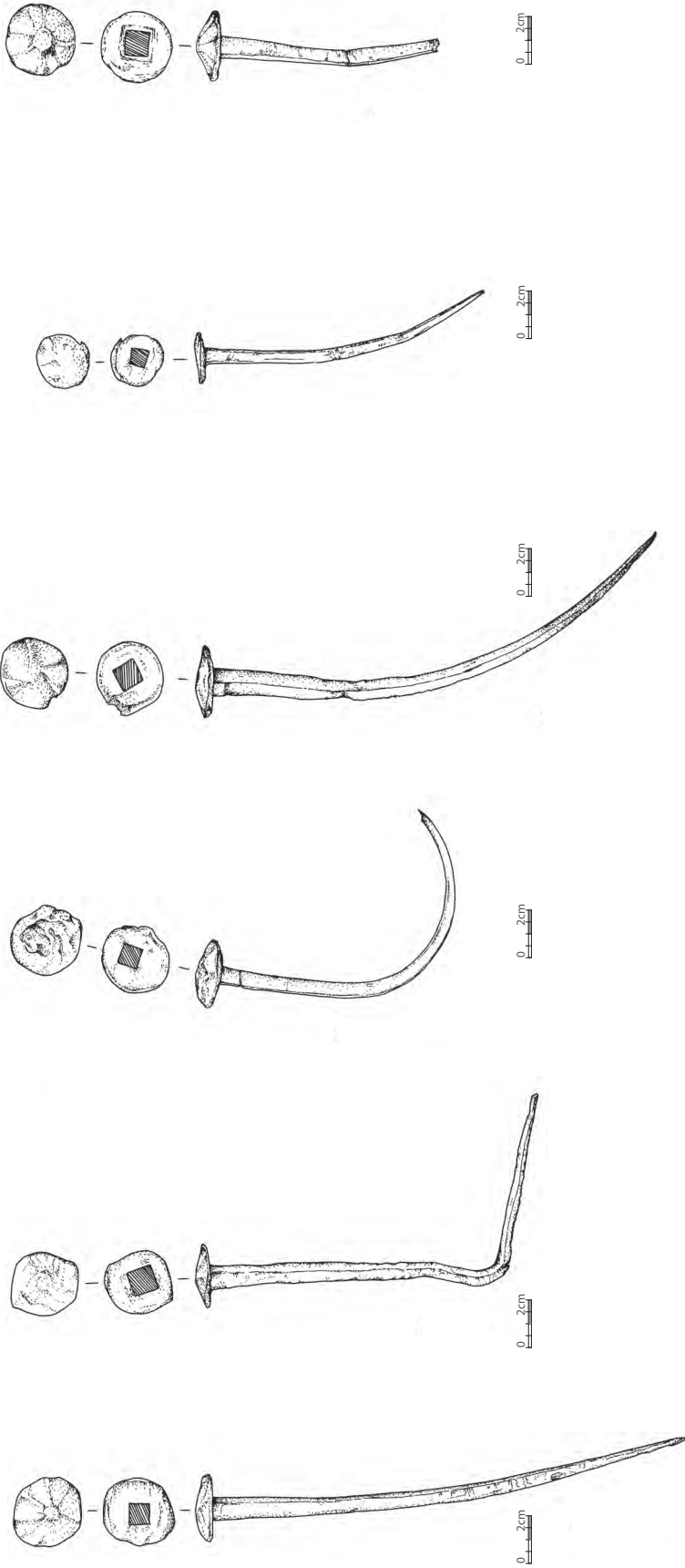


Fig. 139 : Planche présentant une des deux broches d'assemblage du bordé de flanc en demi-tronc au banc de mât et des exemples des deux modules de clous d'assemblage de la membrure à la sole.

**Clous d'assemblage des bordés de flanc en demi-tronc de grand module.** Dessins A. Véléva, Arkaios



**Clou 037**  
Clou enfoncé depuis l'extérieur de la base du bordé de flanc en demi-tronc F12 pour son assemblage avec le bouchain

**Clou 038**  
Clou enfoncé depuis l'extérieur de la base du bordé de flanc en demi-tronc F16 pour son assemblage avec le bouchain

**Clou 017**  
Clou enfoncé depuis l'extérieur de la base du bordé de flanc en demi-tronc F12 pour son assemblage avec le bordage vertical BV2 du bouchain composé, sur tribord arrière

**Clou 019**  
Clou enfoncé transversalement depuis l'intérieur du tasseau Ta2 pour son assemblage avec le bordé de flanc en demi-tronc F12

**Clou 020**  
Clou enfoncé transversalement depuis l'intérieur du tasseau Ta2 pour son assemblage avec le bordé de flanc en demi-tronc F12

**Clou 024**  
Clou enfoncé transversalement depuis l'intérieur du tasseau Ta2 pour son assemblage avec le bordé de flanc en demi-tronc F12

**Fig. 140 :** Planche présentant une série de clous d'assemblage des bordés de flanc en demi-tronc de grand module.



Fig. 141 : Broches pour la liaison du banc de mât aux flancs (L. Damelet, CCJ/CNRS).

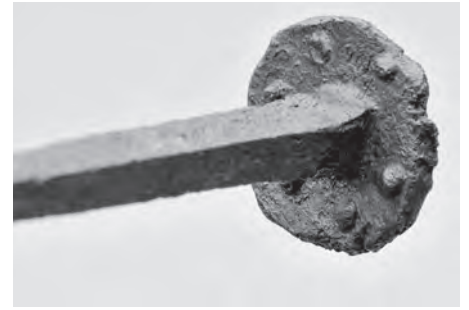


Fig. 142 : Clou d'assemblage de la varangue M116 au bouchain présentant exceptionnellement des picots sous sa tête (L. Damelet, CCJ/CNRS).



Fig. 143 : Clou d'assemblage de la varangue M105 à la sole présentant une surface plate du métal sous la tête (L. Damelet, CCJ/CNRS).

autres clous qui présentent une surface plate du métal sous la tête (fig. 143). Ces variations pourraient éventuellement indiquer que les clous ont été fabriqués dans des ateliers différents ou par plusieurs artisans au sein d'un même atelier.

Sur un certain nombre de ces clous, il a également pu être observé une reprise de la longueur de la tige à partir de 5 mm sous la tête ; ces 5 mm pourraient correspondre à la largeur de la pince qui tenait le clou sous la tête pour permettre de l'allonger<sup>48</sup> (*infra*, p. 147).

### Analyse des modes d'assemblage au sein du chaland *Arles-Rhône 3*

Sabrina MARLIER

Pour ce qui est des structures concernées par les assemblages et le mode d'enfoncement des clous avec pointe perdue ou rabattue, le tableau de synthèse (fig. 144) permet de rassembler toutes les informations concernant les clous d'assemblage et déjà exposées dans la présentation architecturale des structures du chaland (*supra*). Il est cependant notable que, sur *Arles-Rhône 3*, les clous employés pour la fixation de la charpente transversale à la sole et pour la liaison des bordés aux bouchains sont à pointe rabattue alors que sur les chalands de Lyon Saint-Georges, ces mêmes clous sont tous à pointe perdue.

### Des évidements pour recevoir les têtes de clous et des pré-trous pour l'insertion des tiges ?

Sabrina MARLIER

Sur la face externe des bordages de sole, sur le dos des membrures de la partie centrale de la coque ainsi que sur la base externe des bordés de flanc en demi-tronc, des évidements ont été pratiqués pour recevoir les têtes de clous.

Sur la sole et les bordés de flanc, ces évidements permettaient d'éviter que les têtes de clous ne soient proéminentes sur l'extérieur de la coque (fig. 145). Ils sont le plus souvent de forme circulaire. Des évidements de forme tétraédrique ont néanmoins été repérés sur la base externe des flancs, percés de façon ponctuelle sur l'arrière et sur l'avant du chaland. Sur l'arrière, au niveau de l'écartement des membrures M104-M107, les cinq logements de forme tétraédrique repérés ont été percés sur un alignement situé au-dessus d'un alignement régulier d'évidements de forme circulaire (pl. II et fig. 146). On remarque alors que les pointes de clous enfoncés depuis les tétraèdres ressortent à l'interface entre le bordé monoxyle de transition BM1 et le tasseur Ta1. Ces clous n'ont donc aucune utilité apparente et il est possible que cette série d'évidements relève d'une erreur de la part du charpentier. On constate en effet une reprise de l'alignement, sur une ligne inférieure, avec des évidements de forme circulaire et les clous qui y sont enfoncés ressortent alors bien sur l'intérieur du bouchain.

Sur l'intérieur, ces évidements ne concernent que les varangues et les courbes situées dans la partie centrale du chaland (fig. 147), au niveau du caisson (*infra*, p. 159-164), les membrures situées aux extrémités du chaland n'ayant pas bénéficié de tels aménagements. L'exécution au ciseau à bois de ces évidements représente un certain travail qui doit nécessairement trouver une justification dans la nécessité de loger les têtes de clous. Lorsque les clous sont enfoncés depuis l'extérieur de la coque, on comprend aisément cette

48. Pour le détail de cette opération : Arnold 1992a, p. 66. Et, plus largement, pour la description du façonnage expérimental des clous de liaison : Arnold 1992a, p. 64-67 ; 1999, p. 75-77.

**Fig. 144 :** Tableau de synthèse sur les clous d'assemblage du chaland Atles-Rhône 3.  
*Note :* le total de 1700 clous a été calculé à partir de la restitution du modèle 3D.

Structures assemblées : De	Structures assemblées : A	Nbr de clous pour l'assemblage des différentes structures	Nbr de clous documentés	Sens d'enfoncement	Pointe rabattue / perdue	L. moyenne sous tête (en cm)	Diam. moyen de la tête (en mm)	Section moyenne de la tige (en mm) (mesure prise sous la tête)	Poids (en g) (enregistré pour une trentaine de clous)
Bordé Monoxyle de transition BM1	Bordage Vertical BV1 du bouchain composé (blocage écart BM-BV)	1 clou	1 clou, non enlevé	Vertical, depuis l'extérieur (de BM1 vers BV1)	A pointe perdue dans l'ép. du tasseau disposé sur le haut du bouchain	Non enregistré	Non enregistré	Non enregistré	46,9
Bordé Monoxyle de transition BM3	Varangue M133	1 clou	1 clou	Transversal, depuis l'extérieur de BM3	A pointe perdue dans l'ép. de la membrure	28	Non enregistré	Non enregistré	
Bordé Monoxyle de transition BM4	Varangue M135	1 clou	1 clou	Transversal, depuis l'extérieur de BM4	A pointe perdue dans l'ép. de la membrure	24	Non enregistré	Non enregistré	
Bordage Vertical BV2 du bouchain composé	Bordé Monoxyle de transition BM2 (blocage écart BM-BV)	2 clous	2 clous	Vertical, depuis l'intérieur (de BV2 vers BM2)	Non observé	L. max. conservée 11	23-24	8-9	
Bordages Verticaux des bouchains composés BV1, BV2 et BV3	Bordages de sole latéraux (B6 et B7)	une vingtaine ?	7	Transversal, depuis le can externe de BV1, BV2 et BV3	A pointe perdue dans le bordage de sole adjacent	L. max. conservée 11	27-32 moyenne 29	8-9,5 moyenne 8,75	
Bordage de sole B3	Bordage de sole B1	3 clous	3 clous, non enlevés	Transversal, depuis le can externe de B3	A pointe perdue dans B1	23	Non enregistré	Non enregistré	
Bordage de sole B4	Bordage de sole B1	1 clou	1 clou, non enlevé	Transversal, depuis le can externe de B4	A pointe perdue dans B1	Non enregistré	Non enregistré	Non enregistré	
Varangues (M95 à M141) Varangue-emplanture (M129)	Bordages de sole (B1 à B8)	464	106	Vertical, depuis le dos des membrures	A pointe rabattue (1 à 2 fois) sur l'extérieur de la sole. La pointe est rabattue 2 fois lorsque sa longueur est supérieure à 7 cm. Essentiellement à pointe perdue dans le cas de la varangue-emplanture.	L. max. conservée 22	22,5-35,8 moyenne 27,2	7-10 moyenne 8,5	Entre 41,1 et 60,6
Varangues (M95 à M141) Varangue-emplanture (M129)	Bouchains (BM1 à BM4 et BV1 à BV3)	322	56	Vertical, depuis la face externe des bordages de sole	A pointe rabattue (1 fois, rarement 2 fois) sur le dos des varangues. La pointe est rabattue 2 fois lorsque sa longueur est supérieure à 3,5 cm. A pointe perdue dans le cas de la varangue-emplanture.	L. max. estimée 17,8	19,5-30 moyenne 26,2	6,2-10 moyenne 8,10	Entre 28,6 et 31,8
Courbes (C1 à C20)	Bordages de sole (B1 à B8)	39	67	Oblique, depuis le ressaut des extrémités des varangues	Le plus souvent à pointe perdue dans l'intérieur du bouchain, qqfs à pointe rabattue sur l'extré du bouchain	14-16 moyenne 15	21-30 moyenne 24,6	7-11 moyenne 8,5	
	Bouchains (BM1 à BM4 et BV1 à BV3)	24		Bp de pointes cassées, et seuls 6 enregistrements de pointes perdues et 3 pointes rabattues sur l'extré de la sole	15,5-26 moyenne 19,7 avec, pour ceux dont la pointe est rabattue, une pointe rabattue sur moins de 8 cm				
	Bordés de flanc en demi-tronc (F1 à F16)	63		Oblique, depuis le coude des courbes Transversal, depuis le dos des branches verticales des courbes	21 pointes perdues dans l'intr des flancs et 4 pointes rabattues sur l'extré des flancs				

Structures assemblées : De	Structures assemblées : A	Nbr de clous pour l'assemblage des différentes structures	Nbr de clous documentés	Sens d'enfoncement	Pointe rabattue / perdue	L. moyenne sous tête (en cm)	Diam. moyen de la tête (en mm)	Section moyenne de la tige (en mm) (mesure prise sous la tête)	Poids (en g) (enregistré pour une trentaine de clous)
Bordés de flanc en demi-tronc (F1 à F16)	Bouchains (BM1 à BV3) BM4 et BV1 à BV3 ; M95 à M141)	217	150	Oblique, depuis la base externe des flancs	A pointe rabattue sur l'intr des bordés monoxyles de transition et des bordages verticaux des bouchains composés	16,5-24,5 moyenne 20,7 avec, pour ceux dont la pointe est rabattue, une pointe rabattue sur 5 à 9 cm	22-34 moyenne 27,2	7-11 moyenne 8,68	Entre 48,6 et 66,8
	Oblique, depuis la base externe des flancs			A pointe perdue, après avoir traversé le bouchain, dans le ressaut des extrémités des varanques					
	Transversal, depuis la face externe des flancs			A pointe perdue dans le banc de mât					
Tasseaux (Ta1 à Ta4)	Bordés de flanc en demi-tronc (F1 à F16)	108	60	Transversal, depuis l'intérieur des tasseaux	Le plus souvent à pointe perdue dans les bordés monoxyles de flanc	12-20,6 moyenne 15,6 avec, pour ceux dont la pointe est rabattue, une pointe rabattue sur moins de 2 cm	20-33 moyenne 25,7	7-10 moyenne 8,5	Entre 48,9 et 62,2
	Bouchains (BM1 à BM4 et BV1 à BV3)			Le plus souvent à pointe perdue dans les bordés monoxyles de transition et les bordages verticaux des bouchains composés					
Pièces de support du banc de mât (S1 et S2)	Bordés de flanc en demi-tronc (F1 et F2)	9	Clous non enlevés	Transversal, depuis la face interne des pièces de support	A pointe perdue dans les bordés monoxyles de flanc	Non enregistré	Non enregistré	Non enregistré	Non enregistré
	Courbes de maintien du banc de mât (BAR1 et BAR2)	5	9	Transversal, depuis le dos des retours verticaux des courbes	Le plus souvent à pointe perdue avec, de chaque côté du bateau, un clou plus important qui présente une pointe rabattue sur l'extr du flanc	32 avec une pointe rabattue sur une longueur de 3,6 Pour les clous enfoncés à pointe perdue dans les flancs, L. max. conservée 17,3	27-29 moyenne 28	8,5-10 moyenne 9,3	Entre 56,5 et 63
Planche de soutien P1	Banc de mât (BA)	9	Clous non enlevés	Vertical, depuis le dos des bras horizontaux des barrots	A pointe perdue dans le banc de mât	Non enregistré	Non enregistré	Non enregistré	Non enregistré
	Bordé de flanc en demi-tronc F2	3	Clous non enlevés	Transversal, depuis la face interne de P1	A pointe perdue dans le bordé de flanc en demi-tronc F2	Non enregistré	23-29	Non enregistré	Non enregistré
Jambettes J1, J2, J3, J4, J5 et J6	Bordé de flanc en demi-tronc F2	6	Clous non enlevés	Transversal, depuis la face interne des jambettes	A pointe perdue dans le bordé de flanc en demi-tronc F2	Non enregistré	Non enregistré	Non enregistré	Non enregistré
	Plat-bord P4	Moins de 10	1	Vertical, depuis le dos de P4	Traverse la planche P3 et à pointe perdue dans le bordé de flanc en demi-tronc F2	L. max. conservée 15	28	Non enregistré	Non enregistré
		<b>TOTAL de clous sur le chaland AR3 : 1700</b>	Total de clous documentés : 570						





**Fig. 147 :** Évidement taillé au ciseau, sur le dos de la varangue M124, pour recevoir une tête de clou (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).



**Fig. 145 :** Vue, sur l'extérieur de la sole, d'un évidement creusé dans le bois du bordage pour recevoir la tête de clou ainsi que d'une fissure longitudinale sous le bordage B4 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



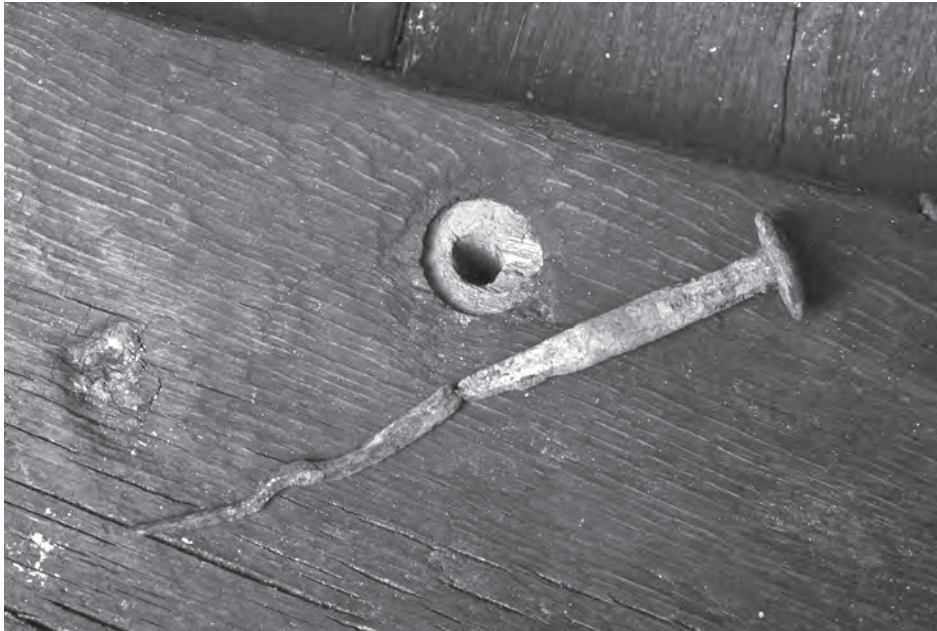
**Fig. 146 :** Évidements de forme tétraédrique aménagés sur la base externe du bordé monoxyle de flanc F11 (tronçon T4) et destinés à recevoir les têtes de clous (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

49. Aucune trace, témoignant de cette pratique durant la période d'utilisation du chaland, n'a cependant été retrouvée imprimée sur le bois des membrures.

50. Ces observations ont été faites par B. Arnold à l'atelier ARC-Nucléart de Grenoble, lors de l'enlèvement des clous sur le tronçon T7 par les restaurateurs d'A-Corros. Elles ont été confirmées par la suite avec l'intervention des restaurateurs sur le tronçon T8 ainsi qu'avec l'observation des clous enlevés sur l'ensemble des varangues du chaland.

nécessité qui vise à les prémunir de tout arrachage en cas d'échouage du bateau. Lorsque les évidements concernent le dos des varangues et des courbes, dans la partie centrale du chaland, on peut s'interroger sur ce besoin dans la mesure où le fond du caisson, à l'exception des pièces de longerons, ne reposait pas directement sur le dos des membrures (*infra*, p. 159-164). On peut alors se demander si le caisson ne correspond pas à une demande ultérieure de la part du commanditaire, alors que le bateau était quasiment achevé. À moins que, dans le cas de transport d'éléments moins pondéreux que les pierres de chargement, le caisson – constitué d'éléments entièrement amovibles – était démonté et remplacé par de simples planches, plus légères, et disposées directement sur le dos des membrures<sup>49</sup>.

Concernant l'existence de pré-trous préalables percés pour faciliter l'insertion des clous, il a été observé<sup>50</sup> que de tels pré-trous ont été forés dans l'épaisseur des varangues lorsque les clous ont été enfoncés depuis l'intérieur, pour l'assemblage aux bordages de sole (fig. 148) ; ces derniers n'ont en revanche pas fait l'objet de pré-trous pour l'insertion des clous depuis l'extérieur de la sole (fig. 149). Dans ce cas, le besoin de forer un pré-trou est



**Fig. 149:** Vue de l'extérieur de la sole (trçon T7) qui montre qu'aucun pré-trou n'a été foré dans l'épaisseur des bordages pour l'insertion des clous de liaison avec les membrures (A-Corros).

**Fig. 148:** Pré-trou foré dans l'épaisseur de la varangue M119 pour l'insertion d'un clou depuis le dos de la membrure pour sa fixation à la sole. On note que le contour de la tige, sur une longueur correspondant à l'épaisseur de la membrure, est entouré d'une concrétion minérale cylindrique. La pointe de clou, dépassant le bordage et rabattue à angle droit, a été redressée pour l'extraction du clou (ARC-Nucléart).

en effet moins nécessaire puisque l'épaisseur de bois de la première pièce à traverser est moins importante que dans le cas de la membrure. Pour les clous insérés depuis l'intérieur, la tige des clous est bien de section carrée mais entourée, sur toute la longueur correspondant à l'épaisseur de la membrure, par une concrétion minérale cylindrique formée autour de la tige, à mettre en relation avec le pré-trou (fig. 148). Le diamètre mesuré de ces pré-trous cylindriques est de 11 mm. Pour les clous insérés depuis l'extérieur, on n'observe pas de telle concrétion cylindrique et la section carrée de la tige est bien visible sur toute sa longueur. Dans le cas des clous insérés depuis l'extérieur, aucun matériau d'étanchéité n'a été repéré sous la tête de clou ou le long de la tige<sup>51</sup>.

Ces observations permettent d'expliquer, dans le cas des clous enfoncés depuis l'intérieur, que seule l'extrémité des clous soit ployée. Et, pour les clous enfoncés depuis l'extérieur, que la tige soit ployée également quelques centimètres sous la tête, et pas uniquement sur l'extrémité, ou puisse être complètement courbée. Ces ployages sont en effet liés à l'enfoncement des clous dans l'épaisseur des pièces de bois à assembler. En l'absence de pré-trous pratiqués sur les planches de sole, en général, et sur les varangues dans le cas des clous enfoncés depuis l'extérieur, les clous sont enfoncés directement dans le bois. Pour peu qu'ils rencontrent un nœud ou, tout simplement, au niveau de la zone de contact des deux pièces à assembler, les clous sont insérés de force, provoquant nécessairement un ployage naturel de leur tige. Le même type d'observation est donc valable pour les clous d'assemblage des bordés de flanc en demi-tronc aux bouchains qui présentent pratiquement tous un ployage de leur tige situé au niveau de la jonction entre la pièce de flanc et la pièce de bouchain, à moins de 5 cm sous la tête.

Au final, excepté en la présence de pré-trous pratiqués dans l'épaisseur des varangues, très peu de clous présentent des tiges droites et la plupart présentent des tiges courbées, avec notamment un angle situé sous la tête et/ou un angle situé non loin de l'extrémité, proche de la pointe (fig. 138).

Le retour d'expérience des chantiers d'archéologie expérimentale pour la construction de l'*Altaripa* (copie moderne du chaland gallo-romain de Bevaix, construit entre 1996 et 1997) en Suisse (Arnold 1999), et du *Leo Paludis* (réplique du chaland de Pommœurol, construit entre 2006 et 2007) en Belgique (Grillaert 2009), nous livre des données relativement comparables à celles observées sur l'épave *Arles-Rhône 3* ; il permet en outre de comprendre l'utilité de ces pré-trous et le fait que seule la première pièce traversée bénéficie de tels aménagements pour l'insertion des clous et non la seconde. Ainsi, lors de la construction de l'*Altaripa*, Bêat Arnold (1999, p. 133) note qu'«afin de réduire le risque de fissuration des bois lors du clouage, un trou légèrement plus petit que la section des tiges de clous de liaison a préalablement été foré à leur emplacement dans la première

51. Sur le chaland de Bevaix, c'est en revanche un important paquet de mousse qui a été chassé dans le trou foré dans l'épaisseur du bordage de sole afin de parfaire l'étanchéité de la coque (Arnold 1992a, p. 68-69).

pièce traversée (courbes, en clouant de l'intérieur vers l'extérieur ; bordages, dans le sens inverse). Pour la seconde pièce, une telle opération est évidemment à exclure si l'on veut que le clou maintienne solidaire les deux éléments grâce aux forces de frottement exercées au niveau de sa tige »<sup>52</sup>. Pour la construction de la réplique de Pommœurol, c'est un échange direct avec l'un des charpentiers, Jeroen Grillaert, qui a permis de préciser que, comme pour *Altaripa*, seule l'épaisseur des membrures avait été perforée d'un diamètre quasi égal à la section des tiges de clous et que la hauteur des tiges de clous insérés dans les membrures pour leur assemblage avec la sole était ainsi bien droite.

## Des tiges de clous chauffées ?

Sabrina MARLIER

Le fait de chauffer le métal des clous permet de provoquer une réaction chimique avec le tanin du bois au moment de l'insertion du clou dans les pièces à assembler. Les tanins possèdent en effet des propriétés inhibitrices qui provoquent sur les métaux ferreux la formation de complexes à la surface du métal, les rendant plus résistant à la corrosion et protégeant ainsi naturellement le clou. Pour l'Antiquité, aucun témoignage archéologique ne permet néanmoins de dire que les clous étaient chauffés avant leur insertion pour cette raison spécifique.

La construction des répliques de chalands gallo-romains *Altaripa* et *Leo Paludi* nous livre là encore des informations importantes sur les raisons du recours à cette pratique dans le cas de la construction navale. Sur ces deux chantiers, le retour d'expérience montre en effet qu'il était préférable que les tiges de clous soient chauffées à rouge avant d'être insérées dans les pièces de bois à assembler. Pour la construction de l'*Altaripa*, B. Arnold souligne que les risques de fissure, pour des pièces peu larges, ont été amoindris « en chauffant la partie terminale des pointes de clous : ces derniers sont alors enfoncés en deux étapes : pour la première, on s'arrête 2-3 cm avant de plaquer leur tête sur le bois. On attend ensuite un bref instant que le métal se refroidisse, puis on donne les derniers coups de marteau »<sup>53</sup>. Quant à la construction de la réplique du chaland de Pommœurol, J. Grillaert précise que le fait de chauffer les tiges de clous jusqu'au « rouge naissant » facilitait leur insertion dans le bois. Les charpentiers ont par ailleurs remarqué qu'après avoir fendu les pièces de bois d'essai, le chêne présentait des traces de brûlure noire très superficielles et que la surface des tiges était couverte d'une couche de couleur noirâtre brillante. Aucune trace de brûlure ne se retrouve en revanche sous la surface des têtes de clous dans la mesure où celles-ci n'étaient pas chauffées mais aussi parce que le contact de la tige brûlante avec le chêne encore plein de liquide (sève ou eau) refroidissait le clou rapidement, entraînant par ailleurs, selon lui, un durcissement du métal<sup>54</sup>. Dans les deux cas, le fait de chauffer la tige des clous avant leur insertion dans les bois est lié, non pas à un souci de protection naturelle du métal, mais à l'objectif de faciliter l'insertion du clou dans le bois et de le durcir.

Sur le chaland *Arles-Rhône 3*, la question de savoir si les clous avaient été chauffés avant leur insertion dans les pièces de bois à assembler s'est donc posée. Cette réflexion est également née des observations faites sur les clous qui présentent des tiges ployées, phénomène que nous envisageons au départ comme pouvant être consécutif au fait de chauffer les tiges rendant ainsi le métal plus malléable. Sur l'épave, aucune des membrures n'a été fendue dans le sens de l'épaisseur et aucune trace de brûlure, témoignant de cette pratique empirique, n'a pu être observée. Dans tous les cas, le ployage des tiges résulte à l'évidence de l'insertion des clous dans le bois (*supra*) et non d'une action de chauffage.



Fig. 150 : Têtes de clous, utilisés pour la liaison des flancs aux bouchains, ployées par les coups de marteau (L. Damelet, CCJ/CNRS).

52. C'est ce qui a été observé sur l'épave *Ep. 3* du Parc St-Georges de Lyon où un avant-trou semble avoir été réalisé dans la hauteur des varangues, pour les clous enfoncés depuis l'intérieur, et dans l'épaisseur des bordages de sole, pour les clous enfoncés depuis l'extérieur (Guyon 2010, p. 59).

53. Arnold 1999, p. 133. Cette technique n'a cependant été utilisée que pour une partie des clous, car elle sous-entend la présence d'une forge à proximité immédiate du lieu d'utilisation des clous afin de pouvoir les réchauffer (B. Arnold, communication personnelle).

54. G. Pagès souligne néanmoins que c'est uniquement le cas pour les aciers dont le taux de carbone est supérieur à 0,2 % et non dans le cas de fer doux ou d'un acier faiblement carburé. Aucune indication n'est donnée à ce sujet concernant les clous de la réplique du chaland de Pommœurol.

55. B. Arnold, communication personnelle.

## Observations complémentaires sur les clous d'assemblage

Sabrina MARLIER

Lors de la documentation effectuée sur les clous en laboratoire, il a pu être observé que certaines têtes de clous avaient été ployées par les coups de marteau donnés pour leur insertion dans le bois. On l'observe de façon sporadique sur certains clous des tasseaux ou des ressauts des extrémités des varangues mais de façon quasi systématique sur les clous employés pour l'assemblage des bordés de flanc en demi-tronc aux bouchains pour lesquels les têtes sont soit complètement ployées, soit à moitié, soit encore sur un quart de leur surface, provoquant parfois une cassure du métal (fig. 150). Les clous étant ici enfoncés de façon oblique, la direction donnée au marteau ainsi que le geste effectué, qui part du bas vers le haut, peut expliquer que toutes les têtes ont été ployées. Il est aussi possible qu'il s'agisse d'un geste délibéré de la part des charpentiers afin de venir plaquer parfaitement la tête de ces clous contre le bois de la base arrondie des bordés de flanc en demi-tronc<sup>55</sup>.

## Le métal des éléments d'assemblage du chaland : étude métallographique

Philippe de VIVIÉS, Jean-Bernard MEMET, avec la collaboration de Jean-Paul PERSY, directeur de recherche honoraire du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Cinq clous présentant un bon état de conservation (deux de ces clous sont liés à l'assemblage des bordés de flanc aux bouchains, deux sont liés à l'assemblage des varangues et un lié à l'assemblage du taseau au bordé de flanc tribord) ont été sélectionnés parmi l'ensemble des clous extraits du bateau (cf. Annexe 3) pour faire l'objet d'une étude métallographique destinée à qualifier le matériau utilisé. Pour cela, les éléments présents dans ce fer ont été déterminés et le taux de propreté du métal, révélateur de la qualité de la matière première utilisée ainsi que du travail de forge, a été défini.

Les cinq clous sélectionnés ont été identifiés selon des numéros propres à l'étude métallographique (fig. 151).

Réf AR3	Réf A-CORROS
T2-FL2-BV2-Clou4	R202-1
T3-M104	R202-2
T3-M105	R202-3
T4-Ta2-Clou5	R202-4
T5-FL2-BV2-Clou2	R202-51 (tête)
	R202-52 (tige)

Fig. 151 : Identification des clous sélectionnés pour l'étude métallographique.

Afin de mener à bien cette étude, une analyse métallographique a d'abord été réalisée suivie d'une caractérisation du matériau et d'essais de dureté.

### Observation métallographique

#### Mise en œuvre

Les clous ont été enrobés dans une résine époxy puis polis successivement au papier carbure de silicium aux grades 180, 320, 600, 1 200 et 2 400. Une finition de la surface a été finalement réalisée sur des feutres avec une suspension contenant des particules d'alumine de 1 µm de diamètre. L'attaque chimique a été réalisée au Nital à 3 % (acide nitrique 3 % dans éthanol 97 %) durant près de 20 minutes par échantillon. Les échantillons ont ensuite été observés à la loupe binoculaire LEICA MZI25, au microscope optique REICHERT-JUNG « polyvar » associé au logiciel de capture d'image LEICA. Enfin, les échantillons ont également été observés sous microscope électronique à balayage JEOL JSM-6490LV couplé à un spectromètre à dispersion d'énergie.

Ces préparations nous ont permis de mettre en évidence la structure métallographique des clous.

#### Observations

Une première observation concerne la propreté inclusionnaire de ces clous. Il n'existe pratiquement pas d'inclusions, ce qui indique des demi-produits très affinés, et certainement un travail de forge de qualité très abouti.

Les cinq clous analysés présentent également un agencement très propre de grains de ferrite (fig. 152).

Le clou R202-5 présente, quant à lui, dans certaines zones, une microstructure différente du reste des clous. Cette différence est due à la plus forte teneur en carbone de cet alliage qui a conduit à la formation d'une structure ferrito-perlitique représentée par la présence d'agrégats lamellaires (fig. 153).

Une autre observation met en évidence le travail de forge sur la tige des cinq clous et un indice sur sa manipulation lors de cette opération. En effet on peut observer, sur l'ensemble, une zone de 5 à 10 mm sous la tête du clou, où les grains de ferrite présentent une grosseur bien plus importante que dans l'ensemble des autres zones du clou.

Cette zone de « gros » grains située directement sous la tête du clou indique un traitement de cette zone différent du reste du clou.

Une étude expérimentale conduite en archéologie navale, avec la construction d'une réplique navigante d'un chaland gallo-romain appelée *Altaripa*, met en évidence que, lors de la mise en œuvre des clous de liaison, la dernière chauffe servait au martelage de la tige permettant de l'affiner et l'allonger (Arnold 1999, p. 77). Au cours de cette opération, le forgeron devait chauffer le clou au-dessus de la température de recristallisation (de 500 °C à 900 °C) afin de le placer dans un domaine de déformation plastique. Il martelait

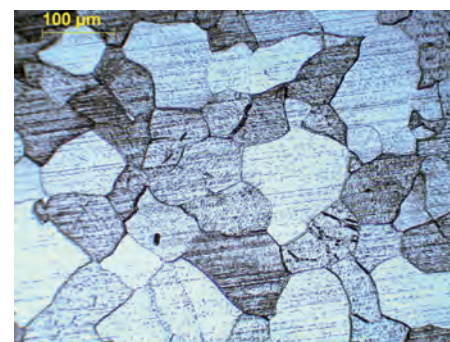


Fig. 152 : Clou R202-1. Agencement de grains de ferrite. Loupe binoculaire (A-Corros).

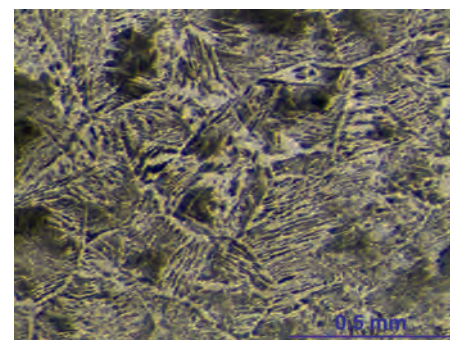


Fig. 153 : Clou R202-5. Détail au MEB d'une structure ferrito-perlitique (A-Corros).

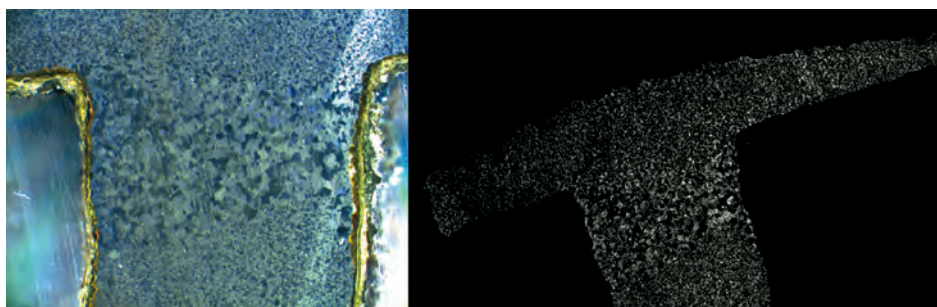
alors la tige du clou, ce qui entraînait un phénomène de recristallisation conduisant à une réduction de la taille des grains et donc à des propriétés mécaniques meilleures (Halleux 2007, p. 1306).

La présence d'une bande de grains plus gros sous la tête du clou (fig. 154) semble suggérer que cette partie n'a pas pu être martelée en raison de la présence de la pince ou de tout autre support tenant le clou, c'est en tous cas ce que révèle la construction expérimentale de l'Altaripa (Arnold 1999, p. 77).

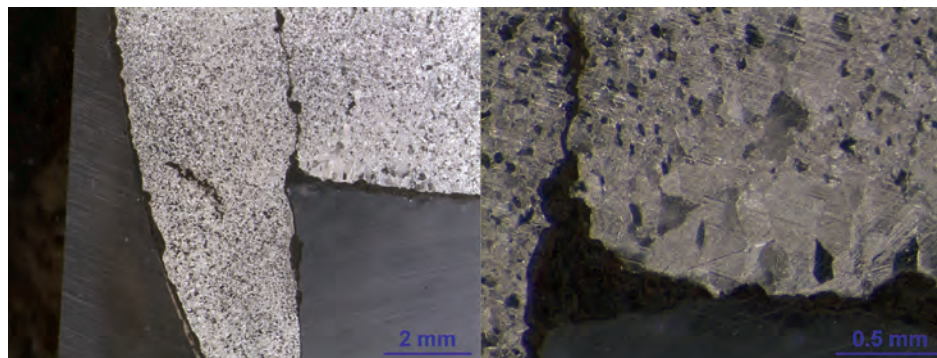
Une fissure est mise en évidence sous la tête du clou R202-1. La présence de produit de corrosion dans cette fissure permet d'indiquer qu'elle est antérieure à sa découverte, et ne résulte pas des contraintes physiques dues à l'extraction du clou. Cette fissure est localisée sous la tête, à proximité de la zone à gros grains, et pourrait être liée à un défaut de surface de type repliure, lié au travail de forge lors de l'élaboration du clou (fig. 155).

De manière générale, les clous présentent une micrographie homogène, avec des grains de ferrite relativement fins, à l'exception de la zone sous la tête. Très peu d'inclusions ont été observées, ce qui met en évidence un produit de bonne qualité. Seul le clou R202-5 présente une structure ferrito-perlitique, ce qui est cohérent avec sa teneur en carbone.

**Fig. 154 :** Clou R202-3. Présence d'une bande de grains plus gros sous la tête. Loupe binoculaire (grossissement  $\times 10$ ) (A-Corros).



**Fig. 155 :** Clou R202-1. Fissure au niveau de la jonction de la tige et de la tête. Loupe binoculaire (A-Corros).



#### Analyse caractéristique de l'alliage

Une partie de la tête des clous a été prélevée et réservée afin de réaliser les analyses chimiques par spectrométrie d'émission optique à source d'étincelle. Ces analyses ont permis de déterminer les éléments chimiques présents dans les clous. Les résultats sont présentés dans le tableau de la figure 156.

**Fig. 156 :** Résultats de l'analyse spectrométrique des têtes de clou.

	Carbone		Manganèse		Silicium		Soufre		Phosphore	
	Résultats (%)	Incertitudes	Résultats (%)	Incertitudes	Résultats (%)	Incertitudes	Résultats (%)	Incertitudes	Résultats (%)	Incertitudes
R202-1	0,015	0,003	<0,03	-----	<0,03	-----	<0,003	-----	0,086	0,005
R202-2	0,094	0,003	<0,03	-----	0,09	0,03	0,009	0,003	0,03	0,003
R202-3	0,018	0,003	<0,03	-----	<0,03	-----	<0,003	-----	0,035	0,003
R202-4	0,025	0,003	<0,03	-----	0,05	0,003	0,013	0,003	0,16	0,05
R202-51	0,14	0,03	<0,03	-----	<0,03	-----	0,003	0,003	0,02	0,003

Les résultats mettent en évidence la présence d'un alliage fer-carbone à faible teneur en carbone pour l'ensemble des cinq échantillons. Pour trois d'entre eux, (R202-1, R202-3 et R202-4), les résultats indiquent la présence d'un fer forgé (teneur en Carbone inférieure à 0,025 % - Matériau monphasé d'une solution solide de Carbone dans le Fer appelée ferrite). Pour R202-2 et R202-51, les résultats indiquent un acier doux (teneur en Carbone supérieure à 0,025 % - apparition de perlite, agrégat lamellaire dans la structure ferritique). Il est à noter une très faible présence des éléments soufre et silicium, avec une faible présence d'inclusions, ce qui est révélateur d'un alliage propre mis en évidence dans l'étude métallographique.

Les teneurs en phosphore sont également très faibles, variant de 0,02 à 0,16 %.

Il est intéressant de noter que le clou R202-1 a une teneur en phosphore située dans la moyenne supérieure des teneurs obtenues sur l'ensemble de ce corpus. Cet élément qui peut être fragilisant pourrait expliquer la présence de la fissure sous la tête (fig. 155), zone de concentration de contraintes (fabrication ou mise en œuvre). Il est cependant important de souligner que sur des matériaux datés de l'époque romaine, des hétérogénéités de composition peuvent exister au sein du même objet (Pagès *et al.* 2011). Il est possible de trouver dans un même objet des zones aciérées et des zones non aciérées.

#### Mesure de dureté

Afin de savoir si les clous ont subi une trempe lors de leur mise en œuvre, c'est-à-dire un refroidissement rapide du clou afin de donner une nouvelle dureté de la surface, une série de mesures de dureté a été réalisée avec un Duromètre INNOVATEST TH174.

Les résultats sont présentés dans le tableau de la figure 157.

	Dureté Vickers (HV) Moyenne	Carbone Résultats %
R202-1	116,9	0,015
R202-2	144,8	0,094
R202-3	117,8	0,018
R202-4	117,5	0,025
R202-51	162,3	0,14

Fig. 157 : Présentation de la dureté des échantillons (Vickers) en fonction de leurs taux de carbone.

La valeur moyenne des duretés par clou est cohérente avec leurs teneurs en carbone et leur structure métallographique. Ainsi le clou R202-51 présente la dureté la plus élevée, qui est cohérente avec la microstructure perlitique observée sur les macrographies.

Lors de ces prises de mesures, une filiation de dureté, selon l'épaisseur, a été réalisée et il n'a pas été noté de différences de dureté entre le cœur des clous et la surface. Cela semblerait indiquer l'absence de trempe sur ces clous, ce qui est cohérent avec la faible teneur en carbone.

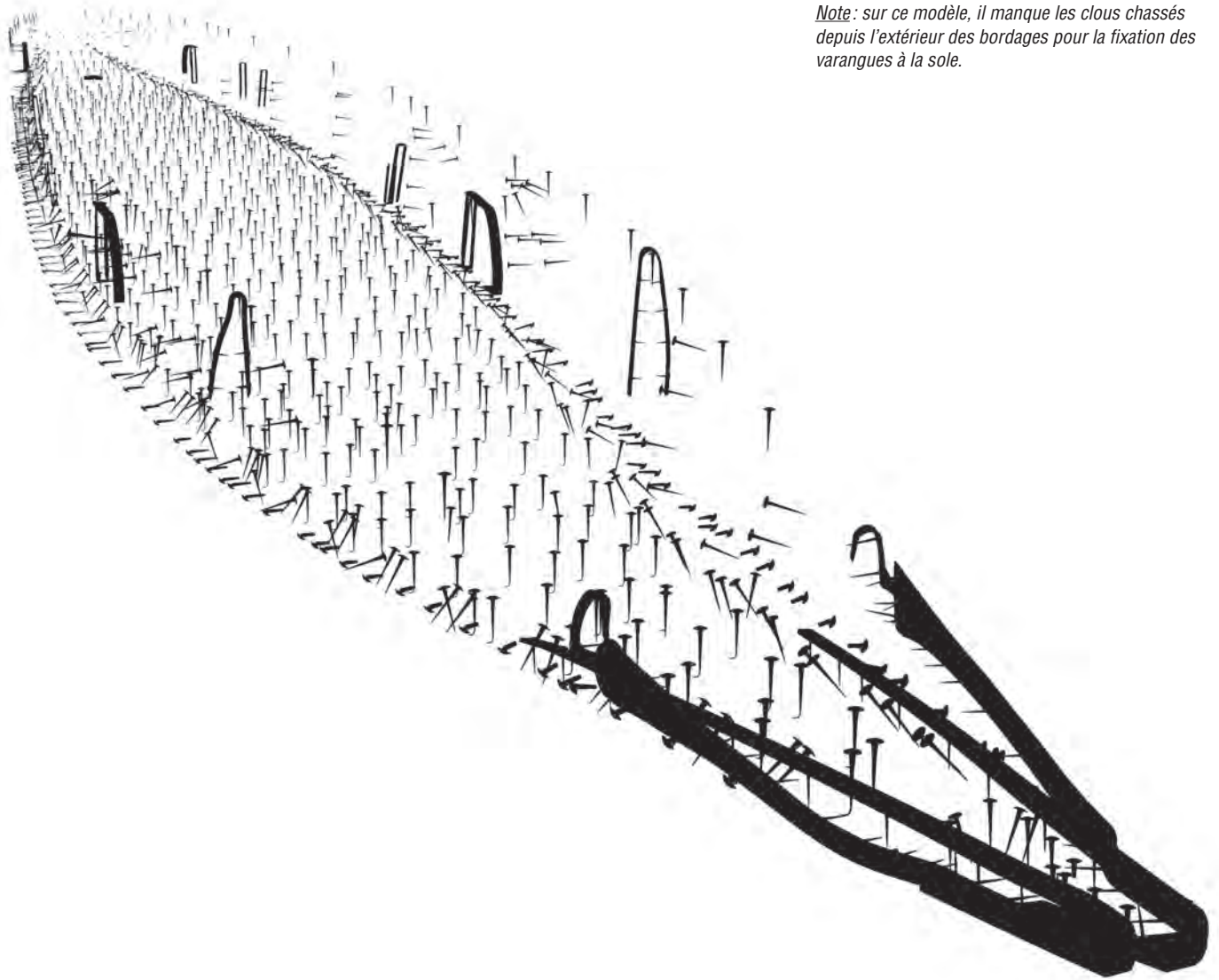
#### Conclusions

Cette étude, qui a porté sur un échantillonnage relativement faible, eu égard à la quantité de clous comptabilisés pour l'ensemble du chaland (moins de 1 % a été analysé), a néanmoins permis de faire plusieurs observations intéressantes et de préciser les champs de recherche à approfondir pour la suite de cette étude métallographique :

- Le matériau utilisé est un alliage fer-carbone dont la teneur en carbone permet de le distinguer comme fer (on notera pour le clou R202-5 une valeur de carbone permettant de le distinguer comme un acier ultra-doux à doux).
- Les structures métallographiques sont de type :
  - Ferrite : solution solide de Carbone dans le Fer pour les teneurs  $C < 0,025\%$ .
  - Ferrito-perlitique pour les teneurs supérieures.
- L'état inclusionnaire est très propre, ce qui indique une élaboration de bonne qualité.
- Les micrographies mettent en évidence un affinage à chaud de la tige entraînant une réduction de la taille des grains, améliorant les qualités mécaniques de la tige.
- Les micro-duretés sont cohérentes avec les teneurs en carbone. Aucun phénomène de trempe n'a été mis en évidence.

#### Conclusions sur les assemblages

Au regard de l'analyse réalisée sur les clous et les modes d'assemblage mis en œuvre au sein du chaland *Arlès-Rhône 3*, il ressort que ces assemblages sont soignés et particulièrement solides. L'implantation et le rythme de clouage avec, notamment, des clous qui dessinent un schéma en quinconce sur le dos des varangues et en W sur le dos des courbes



**Fig. 158 :** Modélisation 3D des clous et des éléments métalliques du chaland Arles-Rhône 3.

*Note :* sur ce modèle, il manque les clous chassés depuis l'extérieur des bordages pour la fixation des varangues à la sole.

CAO DAO P. Poveda

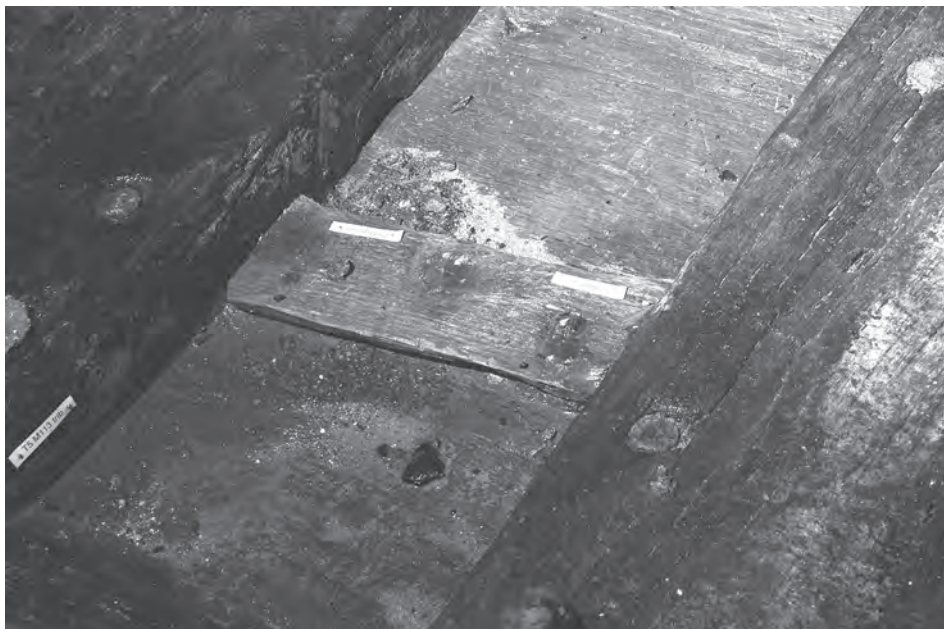


56. La qualité des clous du chaland AR3 est en effet remarquable en raison de la faible quantité d'inclusions dans le métal qui a permis de forger des tiges avec des pointes très fines d'une grande solidité. Cette étude métallographique, couplée à l'étude archéologique, permet ainsi de renforcer, de façon concrète, l'appréciation de la qualité de construction de ce bateau. Très peu réalisé (on pense cependant à l'étude réalisée sur les clous de l'épave *Blackfriars 1*, cf. Gilmour, *Armouries* 1994), on ne peut qu'encourager ce type d'analyses et d'études archéométriques sur les clous d'assemblage des épaves de bateaux d'eaux intérieures et de navires de type maritime et fluviomaritime afin de voir, notamment, si de grandes tendances, dans la qualité du matériau mis en œuvre, se dégagent en fonction de l'espace de navigation dans lequel était destiné à naviguer le bateau étudié.

témoignent du soin apporté à ces assemblages. Cette mise en œuvre permet également d'éviter de fragiliser le bois en créant une ligne de faiblesse par le passage des pointes de clous qui seraient alignés. Elle participe donc également de la solidité des assemblages. Celle-ci est également mise en évidence par la densité des clous employés (estimés à environ 1 700 pour l'ensemble du chaland) et de la pratique systématique du clouage croisé pour la fixation des membrures à la sole avec, là aussi systématiquement, des pointes rabattues sur le dos des membrures (le plus souvent une fois) et l'extérieur des bordages (une à deux fois). L'assemblage de la structure du banc de mât a également été renforcé par l'emploi de broches (fig. 158).

L'étude métallographique met finalement en évidence une qualité de production de ces clous, réalisés avec un alliage de fer et de carbone (de type acier extra-doux) de très bonne qualité avec très peu d'impureté, qui contribue aussi à la solidité des assemblages et qui renvoie, plus globalement, à la qualité de la construction du chaland<sup>56</sup>.

Finalement, l'étude des assemblages de l'épave *Arles-Rhône 3* nous permet de participer à la réflexion sur les séquences de construction du chaland (*infra*, p. 204-208).



**Fig. 159 :** Planchette de réparation (Rep. 2) située sur le joint B4-BM2, entre les membrures M113 et M114 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

## LES RÉPARATIONS

Plusieurs types de réparations ont été enregistrés sur le chaland *Arlès-Rhône 3*, aussi bien sur la sole et les bouchains que sur les bordés de flanc et le banc d'étambrai.

### Les réparations sur la sole et les bouchains

Sabrina MARLIER

Le premier type de réparation touchant la sole et les bouchains concerne de fines fissures, soit internes soit externes, colmatées avec de la poix seule ou des tissus poissés.

Sur le bordage B2, des fissures, situées sur la face interne de la planche, sur l'arrière (entre les membrures M95 et M96), ont été rebouchées, colmatées avec de la poix (fig. 44).

Sur l'avant du bateau (à partir de la membrure M127), tous les bordages de la proue, à l'exception de B6, présentent sur leur face externe de fines fissures obliques et, le plus souvent, longitudinales colmatées avec de la poix seule ou des tissus poissés. Ainsi, sous B5, au niveau de l'écartement entre les membrures C13-M131, des fissures obliques ont été colmatées avec de la poix et du tissu. Sous B7, une fissure radiale a été repérée entre les membrures M127-M129 et a été colmatée avec des tissus poissés. De la même façon, sur la face externe de B4 et de B3, de longues fissures radiales longitudinales ont été repérées. Sous B4, une fissure court depuis M127 pratiquement jusqu'à l'extrémité avant de ce bordage (fig. 145). Et sous B3, une autre fissure court depuis M129 et se poursuit sous B8 (B3-B8 constituant la virure de sole bâbord) jusque sous l'extrémité de la proue du chaland, soit sur une longueur d'environ 8,25 m. Cette longue fissure a été comblée avec des tissus poissés mais, au niveau de la zone M133-M137, elle s'est écartée sur la face interne, représentant ainsi un risque important de voie d'eau. Sur l'arrière, le bordage vertical BV1, participant du bouchain composé sur bâbord, présente quant à lui une fente sur la face externe de la pièce. D'une longueur de 53 cm, celle-ci a également été comblée avec de la poix et du matériel de lutage.

Le second type de réparation est lié à la mise en place de planchettes de bois, sur toute une série de coutures, à l'avant du chaland. Le plus souvent fixées par de petits clous en fer, ces planchettes étaient destinées à maintenir en place et sans doute protéger les joints d'assemblage. Sur le joint B4-BM2, on enregistre ainsi quatre planchettes disposées dans l'écartement des membrures M112 à M116 (fig. 117 et 159). On enregistre le même type de planchette en bois plus en avant, sur le joint B5-B4, situé entre M130 et M131, ainsi que sur le joint B4-BM4, en avant de M132 et entre M132-M135 (fig. 96). Ces planchettes présentent des largeurs comprises entre 2 et 10,6 cm pour une épaisseur comprise entre 1,5 et 3 cm et étaient maintenues au moyen de petits clous en fer (diam. max. de tête : 12 mm) enfoncés le plus souvent directement dans le joint.



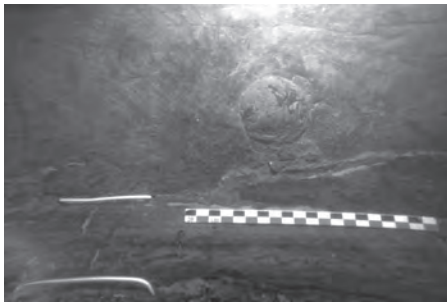


Fig. 160: Vue, in situ, d'un patch de résine situé sur l'intérieur du bordage B2 (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

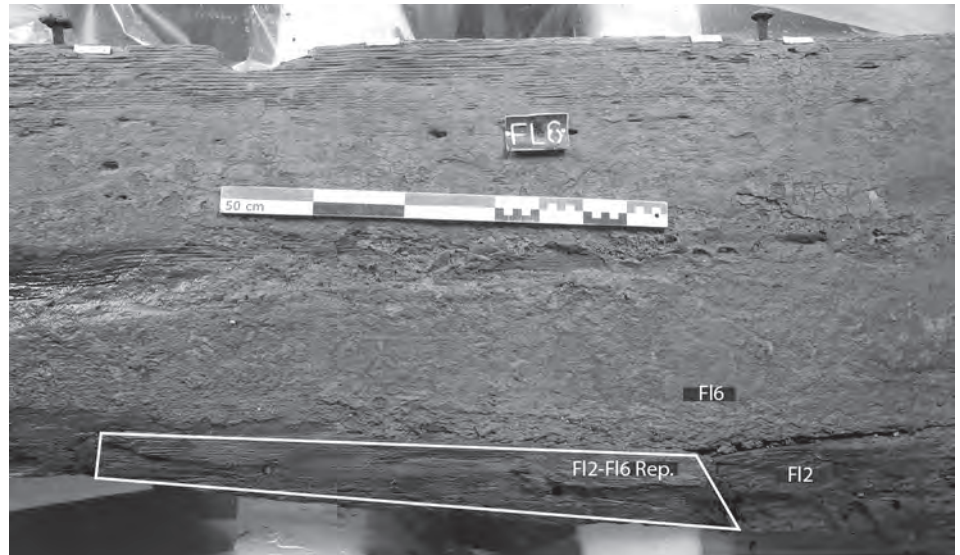


Fig. 161: Vue, depuis l'intérieur, de la planche de réparation F12-F16 Rep. sur l'avant du flanc tribord (L. Roux, O'Can-Ipsa Facto, MdAa/CG13).

Le troisième type de réparation identifié sur la sole correspond au colmatage d'un trou avec de la poix. Découvert sur l'arrière de la sole, dans la face interne du bordage B2 (entre les membrures M97 et M98), la présence de ce patch de résine de 6 cm de diamètre est sans doute lié à la présence d'un nœud dans le bois qui aura sauté<sup>57</sup> (fig. 160).

### Les réparations sur les bordés de flanc

Sabrina MARLIER

Sur les bordés, deux types de réparation ont été documentés. Le premier consiste en la mise en place de planches, ou « rombaillets »<sup>58</sup>, pour combler des lacunes du bois dans les pièces de bordé de flanc en demi-tronc. Le second type concerne la réparation de fissures dans le bois de ces mêmes pièces à l'aide de matériaux d'étanchéité.

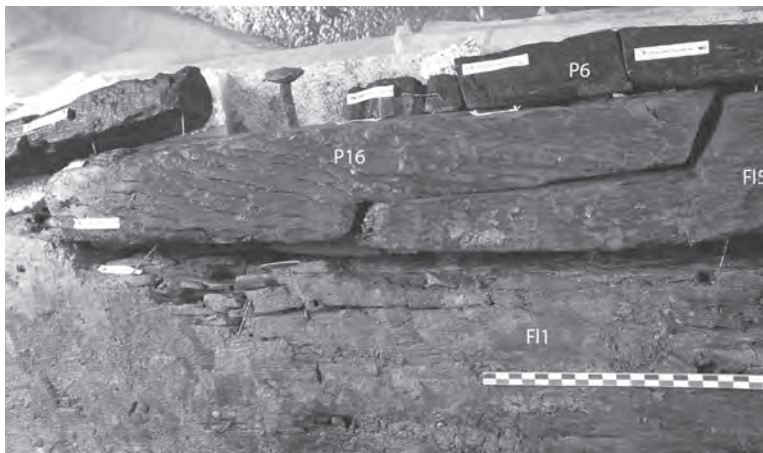
À la proue, au niveau des écarts qui lient les bordés de flanc en demi-tronc entre eux, F15 à F11 et F16 à F12, deux planches de réparation ont été mises en place à la base des bordés de flanc, juste en avant de ces écarts. À bâbord, la planche de réparation enregistrée sous le numéro F15 Rep. se situe en avant de F11, à la base de F15, et présente une longueur de 1,70 m pour une hauteur de 16,5 cm maximum (pl. II). Aucune liaison apparente n'assemble cette planche de réparation aux deux pièces de bordé et sa découpe particulière lui permet de venir s'encaster parfaitement entre ces deux éléments. Sur tribord, la planche de réparation F12-F16 Rep. se situe également en avant de la pièce de bordé principale, F12, et à la base de F16 (pl. II et fig. 161). De section quadrangulaire, elle présente une longueur de 67 cm pour une hauteur de 8 cm. Des clous verticaux viennent ici assembler cette planche de réparation à la pièce de bordé F16.

Sur tribord avant, deux planches de réparation de la partie sommitale de la pièce de bordé F12 ont été mises en évidence. Il s'agit des planches P12 et P15 qui présentent une section trapézoïdale avec une face supérieure arrondie destinée à venir se positionner sur le haut de la pièce de flanc sur laquelle une entaille a été spécifiquement aménagée afin de les recevoir (pl. II). Ces planches, conservées sur moins de 1 m de longueur, présentent, pour P15, une base d'une largeur de 8,3 cm pour une hauteur de 6,5 cm<sup>59</sup>. P12 prend place au niveau de la courbe C10 (en arrière de M123) et son extrémité avant a été taillée en biseau afin de se positionner dans l'entaille aménagée sur le haut de la pièce de flanc en demi-tronc F12. P15, pour laquelle seuls deux fragments ont été conservés, prend place plus en avant, au niveau de l'emplanture de mât (M129). L'extrémité arrière de P15, conservée, a été taillée à angle droit ; elle est poissée pour un écart bout à bout avec la pièce de bordé F12 qu'elle prolonge sur l'avant. L'écart entre les deux pièces n'est cependant plus visible car la partie sommitale de F12 est érodée à cet endroit. Sur l'extrémité avant conservée de P15, il a été enregistré un orifice de forme semi-circulaire, en correspondance avec un orifice de même forme découpé sur la face inférieure de la planche de plat-bord P13 (*supra*, p. 100) ; cet aménagement était destiné au passage de cordages. Ces deux planches

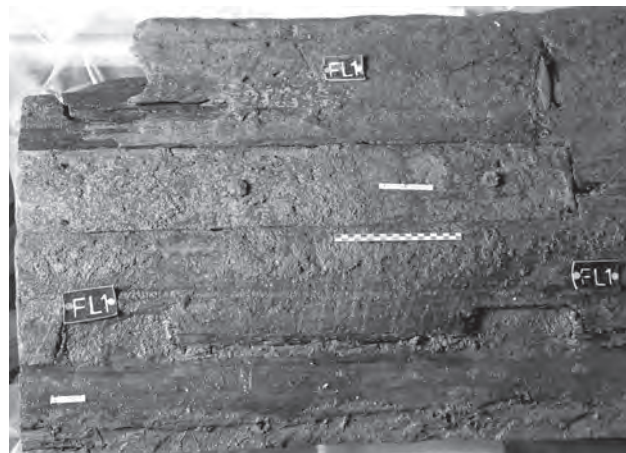
57. Sur l'épave du chaland gallo-romain de la place Tolozan, à Lyon, datée du 1<sup>er</sup> s., du tissu poissé a été utilisé comme bouchon d'étoupe à un gros nœud traversant toute l'épaisseur du bordé monoxyle de transition (Rieth 2011, p. 69). Sur l'épave romaine tardive de Pakoštane (Croatie), datée de la fin du 1<sup>er</sup>-déb. du 5<sup>e</sup> s., l'étude archéologique a mis en évidence ce même type de rebouchage lié à la présence de nœuds qui ont sauté (Boetto *et al.* 2012, p. 123-127).

58. Selon la définition donnée par le dictionnaire encyclopédique de marine de Vial Du Clairbois (1793) : « Rombaillet, s. m. : c'est un morceau, une espèce de pièce que l'on met en place de quelque défaut qui peut se trouver au can d'un bordage ».

59. P12 n'a pas été mesurée.



**Fig. 162 :** Vue, depuis l'intérieur, de la planche de réparation P16 et du plat-bord P6, sur le haut de la pièce de bordé F11. P16 vient en outre prolonger F15 sur l'arrière au moyen d'un écart à mi-bois (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 163 :** Planche de réparation collée avec de la poix et clouée sur l'intérieur du bordé de flanc F11, au niveau de la maille M106-M108 (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

de réparation, P12 et P15, ont sans doute été mises en place afin de venir se substituer au bois du bordage F12, très dégradé en son sommet par une pourriture du bois apparentée à une pourriture cubique provoquée par un champignon (*infra*, p. 155-157). Pour les mêmes raisons, il est évident que P3, positionnée sur tribord arrière et considérée à l'origine comme une planche de surélévation, correspond également à une planche de réparation de la partie sommitale du flanc F12 (fig. 45).

Au centre du bateau, sur bâbord, ce sont trois planches de réparation de la partie sommitale du bordé de flanc en demi-tronc F11 qui ont été mises en évidence. Il s'agit des planches P11, P14 et P16 qui présentent une section trapézoïdale avec une face supérieure arrondie destinée à venir se positionner sur le haut de la pièce de flanc sur laquelle un méplat a été spécifiquement aménagé afin de les recevoir (fig. 162). Ces planches, fragmentaires et conservées sur des longueurs allant de 55 cm (P16) à un peu plus de 1 m (P11 et P14), présentent une base d'une largeur de 8 à 9 cm pour une hauteur de 6,5 à 9 cm. Concernant leur répartition, P11 prend place au niveau des membrures M117-M120, P14 se situe plus en avant, au niveau de M122-M125, et P16 est située au niveau de l'emplanture de mât (M129). Cette dernière planche vient en outre, au moyen d'un écart à mi-bois qu'aucun élément d'assemblage ne bloque, prolonger la pièce de bordé de flanc en demi-tronc F15 vers l'arrière (fig. 162). Comme pour le flanc tribord, ces trois planches de réparation ont sans doute été mises en place afin de se substituer au bois du bordé de flanc en demi-tronc F11, très dégradé dans sa partie sommitale par une pourriture d'origine fongique.

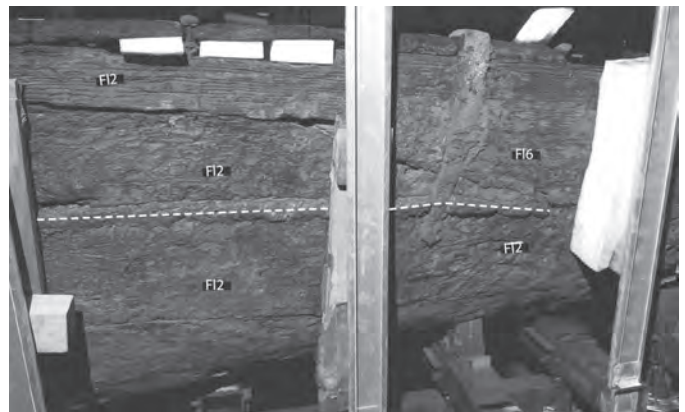
Également en relation avec la dégradation du bois due à cette même pourriture, deux planchettes ont été collées et clouées, sur la face interne, pour l'une, et sur la face externe pour l'autre, de la pièce de bordé bâbord F11, dans sa partie haute. La première planchette est située au niveau de la maille M106-M108 (pl. II et fig. 163). Longue de 1,16 m pour une largeur de 15 cm et une épaisseur de 4 cm, cette pièce de réparation a été collée avec de la poix et clouée, depuis l'intérieur et l'extérieur, par des clous enfoncés à pointe perdue, sur la face interne de F11, afin de combler un surcreusement du bois sans doute dû à une pourriture provoquée par un champignon. Plus en avant, au niveau de M121-M123, une autre planchette de bois de 1,43 m de longueur pour une largeur de 16 cm et une épaisseur de 3,3 cm a été clouée sur la face externe de F11 (fig. 164).

Outre les planches de réparation mises en œuvre sur le chaland pour restaurer des lacunes du bois, on observe également la réparation de fissures au moyen d'un matériau d'étanchéité.

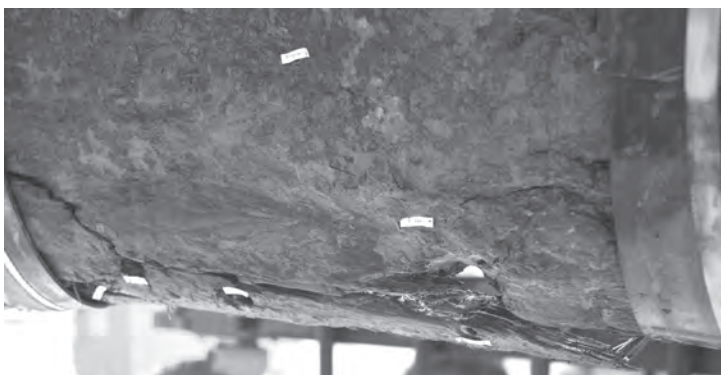
Dans la partie centrale du bateau, à bâbord, au niveau des membrures M118-M119, des zones abîmées du bois de la pièce de bordé F11 ont ainsi été colmatées soit avec des tissus poissés soit seulement par de la poix (sur la face interne). Au niveau de la proue, des fissures longitudinales situées en vis-à-vis sur les bordés de flanc en demi-tronc F11 (au niveau de la maille M130-M135) et F12 (M131-M135) ont également été réparées. Situées dans la partie médiane de la pièce pour F11 et dans la partie médiane et supérieure pour F12, ces fissures, longues de 3,3 m (F11) et de 2 m et 1,6 m (F12), traversent l'épaisseur des pièces de bordé. Elles ont été colmatées avec des tissus poissés enfoncés depuis l'extérieur. De chaque côté, ces fissures se trouvent au niveau de l'écart formé par la pièce de bordé



**Fig. 164:** Planche de réparation clouée sur la face externe du bordé de flanc F11, au niveau de la maille M121-M123 (L. Roux, O'Can-Ipsa Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 165:** Vue, depuis l'extérieur, d'une fissure réparée (en pointillés) au niveau de l'écart formé par les pièces de bordé de flanc F12 et F16 (L. Roux, O'Can-Ipsa Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 166:** Vue, sur la partie inférieure externe du bordé monoxylic de flanc F12, situé à la proue, de crevasses qui ont perforé l'épaisseur de la pièce à certains endroits (L. Roux, O'Can-Ipsa Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 167:** Vue, de l'extérieur, d'une planche de réparation colmatée par de la poix (bordé de flanc F12, sur l'arrière) (T. Seguin, O'Can-Ipsa Facto, MdAa/CG13).

principale avec la pièce de bordé qui vient les prolonger vers l'avant, soit au niveau de l'écart F11-F15 à bâbord et F12-F16 à tribord (pl. II et fig. 165). Chacun de ces écarts est bloqué par un étrier métallique qui enserre, depuis le plat-bord, les faces interne et externe de ces pièces (*supra*).

Sur le bordé de flanc en demi-tronc F12, mais aussi sur FL5 (fig. 238), on observe aussi, plus en avant sur la proue, une autre fissure longitudinale avec des crevasses qui traversent la pièce de part en part et qui n'ont pas été colmatées, provoquant sans doute des entrées d'eau importantes (pl. II et fig. 166).

Sur tribord arrière, enfin, les deux types de réparation, colmatage de fissure et mise en place d'une planche de réparation, ont été mis en œuvre conjointement (fig. 167). Au niveau de la membrure M95, le bordé de flanc en demi-tronc F12 présente en effet une fracture importante sur toute sa hauteur. Cette fracture a été colmatée avec de la poix qui ne déborde pas sur les faces interne et externe des deux pièces raboutées. Juste en arrière, une petite plaquette de réparation de forme quadrangulaire a été mise en place sur la face externe de F12; elle a été plaquée et maintenue à l'aide d'une couche de poix abondante qui déborde sous forme de bourrelet.

### La réparation du banc d'étambrai

Sabrina MARLIER

Sur le banc d'étambrai, une fissure a fait l'objet d'une consolidation. Afin d'éviter qu'une fente longitudinale radiale (au cœur du bois), traversant la pièce de part en part et en plein



**Fig. 168 :** Vue de la réparation de la fissure effectuée sur l'arrière du banc de mât, sur bâbord, au moyen de clous transversaux et d'une épontille de soutien (L. Roux, *O'Can-Ipso Facto*, MdAa/CG13).

centre du côté bâbord, ne s'élargisse davantage, deux clous transversaux ont été enfoncés depuis le can arrière de la pièce (fig. 168). La faiblesse entraînée par cet endommagement de la pièce a également été compensée par l'insertion, entre le banc (au niveau de la fissure, sur l'arrière de la pièce) et l'emplanture, d'une épontille de 51,8 cm de hauteur et de 14,1 cm par 8 cm de côté.

## Discussion sur les réparations

Sabrina MARLIER

Pour la mise en œuvre de l'ensemble de ces opérations de réparation, la question de la chronologie et du moment de leur réalisation se pose : était-ce au moment de la construction ou après, durant la période d'utilisation du chaland ? Dans le premier cas, il s'agirait alors d'actions préventives à mettre en relation avec le retrait du bois lors du séchage des planches, provoquant ainsi des fentes radiales concernant les bordages de sole et les bordés monoxyles de transition. Dans le deuxième cas, il s'agirait d'actions curatives – répondant davantage à la définition de « réparation » – intervenant de façon normale après un certain temps d'utilisation du bateau. Malgré des observations attentives, il est bien souvent difficile de trancher entre les deux.

Pour ce qui est du colmatage des fissures des bordages de sole, par exemple, s'il est possible d'avancer que l'intervention sur le bordage B3, à la proue, est probablement intervenue au moment de la construction, dans les autres cas, le moment d'intervention ne peut être déterminé avec certitude. Sur B3, l'indication nous est donnée par le fait que la fente n'apparaît que sur une zone localisée du bordage, dans sa partie avant qui est débitée à cœur, et qui correspondrait ainsi à une dessiccation du bois, avant sa mise à l'eau.

Dans les autres cas, le moment d'intervention ne peut être déterminé avec certitude.

Pour la mise en place des planchettes sur les joints d'étanchéité, à l'avant du bateau, la même question se pose, entre le recours à ces éléments comme procédé d'étanchéité, au moment de la construction du chaland, ou comme technique de réparation, réalisée après une certaine période d'utilisation du bateau. L'analyse dendrologique révèle ici (*infra*, p. 179) que ces réparations ont pu être posées lors du temps de la navigation du chaland. Ces planchettes se situent en effet au niveau de l'aubier et non au droit du joint entre deux planches (fig. 204). Afin de prévenir une éventuelle dégradation, ces planchettes ont pu être positionnées au droit de l'aubier, à moins que l'aubier n'ait été dégradé à un endroit que nous n'avons pas pu voir puisque les planchettes étaient en place. Celles-ci peuvent ainsi être interprétées comme des palâtres, à l'image de celles retrouvées sur l'épave *Ep. 8* de Lyon Saint-Georges (datée de 55 ap. J.-C.) qui ont également été interprétées comme de probables réparations des joints d'étanchéité (Guyon 2010, p. 52). Sur l'épave *Ep. 4* du parc Saint-Georges de Lyon ce sont en revanche des palâtres en plomb (Guyon 2010, p. 80) qui ont été mises en œuvre. Entre procédé d'étanchéité ou technique de réparation (Rieth

2010a, p. 44-45), le palâtrage mis en œuvre dans le chaland *Arles-Rhône 3* renvoie vraisemblablement à la seconde hypothèse.

Pour le colmatage du nœud qui a sauté sur un des bordages de la poupe (fig. 160), la réparation au moyen d'un patch de résine a pu être réalisée au moment de la construction du bateau, comme cela a pu être observé à Antibes sur l'épave d'un navire de mer romain<sup>60</sup>, ou ultérieurement, alors que le chaland était en cours d'utilisation, en guise de réparation<sup>61</sup>.

Pour le colmatage des fissures du bordé, situées au niveau des écarts formés par les bordés de flanc en demi-tronc principaux (F11 et F12) avec les pièces de bordé qui viennent les prolonger vers l'avant (F15 et F16), l'intervention est sans doute intervenue au moment même de la construction du bateau. Chacun de ces écarts est en effet bloqué par un étrier métallique qui vient enserrer, depuis le plat-bord, les faces interne et externe des pièces de bordé. Or, dans les deux cas, un clou d'assemblage de cette ferrure a été délibérément planté, sur la face externe des pièces de bordé, dans le joint de réparation de ces fissures (fig. 165), signifiant ainsi que les étriers ont été mis en place après que les fissures ont été réparées. Le moment de cette réparation et de la mise en place des étriers est donc sans doute intervenu au moment même de la construction du bateau, les fissures étant probablement dues à l'utilisation de bois vert pour la construction. Il est cependant clair que le bordé a continué à se fissurer à cœur et à se crevasser profondément après la construction car certaines des fissures observées sur la face interne du bordé ne sont pas colmatées et celles observées sur le bordé de flanc en demi-tronc F12 notamment sont très importantes (fig. 41). Pour ce qui est des planches de réparation des bordés de flanc en demi-tronc, disposées sur la face interne, la face externe ou encore la partie sommitale des pièces de bordé, en relation avec la dégradation du bois due à la pourriture noire, le moment de la mise en place de ces planches n'a pas pu être déterminé (*infra*, p. 179).

Concernant le banc d'étambrai, finalement, il semble évident que la pièce se soit abîmée durant la période de navigation du chaland et que les charpentiers, ou les bateliers, ont procédé à une consolidation de fortune de la fissure afin d'éviter que celle-ci ne s'élargisse et que le banc, ainsi fragilisé, ne s'affaisse.

Au final, en dehors du colmatage de la fissure sur B3, des planchettes de palâtrage et de la réparation du banc d'étambrai pour lesquels le moment d'intervention peut être fixé, il n'est pas possible de préciser la chronologie dans les autres cas. La question du moment de la mise en œuvre de ces opérations est cependant importante afin de pouvoir estimer la qualité de la construction, la durée de vie du chaland et les causes possibles de son naufrage (*infra*, chapitre 7).

## Les analyses mycologiques sur les bordés de flanc: des champignons à bord?

Franck RICHARD, Mathieu SAUVE et Pierre-Arthur MOREAU

Parce qu'ils sont des organismes hétérotrophes, les champignons figurent parmi les principaux recycleurs du carbone organique dans les écosystèmes terrestres. Certaines espèces parasites (par exemple *Armillaria*, *Phellinus*, *Heterobasidion*, ...) causent d'importantes mortalités dans les peuplements forestiers, tout en participant activement par leur action à la dynamique de la végétation lors des successions forestières (Hansen, Goheen 2000). D'autres espèces, dites saproxyliques, décomposent exclusivement la nécromasse ligneuse, et participent au bouclage des cycles biogéochimiques (Richard *et al.* 2005). Ces capacités des champignons à décomposer le bois sont parfois exceptionnelles, comme l'illustre la mérule (*Serpula lacrymans*), une espèce rendue célèbre pour avoir détruit l'Invincible Armada, après les guerres napoléoniennes.

Des signes de décomposition d'origine fongique ont été observées sur le chaland gallo-romain *Arles-Rhône 3*, immergé depuis près de vingt siècles. Des zones de pourriture prélevées ont été analysées afin d'identifier les organismes responsables et d'étayer des scénarios possibles quant à la chronologie des événements, à la lumière de leur biologie (capacité fermentaire, structures anatomiques) et de leur écologie (espèces terrestres ou aquatiques).

Des portions de bordé présentant des faciès de dégradation à caractère fongique ont été localisées par examen visuel. Sur les fragments dégradés, une analyse morpho-anatomique des fragments concernés a été réalisée, afin de déterminer les secteurs présentant une concentration élevée de matériel fongique (mycélium). Ces portions ont été rincées à l'eau distillée, puis décapées sous loupe binoculaire afin de prélever le matériel présent pour analyse moléculaire. Les prélèvements ont fait l'objet d'une extraction de l'ADN fongique qu'ils contenaient à l'aide du kit Extract-N-Amp™ kit (Sigma-Aldrich®). La région ITS des ADN fongiques présents a ensuite été amplifiée par PCR à l'aide d'amorces spécifiques (ITS1-F/ITS4 (Gardes, Bruns 1993), et les séquences ont finalement été

60. Communication personnelle G. Boetto (CCJ CNRS) qui a pu observer, avec le démontage des pièces de l'épave en vue de leur restauration, que certains patches de réparation se situaient sous les membrures, prouvant ainsi que l'action avait été réalisée au moment de la construction du bateau, avant la fixation des pièces transversales au bordé. Dans ce cas, les nœuds présentaient un risque de voie d'eau, incitant les charpentiers à badigeonner les nœuds de poix et à les recouvrir d'une plaquette de plomb (pour l'épave d'Antibes, voir Daveau, Boetto 2012).

61. Sur l'épave romaine tardive de Pakoštane (Croatie, fin IV<sup>e</sup>- déb. V<sup>e</sup> s.), correspondant également à un bateau de mer, le moment d'intervention pour la mise en œuvre des patches n'a pas pu être déterminé (Boetto *et al.* 2012, p. 123-127).

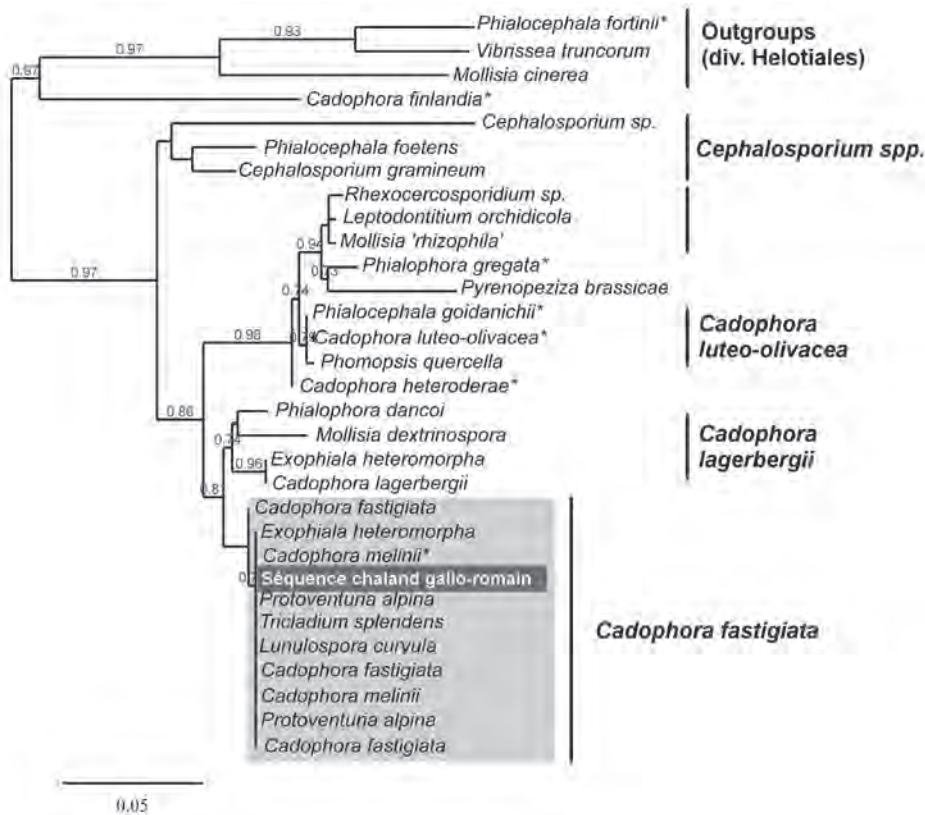


Fig. 169 : Positionnement phylogénétique et assignation taxonomique de l'espèce de champignon présente dans le bois du chaland.

assignées sur le plan taxonomique à l'aide de l'algorithme BLAST et alignées (Altschul *et al.* 1997). L'objectif de ce travail était de relier les portions dégradées à la présence d'espèces saproxyliques.

L'analyse morpho-anatomique a mis en évidence la présence de portions de bords touchés par une pourriture molle, causée par l'attaque cellulolytique du bois par diverses espèces d'Ascomycota (par exemple *Phialophora*, *Nectria*, ...). Le séquençage de l'ADN présent a mis en évidence la présence de matériel biologique appartenant à différentes espèces d'Ascomycota unicellulaires capables de fermenter. Dans cet environnement aquatique, la présence de levures (Saccharomycetes: *Candida*, *Pichia*...) était notamment attendue.

Sur l'un des fragments analysés, le séquençage a révélé la présence d'une espèce d'Ascomycota filamenteux, appartenant au genre *Cadophora*, un groupe de Leotiomycetes (Helotiales) connu pour causer des pourritures molles sur une grande diversité d'essences. Une analyse phylogénétique, par comparaison avec des séquences de référence disponibles, et mise en lien avec un travail monographique récent (Harrington, McNew 2003), permet de conclure à l'identité du champignon, pour lequel nous retenons le nom de *Cadophora fastigiata* (synonyme: *Cadophora melinii*). Ce champignon a déjà reçu de nombreux noms, comme la plupart des Ascomycota à reproduction asexuée, décrits tantôt sur cultures, tantôt sur prélèvements environnementaux dans diverses conditions (fig. 169).

Les synonymes trouvés dans la littérature, mais aussi les noms variés donnés à des séquences identiques de *GenBank* (*Exophiala heteriomorpha*, *Lunulospora curvula*, *Protoventuria alpina*, *Tricladium splendens*), illustrent la grande confusion existant au sujet de ces espèces. Néanmoins, l'identité de la séquence obtenue avec trente séquences (99 à 100 % d'homologie) permet de mieux comprendre l'écologie de l'espèce présente dans le bois du chaland. Ainsi, cinq séquences proviennent de troncs d'arbres (surtout *Picea*) fraîchement coupés, et sont répertoriées comme « endophytes », c'est-à-dire comme espèces vivant à l'intérieur des tissus végétaux, sans causer de symptômes visibles; trois séquences ont été isolées de sols humides, et une seule de débris pourris d'*Arctostaphylos* en milieu alpin; onze séquences proviennent de prélèvements réalisés en Antarctique, sur les refuges des explorateurs du début du xx<sup>e</sup> s. le long de la mer de Ross (Blanchette *et al.* 2010). Les descriptions concernent surtout des observations sur feuilles pourries immergées, toujours en eau douce. Il en ressort une biologie et une écologie très larges, caractérisées par une grande résistance aux conditions extrêmes, soit d'anoxie (milieux

inondés), soit de froid (Antarctique). Cette résistance semble partagée par d'autres *Cadophora*.

Ce travail ne permet pas de conclure quant au moment où *Cadophora fastigiata* est entré en contact du bois (avant ou après le naufrage, mais aussi avant ou après mise à l'eau de l'embarcation). Néanmoins, sa capacité à se développer et à participer à la décomposition de bois dans des conditions extrêmes laisse penser qu'il est présent dans ces sédiments depuis une très longue période, peut-être depuis le début de l'enfouissement du bois. L'hypothèse d'une survenue récente à une telle profondeur et au cœur du bois paraît improbable.

Deux hypothèses peuvent expliquer la présence limitée de ce décomposeur très résistant : l'arrivée fortuite de mycélium et/ou de spores fongiques à travers les sédiments, parmi les décomposeurs courants des débris végétaux immergés ; ou le maintien, à travers les siècles, d'un mycélium implanté avant l'immersion ou aux premiers stades de celle-ci, sans doute en compagnie de nombreux autres qui auraient disparu entre-temps. L'hypothèse d'une dégradation antérieure à l'immersion est biologiquement et écologiquement possible. Dans un tel scénario, *Cadophora* aurait colonisé le bois avant le naufrage (sans que l'on puisse distinguer si cette phase de colonisation est à situer durant la période de navigation ou encore antérieurement, par exemple au cours de la vie des arbres utilisés pour fournir le bois, ou encore lors de la construction du chaland), puis les conditions extrêmes (anoxie) auxquelles il aurait été soumis après immersion auraient considérablement ralenti son développement et la dégradation du bois. Ce scénario pourrait être étayé par l'argument suivant : *Cadophora fastigiata* est une espèce très résistante, toujours accompagnée d'autres espèces dans les analyses de bois colonisé (notamment par d'autres *Cadophora*). Le fait de n'avoir trouvé qu'une espèce de décomposeur permettrait d'exclure l'hypothèse d'une infection massive et active encore à l'œuvre. Dans tous les cas, l'aptitude du *Cadophora* à la décomposition des débris ligneux dans des conditions aussi difficiles est sans doute très faible, sans quoi le chaland ne nous serait pas parvenu dans un état aussi conservé.

## LES AMÉNAGEMENTS INTERNES

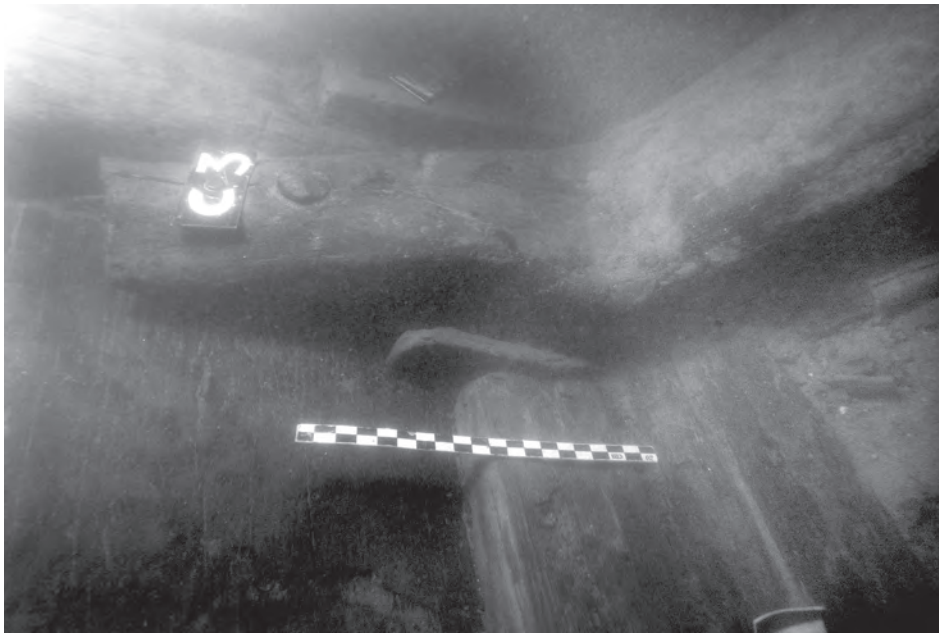
Sabrina MARLIER

### Les aménagements internes liés au mobilier de bord : des planches de protection disposées à la poupe du chaland

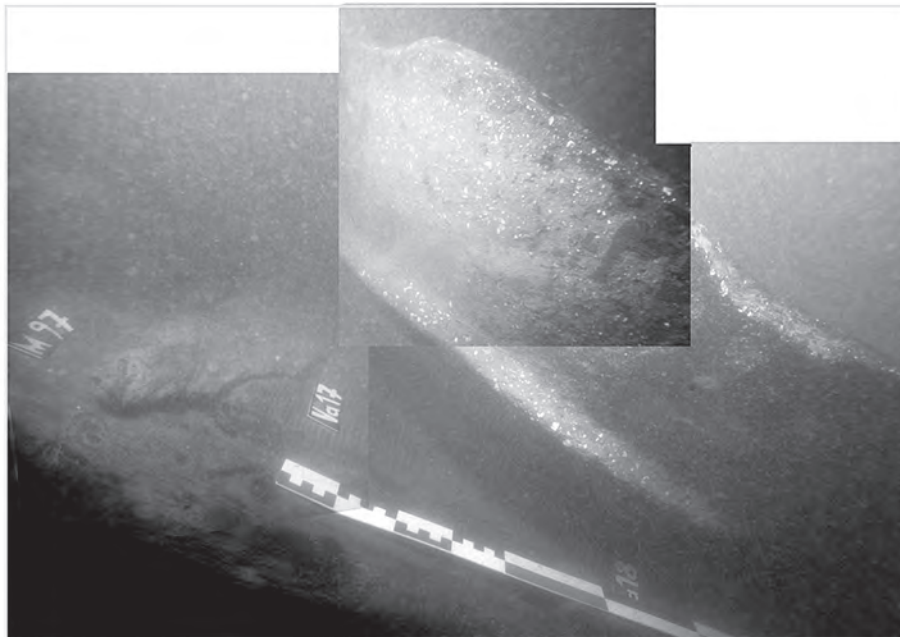
Disposés à la poupe, deux types d'aménagement interne ont été mis en place par les constructeurs du chaland afin de protéger le fond de la coque des activités de cuisine et des menus travaux pratiqués par les bateliers à cette extrémité du bateau.

Le premier est constitué par une série de planches en résineux plaquées et collées avec de la résine contre les bordages de sole, entre les membrures M95 et M96 (Va 12, Va13, Va14 et Va15) et les membrures M96 et C3 (Va16) (pl. III). Elles mesurent entre 42,5 cm (Va16) et 70,3 cm (Va13) de longueur – correspondant à la maille de la membrure – pour des largeurs comprises entre 3,1 cm (Va15) et 39,7 cm (Va13) et des épaisseurs comprise entre 2,4 cm (Va15) et 3,2 cm (Va13). Alors qu'elles ont toutes été découpées de manière à venir s'encastrent parfaitement dans l'espace compris entre les membrures, l'une d'entre elles, Va16, a dû être calée contre la courbe C3 à l'aide d'un petit coin de bois (pl. II et III ; fig. 170). On note aussi, pour les planches de protection Va12 et Va14 que leur can bâbord, pour la première, et tribord, pour la seconde, ont été taillés de manière à venir s'adapter à la courbe du bouchain.

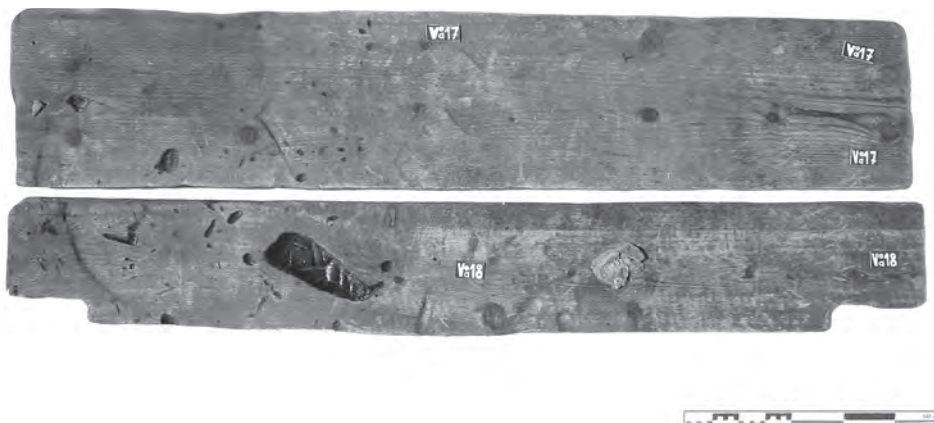
Le second type d'aménagement est constitué par deux longues planches amovibles (Va17 et Va18) disposées de manière longitudinale sur le dos des membrures M97, M98 et M99, du côté tribord de la coque (pl. III). Débitées dans du sapin, elles sont longues, respectivement, de 1,66 m et 1,77 m, et sont larges de 22,5-25 cm (Va18) à 31,5-32 cm (Va17) pour des épaisseurs comprises entre 1,8 à 3,2 cm (Va18) et entre 2,2 à 3,6 cm (Va17). La planche Va18 présente, en outre, sur ses extrémités du côté tribord, des encoches de forme rectangulaire (de 19 x 5,5 cm pour l'encoche avant et de 15 x 4,5 cm pour l'encoche arrière) correspondant à l'emplacement des ressauts des extrémités des varangues M97 et M99. Ces vaigres étaient destinées à recevoir le fond d'un *dolium* maintenu en place au moyen d'une épaisse couche de résine répandue sur la face supérieure de la vaigre Va17. Remployé comme foyer pour la cuisine de l'équipage (fig. 171), ce fond de *dolium* est à mettre en relation avec des traces de brûlure profondément imprimées dans le bois de la planche Va18 et des éléments de la coque adjacents (pl. I et fig. 172).



**Fig. 170 :** *Vue du petit coin, contre la courbe C3, permettant de caler la planche de protection Va16 (Ch. Durand, CCJ/CNRS).*

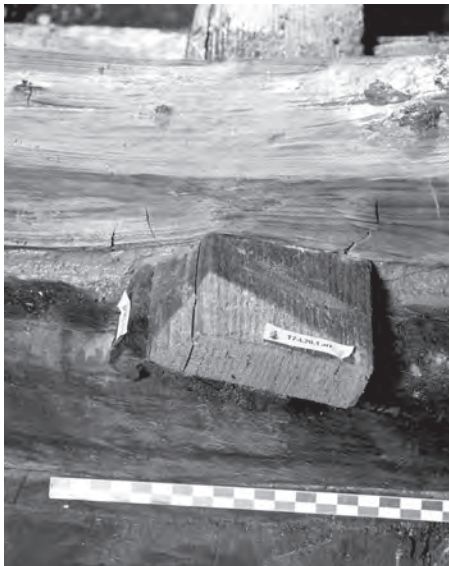


**Fig. 171 :** *Vue du fond de dolium posé sur les vaigres Va17 et Va18 avec un épandage de résine destiné à maintenir en place la céramique (Ch. Durand, CCJ/CNRS).*



**Fig. 172 :** *Vue des faces supérieures des vaigres Va17 et Va18, sur lesquelles reposait le fond de dolium, lors de leur observation à terre en 2007 (Ch. Durand, CCJ/CNRS).*





**Fig. 174:** Pris entre une varangue et une traverse, vue du longeron L20, en résineux, reposant sur le longeron L21, en chêne (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 173:** Vue des longons et des traverses en place sur le tronçon T5, après le démontage du plancher de cale (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

### Les aménagements internes liés au chargement du bateau : un caisson disposé dans la partie centrale du chaland

Disposé dans la partie centrale du chaland, le caisson est destiné à contenir et maintenir en place le chargement pondéreux constitué de blocs de pierre calcaire que transportait le bateau au moment de son naufrage. Le caisson court de la membrure M101 jusqu'à la membrure M129, correspondant à la varangue-emplanture. Il est long de 15,40 m pour une largeur de 2,35 m.

Le caisson est constitué d'une série de pièces amovibles qui en délimitent les contours et viennent recouvrir le fond du bateau (pl. III). Ce dernier est ainsi protégé par une superposition de pièces longitudinales et de pièces transversales, qui constituent le plancher de cale, tandis que les flancs et le complexe d'emplanture sont protégés par des cloisons verticales (deux dans le plan longitudinal et deux dans le plan transversal).

Des planches étroites, appelées « longons », sont tout d'abord disposées longitudinalement sur le dos des membrures. Essentiellement disposés dans la partie centrale du chaland, sur les varangues, les longons sont plus rarement posés sur les courbes (L8 sur C8) et courent d'un bout à l'autre du caisson, depuis M103 jusqu'à M128 (pl. IV et fig. 173). Ils sont larges de 7,5 cm à 12,7 cm (9,5 cm en moyenne) et épais au maximum de 3,1 cm. Certains longons sont cependant plus minces et ce sont alors deux planches superposées qui ont été disposées afin de récupérer l'épaisseur recherchée. C'est le cas, sur l'arrière du caisson, du longeron L2 constitué de deux planches superposées, de 1,3 cm d'épaisseur pour la planche en contact avec les membrures et de 1,9 cm pour la planche supérieure (soit une épaisseur totale de 3,2 cm). Et c'est le cas, sur l'avant, du longeron L20, de 2,5 cm d'épaisseur, qui repose sur L21, de 1,8 cm d'épaisseur (ép. totale de 4,3 cm) (fig. 174). Il en va de même avec le longeron L26, de 1,9 cm d'épaisseur, qui repose sur L27, de 1,4 cm d'épaisseur (ép. totale de 3,3 cm). Au niveau du passage des membrures et des traverses, les longons sont par ailleurs comprimés et déformés et leur épaisseur peut être amincie jusqu'à atteindre une mesure de moins de 1 cm (le min. enregistré est de 6 mm sur L27) (fig. 175). La plus grande longueur conservée est de 2 m pour le longeron L21, situé au niveau des membrures M122-M125. Quelques longons présentent des petits clous en fer avec une tête d'un diamètre compris entre 13 à 22 mm (sur L5 et L9) ; enfoncés depuis le dos des longons, ils semblent avoir été utilisés pour fixer ces derniers aux dos des membrures sur lesquelles ils étaient disposés. La fixation des longons aux membrures ne semble cependant pas être la norme puisque très peu de clous de liaison ont été mis en évidence tandis que d'autres clous, vraisemblablement non fonctionnels, semblent plutôt être liés au remploi de certaines de ces planches comme longons pour la constitution du caisson.

Les longons sont destinés à recevoir une seconde série de pièces. Il s'agit de pièces transversales qui viennent doubler longitudinalement le haut des varangues sans reposer directement sur celles-ci (pl. IV et fig. 173). Appelées « traverses », ces pièces sont de section quadrangulaire avec des arêtes supérieures légèrement chanfreinées. Elles sont



**Fig. 175 :** Vue du longeron L13 disposé entre la varangue M121 et la traverse Tr121 dont l'extrémité repose sur le tasseau (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

longues de 1,83 m (Tr102) à 2,43 m (Tr116), larges de 10 à 16 cm et épaisses de 6 à 9,8 cm. À l'exception de la traverse Tr124, qui semble être une pièce de remploi en raison de sa section arrondie et de la présence d'encoches non fonctionnelles, les autres traverses semblent avoir été débitées directement dans des pièces en bois de résineux pour cet usage spécifique. Elles reposent, dans la partie centrale de la coque, sur les longerons ainsi que, au niveau de leurs extrémités, sur des tasseaux eux-mêmes disposés sur le haut des bouchains monoxyles (fig. 175). La plupart des traverses présentent ainsi à chacune de leurs extrémités, sur leur face inférieure, un aménagement à mi-bois, formant de petites encoches (larg. 3,1 à 9 cm × prof. 3 à 18 mm), pour leur positionnement sur les tasseaux. Sur les traverses qui ne présentent pas de tels aménagements, l'appui sur le tasseau a provoqué un écrasement du bois. À l'endroit où les varangues sont les plus larges, de petites traverses, de modules sensiblement inférieurs aux précédentes, ont été rajoutées. La plus courte mesure 29,5 cm (Tr119bis) tandis que la plus longue mesure 1,22 m (Tr115bis). Elles présentent des largeurs comprises entre 8,5 et 14,5 cm et des épaisseurs comprises entre 5,5 et 8,5 cm. Une petite traverse, de 53 cm de longueur, a également été rajoutée au niveau de la courbe C8 (pl. IV et fig. 173). La plupart de ces traverses, tous modules confondus, présentent sur leur face supérieure des traces d'écrasement avec les marques du passage des vaigres, voire même des impressions liées au délitage des pierres dont de petits fragments se retrouvent incrustés dans le bois. Sur les faces inférieures, le négatif du passage des longerons et, pour certaines, l'empreinte des têtes des clous des varangues ont pu être observés. Certaines de ces traverses sont également cintrées, de façon plus ou moins marquée, en raison du poids de la cargaison.

Ce sont finalement les traverses qui reçoivent directement le plancher de cale constitué de longues vaigres mobiles disposées longitudinalement d'un bout à l'autre du caisson. Débitées également dans du bois de résineux, les plus longues – et les mieux conservées – mesurent près de 3 m (Va9, Va24, Va37, Va38, Va39, Va41, Va42, Va45) (fig. 176). Les largeurs varient de 11,5 cm à 40,5 cm (Va9) et les épaisseurs de 1,7 à 4,9 cm. En certains endroits du caisson, notamment sur l'arrière, le plancher de cale est double. Ainsi, entre la membrure M106 et quasiment jusque M112, le vaigrage supérieur, aux vaigres peu larges et peu massives, compose un véritable « patchwork » de planches (pl. III). Cependant, contrairement aux longerons, cette double épaisseur ne s'explique pas par des échantillonnages faibles des planches en section puisque certaines planches, comme Va9 et Va20, qui présentent des épaisseurs de 4,5 cm, sont doublées par endroit<sup>62</sup>. En raison de la présence d'entailles, d'encoches et de perforations non fonctionnelles ou encore étant donné la présence de clous, de chevilles (sur une planche de la poupe) ou de ferrures eux aussi non fonctionnels, certaines vaigres du caisson ainsi que certaines vaigres de la poupe sont identifiées comme étant des planches de remploi. Pour Va9, par exemple, il s'agit sans aucun doute, en raison des orifices pratiqués sur le bord tribord de la pièce (de 2,9 à 3,5 cm de diamètre) et de sa largeur (40,5 cm), d'une planche de cloison latérale remployée probablement en raison de l'érosion prononcée de sa face

62. Ainsi Va9 se trouve sous Va10, de 1,8 cm d'ép., et sur Va20 de 4,5 cm d'ép. ; Va20 se trouve elle aussi sous Va10 ainsi que sous Va9 et elle se trouve sur Va5 de près de 3 cm d'ép.

**Fig. 176 :** Vue d'ensemble du caisson (plancher de cale et cloison tribord, la cloison bâbord ayant été démontée sous l'eau) sur le tronçon T7 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 177 :** Vue, en section, du caisson sur le tronçon T5 où on peut voir la superposition, au-dessus de la courbe C8, de longerons, traverse et vaigres (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



supérieure (fig. 176). De chaque côté du caisson, les vaigres latérales sont disposées directement contre le flanc. Aussi, on a pu observer, sur l'avant du caisson, au moment du démontage du vaigrage, que les cans externes de ces vaigres (notamment le can bâbord pour Va37 et le can tribord pour Va41) avaient été taillés en biseau afin de positionner parfaitement les bords de ces planches contre le bordé de flanc en demi-tronc F11 sur bâbord et contre F12 sur tribord. Des découpes quadrangulaires ont également été réalisées dans la vaigre Va37 pour le passage des courbes C11 et C7, à bâbord, ainsi que dans Va41 pour le passage des courbes C10 et C12, à tribord. Enfin, la plupart de ces planches présentent, sur leur face supérieure, des traces d'écrasement liées au poids du chargement de pierres (fig. 176) tandis qu'on peut observer le négatif du passage des traverses sur leur face inférieure.

L'ensemble de ces aménagements – avec une superposition de longerons, traverses et vaigres – constituant le fond du caisson crée ainsi un véritable « sommier », d'une hauteur comprise entre 13,5 cm et 18,5 cm, destiné à amortir le chargement de pierres (fig. 177). En plus de protéger le fond de la coque, il est possible que les traverses, disposées de façon parallèle au-dessus des varangues, aient également eu pour fonction d'éviter à la structure de trop fortes tensions locales, notamment au niveau de la partie basse des flancs, aux points d'ouverture. Les longerons ont, quant à eux, permis de soutenir les traverses et leur éviter un cintrage trop important dû au poids du chargement. La jonction au bouchain



Fig. 178 : Vue de la cloison C12, disposée à tribord, sur le tronçon T5 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

étant une zone très fragile, il est en effet possible que les charpentiers aient voulu éviter que le chargement vienne forcer dans cette zone, risquant ainsi d'ouvrir le bateau.

Les contours du caisson sont quant à eux marqués par la présence de cloisons internes sur les côtés latéraux, de deux planches de fermeture sur l'avant et le positionnement d'une pièce transversale à ressaut sur l'arrière.

Disposées longitudinalement et verticalement de chaque côté du caisson, les cloisons internes, appelées aussi contre-cloisons, prennent appui directement contre les courbes de la charpente transversale auxquelles elles ne sont pas assemblées (fig. 178). La mise en place de ces planches amovibles<sup>63</sup> permet ainsi de protéger les flancs de l'embarcation en contenant les pierres de chargement dans l'espace circonscrit du caisson. Elles courent de chaque côté du chaland, depuis la membrure M101 jusqu'à la varangue-emplanture M129 (pl. III). Ces planches ont été mises en place après les aménagements du fond du caisson précédemment décrits et viennent donc s'appuyer sur les vaigres du plancher de cale (fig. 177). Ces cloisons sont constituées d'un seul tenant, soit des planches de 16 m de longueur chacune. La largeur maximum, qui nous donne ainsi la hauteur du caisson, est de 41,2 cm et l'épaisseur maximum mesurée est de 4,7 cm. Étant donné la fragilité de ces grandes planches, disposées sur chant, des ferrures et des bandes métalliques, fixées au moyen de petits clous en fer (diamètre max. des têtes mesurées : 15 mm), viennent les renforcer dans leur plan transversal. À intervalles réguliers, tous les 3,20 m à 3,60 m, des ferrures verticales, de 5,2 cm de largeur maximum et de 2,8 cm d'épaisseur maximum, enserrant ainsi les faces internes et externes des cloisons (on compte cinq ferrures sur la cloison C12, à tribord, et six sur C11, à bâbord). Il s'agit soit de ferrures disposées à cheval sur le can supérieur de la cloison et qui descendent sur une hauteur d'une vingtaine de cm sur les faces internes et externes ; soit de ferrures qui enserrant complètement la planche (fig. 178). Sur les extrémités des cloisons, à l'avant comme à l'arrière du caisson, des bandes métalliques de 6 mm d'épaisseur dont la largeur correspond à l'épaisseur des cloisons, sont également fixées sur les cans supérieurs des planches et ceinturent complètement les extrémités, qui se terminent en pente douce, avec un retour sur les cans inférieurs sur une longueur de 30 cm mesurée sur l'avant de la cloison C11. Le départ de ces bandes métalliques est marqué par la présence d'une ferrure ceinturant l'ensemble de la planche sur un tour et demi, pour une largeur de 9-10 cm ; cette dernière, qui passe par-dessus la bande métallique longitudinale, forme une véritable sangle de maintien de la planche dans son plan transversal (fig. 179). Ce rôle de maintien est confirmé par la présence de fissures longitudinales ayant divisé, par exemple, la cloison C12 en trois parties sur l'arrière.

Dans la partie supérieure des cloisons, vingt-quatre orifices, de forme ronde à ovale (diam compris entre 2,4 et 5 cm), ont été percés en vis-à-vis d'une planche à l'autre, tous les 58 cm à 62 cm. Ces orifices étaient destinés au passage de cordages dont quelques fragments étaient encore en place (fig. 180). Ces cordages ont pu permettre de maintenir en place une bâche, dans le cas du transport d'une cargaison fragile (*infra*, p. 216). Sur l'avant du caisson, on note également la présence d'un orifice similaire dans la partie

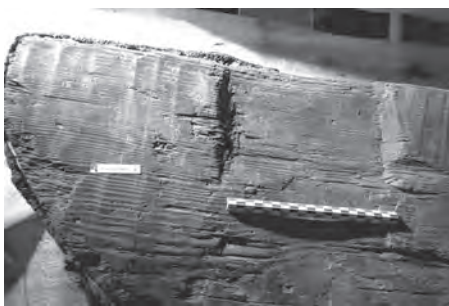
63. Sur certaines planches de cloisons, si des négatifs de clous ont pu être observés, ces pièces n'étaient à l'évidence pas assemblées et il s'agit, comme les autres éléments du caisson, de pièces amovibles.



**Fig. 180 :** Vue de détail, sur la cloison bâbord C11, d'un fragment de cordage encore en place dans un des orifices percés sur le haut de la planche (L. Roux, O'Can-Ipsos Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 179 :** Vue de détail, sur la cloison tribord C12, de la bande métallique venant ceinturer l'extrémité avant de la planche. La bande est bloquée par une double ferrure disposée verticalement (L. Roux, O'Can-Ipsos Facto, MdAa/CG13).

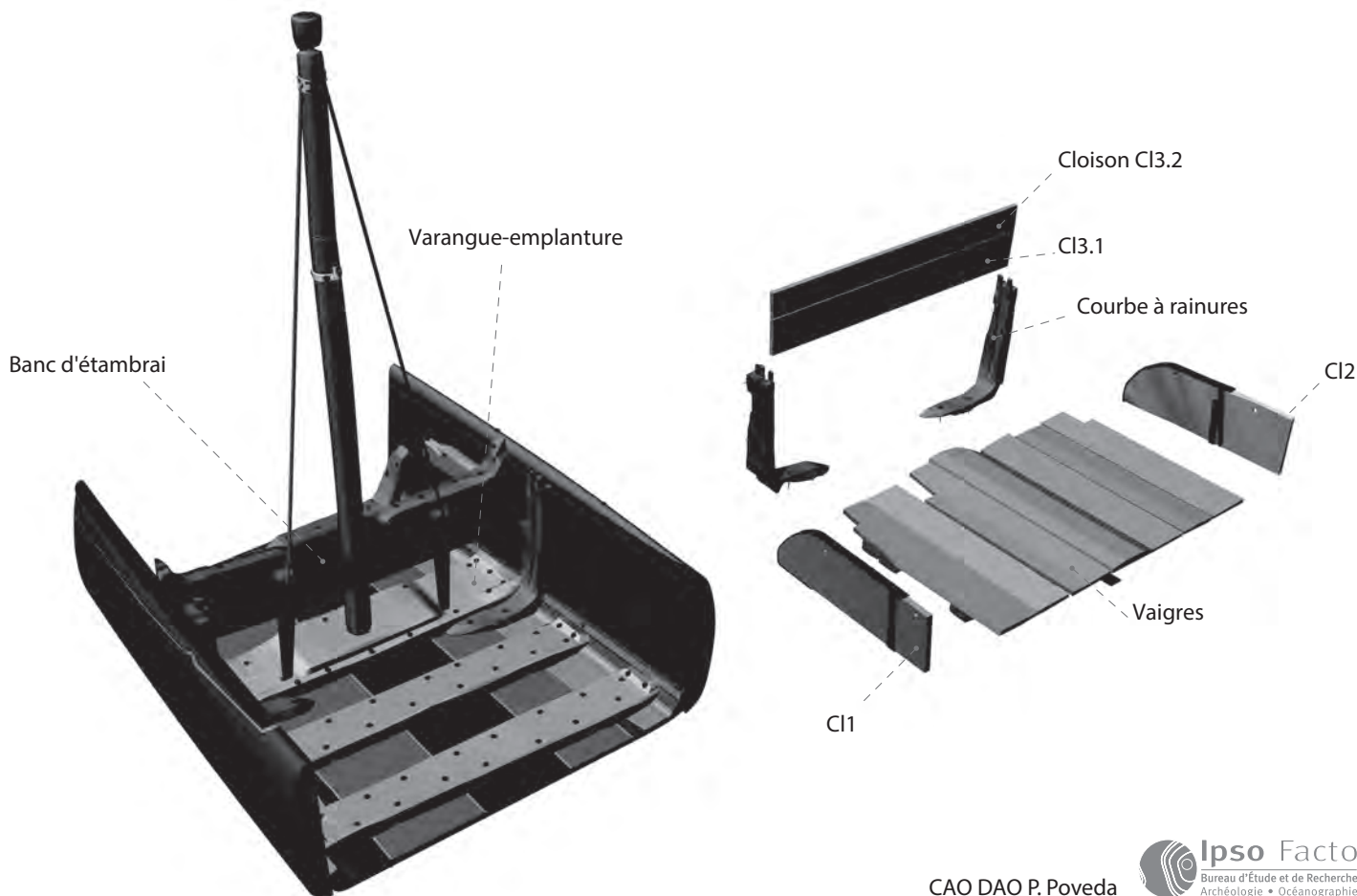


**Fig. 181 :** Vue de détail, sur la cloison bâbord C11, d'une encoche non fonctionnelle taillée en creux au niveau de l'extrémité avant de la planche, sur sa face interne (L. Roux, O'Can-Ipsos Facto, MdAa/CG13).

inférieure des deux cloisons. Dans l'orifice situé sur la cloison du côté bâbord, un fragment de cordage était encore en place tandis que l'orifice situé sur la cloison opposée se trouve au niveau du passage de la courbe C10. Cet orifice se trouve donc être bouché et ne peut avoir de fonction réelle. Se pose alors la question du remploi de cette dernière planche comme élément de cloison sur tribord (C12). De même, sur la planche de cloison bâbord à l'avant, au niveau de la fin du caisson, une encoche de forme rectangulaire de 8 cm de large sur 12 cm de hauteur a été creusée (fig. 181). Sans aucun doute destinée à la réception de l'extrémité d'une pièce transversale, il ne peut s'agir d'un barrot puisque cette encoche est située dans la partie inférieure de la planche. Il ne peut pas s'agir non plus d'une pièce transversale à ressaut, comme on en trouve sur l'arrière du caisson, puisqu'on ne retrouve pas de creusement similaire, en vis-à-vis, sur la planche de cloison tribord. Cette observation plaide donc, là encore, en faveur d'une interprétation de cette pièce comme étant une planche de remploi. Ces planches de cloisons présentent, sur leur face interne, des traces de poinçonnement importantes liées au chargement de pierres (fig. 176, 178 et 179) et, sur leur face externe, le négatif du passage des courbes contre lesquelles elles reposaient. Des traces de poix ont pu être également relevées sur les faces externes ; celles-ci proviennent de la couche de poix qui était répandue, en quantité importante, sur la face interne des flancs du bateau. Dans la mesure où ces cloisons étaient amovibles, il est possible qu'elles aient pu être ponctuellement disposées en hauteur, coincées dans le décrochement découpé sur l'arrière du haut des courbes de la partie centrale du chaland. Elles auraient ainsi servi de fargues amovibles, permettant de rehausser le caisson dans le cas de transport de cargaisons volumineuses (*infra*, p. 227).

Sur l'extrémité avant, le caisson est fermé par deux planches transversales. Disposées l'une au-dessus de l'autre, elles sont glissées dans les courbes C7 et C12 sur le dos desquelles des rainures de 3 cm de profondeur ont été aménagées pour leur insertion (fig. 182). Débitées dans des bois de chêne caducifolié pour la première et de résineux pour la seconde, ces planches mesurent 2,06 m de longueur ; la planche C13.1 mesure 25,5 cm de largeur pour une épaisseur mesurée de 3,3 cm tandis que la planche C13.2, qui vient se glisser au-dessus de C13.1, mesure 17,5 à 18,5 cm de largeur pour une épaisseur maximum de 3,8 cm. Ces deux planches, disposées l'une sur l'autre au-dessus du plancher de cale sur lequel C13.1 prend appui, offrent ainsi une hauteur totale de 44 cm qui correspond, à quelques centimètres près, à la hauteur des cloisons latérales. La planche de fermeture C13.2 présente par ailleurs les cans de ses extrémités taillés en biseau pour une meilleure insertion dans les rainures des courbes-glissières. Sur C13.1, on note la présence de trois négatifs de clous mais sans aucun assemblage ainsi qu'un trou, lié à la présence d'un nœud disparu, colmaté avec de la poix qui ne présente aucune utilité dans la mesure où cette planche n'est pas au contact de l'eau ; il s'agit là encore probablement d'une planche de réutilisation. La face interne de ces deux planches présente également des traces d'écrasement liées aux pierres de chargement.

À l'inverse de l'extrémité avant, on ne retrouve pas, sur l'extrémité arrière, de planche de fermeture du caisson. C'est une traverse un peu particulière qui marque la limite physique de cette extrémité du caisson. Disposée également dans la largeur du bateau, entre les varangues M102 et M103, cette pièce transversale (Tr) repose directement sur l'extrémité arrière du plancher de cale (pl. III). De forme quadrangulaire, cette pièce mesure entre 1,83 m (dans sa partie inférieure) et 1,85 m (dans sa partie supérieure) de long, pour



CAO DAO P. Poveda  Bureau d'Étude et de Recherche  
Archéologie • Océanographie

une largeur de 15 cm et une épaisseur de 7,8 cm. Contrairement aux autres traverses, sa particularité est de présenter, dans la partie centrale de sa face supérieure, un ressaut<sup>64</sup> taillé dans la masse du bois de 1,10 m de longueur pour une largeur de 6,9 cm et une épaisseur de 3 cm. La pièce présente également de légers chanfreins sur ses arêtes et ses extrémités ont été taillées en biseau pour son apposition contre les cloisons internes. La fonction de cette pièce amovible reste indéterminée ; n'étant pas liée aux courbes-glissières comme sur l'avant du caisson, ni à un quelconque aménagement au niveau des flancs pour recevoir une planche de fermeture transversale, il est en effet difficile d'expliquer sa raison d'être. Cette traverse à ressaut, posée sur le vaigrage, marque néanmoins la limite physique du caisson sur l'arrière.

Au total, le caisson qui contenait le lourd chargement de pierres, tout en protégeant les structures primaires de la coque du chaland, était constitué exclusivement de pièces transversales et de planches longitudinales amovibles pour un total de 140 pièces. De nombreux indices montrent l'utilisation de planches de remploi pour la constitution du plancher de cale, des cloisons latérales et de l'une des deux planches de fermeture situées à l'avant, signifiant ainsi que le montage du caisson a pu être réalisé avec des planches remployées mais aussi que les pièces trop usées ou abîmées pouvaient être facilement changées. Le caractère amovible, et donc modulable du caisson, permet également d'envisager que d'autres types de cargaison, et pas exclusivement des matériaux de construction, pouvaient être transportés par ce chaland (*infra*, p. 276-278).

En l'état, le volume utile de ce caisson, calculé dans une fourchette comprise entre 13,33 m<sup>3</sup> et 19,20 m<sup>3</sup>, lui permettait de recevoir un chargement de blocs de pierres calcaires dont le tonnage a été estimé à 21 tonnes (*infra*, fig. 290).

**Fig. 182 :** Vue axonométrique de la fermeture du caisson, sur l'avant, juste en arrière du complexe du banc de mât.

64. En architecture, un ressaut est une saillie formée par quelque partie en dehors d'une ligne ou d'une surface.



Fig. 184 : La marque C•L•POS TV frappée au centre de la face supérieure de la varangue M116 (L. Roux, *O'Can-Ipso Facto*, MdAa/CG13).



Fig. 183 : La marque C•L•POS TV frappée sur la face interne du haut du bordé tribord FI2 (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

## MARQUES AU FER ET GRAFFITES IMPRIMÉS DANS LE BOIS DU CHALAND ARLES-RHÔNE 3 : ÉTUDE ÉPIGRAPHIQUE

Nicolas TRAN

L'épave *Arles-Rhône 3* a livré sept types d'inscriptions marquées au fer et sept graffites, sur dix pièces d'architecture distinctes (pl. V). Il s'agit d'un lot remarquable, car l'épigraphie est un parent pauvre de l'archéologie navale. Quelques inscriptions ont été découvertes sur des ancres en fer et des jas d'ancres en plomb. Elles correspondent à des anthroponymes de propriétaires de navires et à des théonymes qui devaient souvent se confondre avec le nom du bateau (Hesnard, Gianfrotta 1989, p. 432-438 ; Liou, Domergue 1990, p. 47-50 ; Gianfrotta 1994, p. 597-608 ; Pomey (dir.) 1997, p. 87)<sup>65</sup>. Toutefois, les pièces architecturales inscrites sont encore plus rares, ce qui ne saurait surprendre, car très peu d'inscriptions sur bois d'époque romaine ont traversé les âges, en raison de la nature hautement périssable de leur support. Certaines figurent sur des tonneaux (Marlière 2002, p. 102-117). D'autres proviennent de bois de construction. Par exemple, pour asseoir le cirque d'Arles sur de solides fondations, les bâtisseurs du milieu du II<sup>e</sup> s. ont eu recours à des pieux, dont certains portent les marques M. C. MAR, M. IER ou IM (Sintès 1990, p. 52-57)<sup>66</sup>. Seules quelques inscriptions ont été découvertes sur des épaves de Gaule méridionale, qui correspondent aux vestiges de deux embarcations maritimes découvertes non loin d'Arles : dans le golfe de Fos et à Marseille. Désignée sous le nom de *Saint-Gervais 3* par ses inventeurs, la première transportait de l'huile de Bétique appartenant à des négociants du milieu du II<sup>e</sup> s. (Liou, Gassend 1990)<sup>67</sup>. Trouvée sur le site archéologique de la Bourse, la seconde date des années 190-220 environ<sup>68</sup>. Comme leurs parallèles les plus proches, les inscriptions arlésiennes sont à la fois très énigmatiques et dignes du plus grand intérêt. Les plus intelligibles semblent correspondre à des éléments de dénomination abrégés, inscrits à l'aide d'un *signaculum* : un outil le plus souvent en fer, mais parfois en bronze, utilisé par les artisans du bois et du cuir (Desbat 1997, p. 115).

### Divers éléments de dénominations

#### n° 1 : C•L•POS TV

La marque C. L. POS TV est répétée deux fois, sur deux éléments distincts : la face interne du haut du bordé FI2/T2 (fig. 183), sur tribord arrière, et la varangue plate M116 (fig. 184). Ainsi, ces lettres sont les seules à apparaître sur des structures primaires de la coque : toutes les autres inscriptions figurent sur des éléments du caisson. Un premier commentaire en a été donné par Marc Heijmans (Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011, p. 156). D'un point de vue paléographique, la rotondité du C et du O, la petite traverse du L

65. En outre, une épave du II<sup>e</sup> ou du I<sup>er</sup> s. av. J.-C., découverte au large d'Ashkelon (Israël), a livré de petits plombs inscrits (de filets de pêche ou de sonde) : voir Galili *et al.* 2010, p. 132-133.

66. Des marques comparables ont été trouvées lors des fouilles du port d'Antium : voir Felici 2002, p. 111-115, qui évoquent d'autres aménagements portuaires.

67. Au-delà de la Gaule méridionale, une inscription « *pressoché invisibile a ochio nudo* » (TRITVTA), aujourd'hui totalement invisible (selon G. Boetto) a été signalée sur l'épave *Fiumicino 1* par Scrinari 1979, p. 37, tav. XXVIII. Par ailleurs, un graffito pompéien du I<sup>er</sup> s. représente un grand navire de commerce dont le nom (*Europa*) est inscrit dans un cartouche, placé à l'avant de la coque : Maiuri 1958, p. 21, fig. 2 (reproduite par Pomey (dir.) 1997, p. 83).

68. Voir la note d'information transmise par M. Euzennat à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, par le biais de Duval 1975, ainsi que Carre 1998, p. 101 (pour une datation affinée).

et l'absence de fermeture du P sont remarquables. Les interponctions sont circulaires. Les lettres sont hautes de 2,3 cm et couvrent une longueur totale de 11,3 cm.

L'hypothèse la plus plausible consiste à envisager la mention, non pas d'un citoyen romain désigné par ses *tria nomina*, mais de deux individus de la même famille, désignés par leur prénom et leur gentilice. On s'explique mal pourquoi cinq lettres auraient été dévolues au *cognomen* contre une seule au gentilice. Aucun *nomen* commençant par L n'est courant au point de s'abrèger d'une lettre aisément, à l'inverse de F pour Fabius, par exemple. C et L sont donc les probables initiales des prénoms *Caius* et *Lucius*. À leur suite, les lettres POSTV ne peuvent guère correspondre qu'au gentilice *Postumius*, car les autres possibilités renvoient à des noms très rares (Solin, Salomies 1994, p. 143). Comme le *cognomen Postumus* et son dérivé *Postuminus*, il s'abrège d'ordinaire en POST : POSTV est très exceptionnel (*CIL*, IV, 8674 ; *CIL*, XV, 1383.9). Nom latin d'origine italienne, trouvant sa première attestation dans l'épigraphie d'Arles, *Postumius* n'est pas très courant en Gaule méridionale (Lörincz 2000, p. 155). Il est tout de même attesté avec certitude et en toutes lettres à Beaucaire, Saint-Raphaël, Toulouse et Lyon<sup>69</sup>. Le *cognomen Postuminus* en dérive et a sans doute été attribué à un polyonyme nîmois en référence à un parent dont c'était le gentilice (*AE*, 1982, 683). Enfin, dans l'optique d'un marquage de possession, il serait logique que le texte ait été conçu au génitif. Il faudrait donc développer : *C(ai) (et) L(uci) Postu(miorum)*.

Une fois cette lecture proposée, il faut s'interroger sur les relations unissant *Caius* et *Lucius*. Des marques apposées sur des produits ou des conteneurs fournissent des parallèles intéressants, à défaut d'être toujours très clairs. Ainsi, une amphore conservée à Vienne porte la marque C. SEX. POST, qui pourrait renvoyer soit à des *C(aius) (et) Sex(tus) Post(umii)*, soit à un *C(aius) Sex(tius ou -tilius) Post(umus ou -uminus)* (*CIL*, XII, 5683.282). Les estampilles des lingots ibériques sont moins désarmantes et indiquent une piste à explorer : la possibilité de faire face à une société formée par deux membres d'une même famille (Domergue 1990, p. 254-257 et 264-268). De fait, des lingots de plomb se réfèrent à des *societates*, au moyen de séquences telles que SOCIET. S. T. LVCRETI ou SOC. M. C. PONTILIENORVM M. F. Tout laisse donc à penser que les marques constituées de deux initiales de prénoms, suivies d'un gentilice au pluriel, signalent le même type d'entités de manière plus elliptique. Les textes M. P. ROSCIEIS M. F. MAIC et M. SEX. CALVI M. F. répondent à ces caractéristiques. Enfin, sur des flans de cuivre du milieu du 1<sup>er</sup> s. provenant de l'épave *Sud-Lavezzi 2*, le cachet *Q(uinti) (et) C(ai) Anto(niorum)* désigne probablement les co-exploitants d'une mine, sous une forme très proche des marques arlésiennes (Domergue 1994, p. 69-70). L'épave *Saint-Gervais 3*, à l'extrémité avant de sa carlingue, a aussi livré une inscription se référant sans doute à des associés d'une même famille (Liou, Gassend 1990, p. 245 et 251, fig. 122). C'ANT'IOR'VM' correspond, en effet, au génitif pluriel du gentilice d'origine celtique *Cantius*.

Il est malheureusement impossible de déterminer quel lien précis unissait les *Postumii*. En droit, il était impossible de former une *societas* avec un individu *in potestate* (soumis à sa propre autorité légale), car le partage des gains et des pertes entre les *socii* exigeait la jouissance de patrimoines indépendants (Broekaert 2012). Un maître ne pouvait donc s'associer à son esclave. En vertu du même principe, un père devait d'abord émanciper son fils, s'il voulait en faire son *socius*. Les noms peints sur des amphores à huile de Bétique tendent à montrer que des négociants recouraient à cette pratique (e.g. *CIL*, XV, 4044-4045). De même, les partenariats entre frères étaient courants. Sur les lingots précédemment cités, les filiations des *Pontilieni*, des *Roscieis* et des *Caluii* suggèrent l'association de frères aînés (ayant hérité du prénom de leur père) à leurs cadets. Des oncles du côté paternel et leurs neveux, des cousins, mais aussi des patrons et leurs affranchis ou des co-affranchis partageaient le même gentilice et constituaient parfois des *societates*. Ainsi, un bouchon d'amphore en pouzzolane, trouvé à Carthage et portant la marque *T(iti) L(uci) Luccior(um) L(uci) l(ibertorum)*, semble être à rapprocher du dernier cas de figure (Hesnard, Gianfrotta 1989, p. 418, B. 17). Dans le cas d'*Arles-Rhône 3*, rien ne permet de privilégier une possibilité par rapport à une autre.

#### n° 2 : T•C•L•CE(TA)

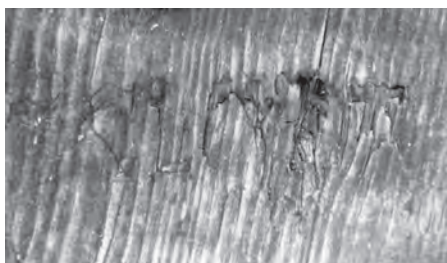
Cette marque apparaît avec une autre (n° 3 : FID•T++), à deux reprises, sur la cloison longitudinale du caisson située sur bâbord (C11) (fig. 185 et 186). Elle se situe sur la face interne de la planche, vers l'extrémité avant du caisson (au niveau du huitième tronçon). Les caractères sont hauts de 5,5 cm et la marque couvrirait environ 20 cm. La première lettre est difficile à déchiffrer, mais doit correspondre à un T. Les autres caractères sont moins incertains, en particulier le monogramme issu de la ligature du T et du A. Sur le premier C de la seconde version de la marque, un S semble avoir été

69. *CIL*, XII, 2834 ; *ILN*, *Fréjus* 113 (*AE*, 1980, 618) ; *CIL*, XII, 5690.106 ; Chomer, *Le Mer* 2007, p. 813, n° 747\*/1. En outre, *Postumius* est restitué sans certitude à Montfuron, près de Manosque (*AE*, 1997, 1037), et sur une épitaphe très lacunaire de Lyon (*CIL*, XIII, 1964).





**Fig. 185 :** La marque T•C•L•CETA imprimée une première fois sur la face interne de la cloison longitudinale du caisson située sur bâbord (CI1) (ARC-Nucléart).



**Fig. 186 :** La seconde marque T•C•L•CETA de la cloison bâbord (CI1) du caisson (S. Marlier).



**Fig. 187 :** La marque FID•T++ imprimée trois fois sur la face interne de la cloison bâbord (CI1) du caisson (S. Marlier).

incisé, non sans maladresse. La présence de points de séparation, notamment, incite à comprendre les lettres T•C•L comme les initiales d'un citoyen romain, prénommé T(itus).

Les lettres CETA constituent une énigme que nous ne sommes pas parvenus à percer. Elles ne correspondent au début d'aucun anthroponyme connu ce qui, en plus de l'identification de *tria nomina* avant elles, pourrait logiquement conduire à les considérer comme l'abréviation d'un nom commun. Or le vocabulaire latin ne laisse que très peu de possibilités et oriente systématiquement vers des mots dérivant de *cetus* (TLL, III, col. 964-965 ; Botte 2009, p. 138). Un *cetarius* était un pêcheur, un mareyeur ou un marchand de salaisons de poisson. Des marques sur amphores provenant du territoire de *Carteia* (aujourd'hui San Roque, en Andalousie) mentionnent ainsi une *societas cet(ariorum)* qui commerçait des salaisons de poissons (Del Hoyo 2006, p. 42-44, n° 58.1-3, repris par *Hispania Epigraphica*, 15, 152-154). Dans un autre contexte, l'interprétation des lettres CETA comme la mention d'un métier exercé par l'individu nommé par les trois lettres précédentes serait donc séduisante. Cependant, sur une planche d'origine (et non de remploi) d'un bateau de transport fluvial, chargé de pierres de construction, la mention éventuelle d'un *ceta(rius)* paraît tout à fait incohérente.

Face à ce constat, il est possible de s'orienter vers une autre piste : la mention d'une origine géographique. Les *Cetarini* étaient les habitants d'une petite ville de Sicile, cités par Cicéron dans les *Verrines* (Cic., *Verr.*, II, 3, 103). Toutefois, il serait déraisonnable de considérer, trop vite et sans retenue, avoir affaire à un *Ceta(rinus)*, car les caractères CETA pourraient également abrégé un toponyme ou un ethnique dont aucune attestation n'est conservée.

#### n° 3 : FID•T++

Cette marque apparaît sur la même cloison longitudinale du caisson que la précédente, sur la face interne également, mais plus en avant, sur le sixième tronçon de l'épave (fig. 187). Elle a été répétée trois fois, à quelques centimètres d'intervalle. La comparaison des trois versions permet de s'assurer, avec une assez haute probabilité, de la lecture de quatre lettres (d'une hauteur comprise entre 5,5 et 6,5 cm) et d'un point de séparation entre la troisième et la quatrième. Les trois premières doivent correspondre à un nom dérivant du mot *fides*. La mention d'un individu portant le *cognomen* ou le nom unique *Fid(elis)* est plausible. Ainsi, une épitaphe de Beaucaire est dédiée à *Fidelis*, *Primulae lib(ertus)* (CIL, XII 2827). En outre, un *signaculum* découvert à Toulouse servait à apposer la marque FIDELIS / D•P•F•V•L (CIL, XII, 5690.51). Le V et le L, séparés du début de la seconde ligne par une *hedera*, sont inintelligibles. En revanche, les lettres D, P et F ont été considérées comme l'abréviation des *tria nomina* d'un citoyen romain. En développant le génitif *D(ecimi)*, le CIL envisage implicitement que le *Fidelis* attesté à Toulouse soit l'esclave, voire l'affranchi, de ce personnage. Or sur l'épave arlésienne, les caractères FID• sont suivis d'un T, d'une lettre courbe (aujourd'hui incomplète, mais qui pourrait bien être un O) et, semble-t-il, d'une troisième trace de lettre. La marque pourrait donc se référer à un esclave ou à affranchi d'un citoyen romain prénommé *T(itus)*.

#### n° 4 : NOBIL•M[--- ?]

Ce quatrième type d'inscription apparaît trois fois sur la face inférieure de la vaigre Va37, au niveau du huitième tronçon de l'épave (fig. 188a et 188b). Un cinquième (n° 5 : JOOC) est représenté sur la même planche. L'état de conservation des lettres (hautes de 1,6 à 1,7 cm) est inégal : on lit NOB, NOBIL•M et NOBIL•+. Le gentilice patronymique



**Fig. 188a et 188b :** Vue de deux des trois inscriptions de la marque NOBIL•M[---?] frappée sur la face inférieure de la vaigre Va37 (S. Marlier).

Nobilis est rarissime. Il n'est pas attesté en Narbonnaise, mais deux fois seulement dans les Germanies (*CIL*, XIII, 6637 et 7887). Il est donc beaucoup plus probable que la marque se réfère à un *cognomen* ou à un nom unique abrégé : Nobilis ou Nobilior, plutôt qu'un *cognomen* rare dérivant de la même racine (Solin, Salomies 1994, p. 369). La première hypothèse est la plus vraisemblable, car elle seule peut s'appuyer sur des parallèles dans l'épigraphie de Gaule narbonnaise. Q. Vettius Epictetus, affranchi de (Q. Vettius) Nobilis, est attesté à Grenoble (*ILN*, Vienne 385). Et une estampille sur céramique sigillée au nom de Nobilis, un potier de Gaule méridionale de la première moitié du 1<sup>er</sup> s., est conservée à Saint-Rémy-de-Provence (Rothé, Heijmans 2008, p. 385). Reste à tenter d'expliquer la présence du M. Si *Nobil(is)* renvoyait bien à un *cognomen* de citoyen romain ou à un idionyme, de pérégrin ou d'esclave, M pourrait renvoyer au prénom *M(arcus)*. Cette initiale pourrait trouver sens au génitif. Le lien juridique unissant Nobilis à un citoyen romain aurait pu être exprimé, dans le cadre d'une filiation *M(arci filius)* ou de l'indication d'un statut légal *M(arci servus* ou *libertus)*. Mais d'autres marques conservées sur l'épave, en particulier FID•T++ (n° 3) ouvre la possibilité d'une mention abrégée de *tria nomina*. L'usure a pu faire disparaître les initiales d'un gentilice et d'un *cognomen* sur le marquage le plus complet.

#### n° 5 : ∩OC

Hauts de 2,2 cm, ces trois caractères sont répétés quatre fois, à quelques centimètres de distance, sur la face inférieure de la vaigre Va37, au niveau du huitième tronçon de l'épave (fig. 189). Le premier caractère prend la forme d'un C inversé. Dans la paléographie latine, ces inversions indiquent parfois l'abréviation d'un mot féminin. Ainsi, sur les inscriptions lapidaires, les lettres ∩ L étaient insérées entre le gentilice et le *cognomen* de certains affranchis, pour indiquer leur statut de (*Caiae*) *l(ibertus)*. D'ordinaire, le prénom du patron figurait à cette place mais, comme les femmes n'en avaient pas, le féminin de Caius signalait les affranchis dépendant d'une patronne. Toutefois, le C inversé abrégait aussi des noms masculins ou neutres, voire des adverbes, très divers, tels que *caput*, *centurio* ou *centuria*, *conductor*, *contra*, *corona*... qui n'avaient en commun que de commencer par un C (Cagnat 1914, p. 406). Sur la planche d'*Arles-Rhône 3*, la symétrie des caractères est remarquable. Est-il impossible que l'inversion du premier C ait découlé d'un souci graphique, visant à rendre une signature plus distinctive et donc plus reconnaissable ? Sans doute est-il impossible de l'exclure.

#### n° 6 : [--- ?]SS•SOL

D'une hauteur de 7,5 cm, les caractères SOL apparaissent trois fois sur la face inférieure de la vaigre Va32, au niveau du cinquième tronçon de l'épave (fig. 190). Cette pièce a été interprétée comme un remploi d'une ancienne planche de cloison. Les trois lettres sont précédées d'un point et de traces ténues, qui pourraient avoir appartenu à deux S successifs. Placées à la fin de l'inscription, les lettres SOL pourraient correspondre au début d'un *cognomen* et donc appartenir à l'abréviation de *tria nomina*. *Sol(lemnis)* ou *Sol(lers)* sont les développements les plus plausibles, car les autres *cognomina* commençant par SOL sont très rares (Solin, Salomies 1994, p. 405). Les deux S à gauche du point de séparation pourraient alors appartenir à la fin d'un gentilice abrégé, tel que *Cass(ius)*, par exemple. Cependant, d'autres marques conservées sur l'épave (n° 3 et 4 : FID•T++ et NOBIL•M[--- ?]) donnent quelque crédit à une seconde hypothèse. À la lumière de ces documents, il ne semble pas impossible que les premiers caractères appartiennent à un *cognomen* ou à un idionyme abrégé, tel que *[Ba]ss(us)* ou ses dérivés, par exemple, les trois derniers correspondant aux initiales de *tria nomina*.

#### n° 7 : EM++

Cette marque, présente sur la face latérale avant de la traverse Tr119/T6, échappe à notre compréhension. Le sommet des trois premières lettres, dont la taille ne dépassait guère le centimètre, est effacé. La troisième trace a sans doute appartenu à un L. Il n'est pas certain que la dernière corresponde au vestige d'une lettre (fig. 191).

### Des tentatives d'interprétation périlleuses

Toute tentative d'interprétation des marques conservées sur du bois de construction est hasardeuse, car aucun éclairage sur les fonctions précises de ces inscriptions n'est livré par quelque source antique que ce soit. Cela contraint à formuler des hypothèses invérifiables, dont seul le degré de vraisemblance peut être soumis à un examen critique. Une difficulté particulière tient à la multiplicité des marques apposées sur une même



Fig. 189 : Vue de l'une des quatre marques ∩OC sur la face inférieure de la vaigre Va37 (S. Marlier).



Fig. 190 : Vue de deux des trois inscriptions de la marque [--- ?]SS•SOL frappée sur la face inférieure de la vaigre Va32 (S. Marlier).

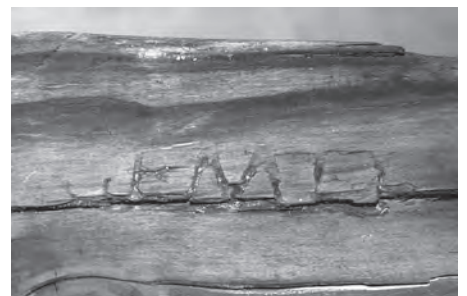


Fig. 191 : La marque EM++ sur la face latérale avant de la traverse Tr119 (S. Marlier).



Fig. 192 : L'inscription M•VIB•AVXE apparaît au moins quatre fois sur l'épave de la Bourse. Elle désigne le nom de M(arcus) Vib(ius) Aux(e)tus (CCJ/CNRS).

épave. Cette donnée caractérise aussi *Saint-Gervais 3*. Outre le poinçon des *Cantii*, les lettres Q•M•F• (probablement des initiales de *tria nomina*) apparaissent sur une planche de remploi. Bernard Liou et Jean-Marie Gassend les considèrent donc comme une « signature de charpentier de marine », issue d'un autre bateau (Liou, Gassend 1990, p. 229, 232, fig. 96). Mais, les marques d'*Arles-Rhône 3* figurent sur des planches d'origine, à la seule exception de la vaigre Va32 sur laquelle se trouve l'inscription [--- ?], SS•SOL. Plusieurs d'entre elles appartiennent à la même pièce de charpente. Le problème est donc plus difficile à résoudre, d'autant que toutes les inscriptions du chalard ne répondaient sans doute pas à un seul et même besoin. Ainsi, le bois de construction du port d'*Antium* semble avoir été marqué pour signaler à la fois les fournisseurs de la cité (à travers leurs initiales) et la destination des matériaux : l'*o(pus) p(ortus) A(ntiatum) ou Augusti*), le chantier portuaire dont le caractère public expliquerait la marque PVB (Felici 2002, p. 111-115).

En tout cas, les marques d'*Arles-Rhône 3* étaient destinées à être vues à un ou plusieurs moments de la construction du bateau, au moment d'une phase de stockage des planches, débitées ou façonnées, ou au moment de l'assemblage. La répétition des mêmes caractères sur les mêmes planches, sur un espace réduit, devait leur assurer une meilleure visibilité. Cette préoccupation semble également perceptible sur *Saint-Gervais 3* et sur l'épave de la Bourse. Sur le premier navire, le nom des *Cantii* a été poinçonné six fois sur la carlingue ; et celui du citoyen romain aux initiales Q•M•F• au moins quatre fois. De même, les lettres M•VIB•AVXE apparaissent au moins quatre fois sur l'épave marseillaise, pour désigner *M(arcus) Vib(ius) Aux(e)tus*), probablement (fig. 192)<sup>70</sup>. Or toutes les planches de ces bateaux n'étaient pas inscrites, tant s'en faut. Celles qui l'étaient plusieurs fois servaient probablement à identifier tout un lot, aussi distinctement que possible<sup>71</sup>. Mais dans quel but ?

Les recherches antérieures à la découverte d'*Arles-Rhône 3* ne sont pas d'un secours décisif, car elles ont suscité des prises de positions divergentes. Ainsi, l'emplacement des poinçons de *Saint-Gervais 3* a semblé traduire une intervention « dans la phase terminale de la mise en œuvre de [la] pièce de bois, c'est-à-dire quand elle est devenue carlingue du navire ». En conséquence, les *Cantii* ont pu être assimilés à des constructeurs de bateaux (Liou, Gassend 1990, p. 245). Néanmoins, ils ont aussi été considérés comme des entrepreneurs impliqués dans le négoce du bois de construction (Manacorda 2005, p. 27)<sup>72</sup>. Sans rejeter cette seconde hypothèse par principe, il faut tout de même rappeler que les *negotiatores lignarii* ou *materiarum* devaient souvent commercer des billes de bois, le cas échéant acheminées par flottage, alors que les marques conservées ont été inscrites sur des planches, après débitage des billes. En outre, dans le cas d'*Arles-Rhône 3*, C•L•POS(TV) apparaît sur un bordé de flanc et une varangue qui n'ont pu être inscrits qu'après leur façonnage comme pièces de charpente. Un timbrage en amont de la construction du chalard, lié au stockage ou à la vente du matériau, semble donc à écarter. Par ailleurs, la marque de la varangue était invisible du temps où naviguait le chalard, ce qui exclut l'intention d'afficher, après sa mise à l'eau, le nom des propriétaires.

En conséquence, l'hypothèse sans doute la plus plausible consiste à considérer que Caius et Lucius Postumius ont formé une société de charpentiers de marine<sup>73</sup>. Leur poinçon aurait pu servir à distinguer leurs planches de celles de *fabri nauales* travaillant dans le même arsenal. Cependant, les marques figurant sur d'autres planches d'origine du chalard obligent à s'interroger sur les relations que les individus mentionnés ont pu entretenir avec les *Postumii*. Sans doute les associés ont-ils pu louer les services de salariés libres ou d'esclaves appartenant à des tiers. Dans ce cas, les poinçons auraient pu certifier l'accomplissement de travaux justifiant une rémunération, à l'instar des marques de tâcheron que gravaient les tailleurs de pierre non seulement du Moyen Âge, mais aussi – probablement – de l'Antiquité (voir par exemple *ILA, Bordeaux 372-388*). En fin de compte, même si *Arles-Rhône 3* s'insère dans une série de quelques épaves seulement, le nombre d'inscriptions conservées sur ce chalard est remarquable, car bien supérieur à tout ce qui était connu auparavant. Sans doute est-ce le résultat de la construction du bateau dans un arsenal de grande taille, à la fois par le nombre de planches qui y étaient façonnées puis stockées, et par le nombre de charpentiers qui y travaillaient. Même si aucun vestige n'en témoigne et que le lieu de construction d'*Arles-Rhône 3* ne peut être déterminé avec certitude, les chantiers navals d'Arles devaient répondre à cette caractéristique.

70. Le document est inédit, mais nous avons pu en consulter un cliché à la photothèque du CCJ/CNRS, dont nous présentons ici une reproduction.

71. À propos d'autres objets portant ou non une empreinte selon les cas, voir Rebuffat 2000 : des briques étaient, semble-t-il, moulées en « batteries » et seule la première était marquée pour identifier l'ensemble de la série.

72. Selon B. Liou et J.-M. Gassend, les *Cantii* « appartenaient donc au chantier naval où ce navire a été construit, sans qu'on puisse dire pour autant que ce chantier naval leur appartenait. » (Liou, Gassend 1990, p. 245).

73. Sur le *corpus fabrum naualium* d'Arles, voir *CIL*, XII, 700 (citant son patron, G. Paquius Pardalae); 730 (citant son curateur C. Iulius Pom[---]); 5811 (citant l'*artifex* Caecilius Niger).



**Fig. 193 :** Série de IX incisée sur la face supérieure de la traverse Tr128 (ARC-Nucléart).



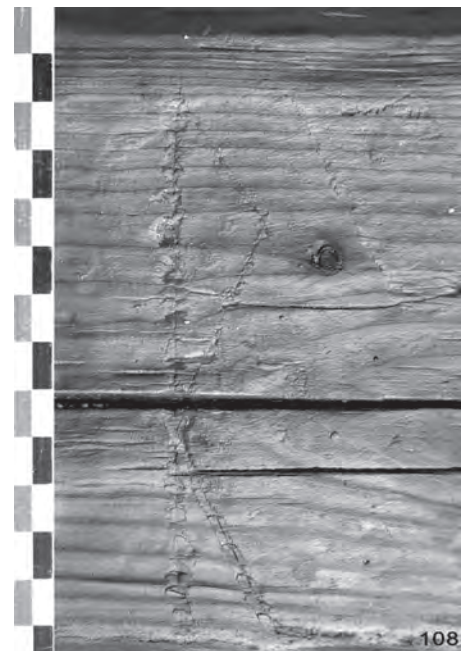
**Fig. 194 :** Autre série de IX incisée sur la face inférieure de la vaille Va37 (S. Marlier).



**Fig. 195 :** Croisillon incisé sur un pieu de fondation du cirque d'Arles (N. Tran).

## Les graffites

Les sept graffites observés sur l'épave posent eux aussi des problèmes d'interprétation. Des séries de X, ou de IX ont été incisées de manière superficielle : sur la face supérieure de la traverse Tr117/T6, sur la face supérieure de la traverse Tr128 (fig. 193), sur la face inférieure de la vaille Va37 (fig. 194), sur la face externe de la cloison longitudinale bâbord C11/T6 du caisson (fig. 257) et sur une planche de réparation (P15) du bordé de flanc en demi-tronc tribord (F12). On pourrait considérer ces croisillons comme d'éventuelles indications numérales ou, plus vraisemblablement, comme des repères dont les charpentiers se seraient servis. Il est remarquable que des incisions identiques figurent sur les pieux de fondation du cirque d'Arles (fig. 195). Par ailleurs, un graffite ressemblant à un R très anguleux, haut d'une dizaine de centimètres et couvrant toute la largeur de la face inférieure de la traverse Tr108 laisse tout aussi perplexe (fig. 196) : il n'est pas du tout certain, et même assez peu probable, d'avoir affaire à une lettre. Bien qu'invérifiable, l'hypothèse de marques de construction, vouées à faciliter la mise en place des pièces, pourrait s'appuyer sur le parallèle d'une épave punique de Marsala, datant du III<sup>e</sup> s. av. J.-C. (Frost 1976 ; Pomey (dir.) 1997, p. 94, 172-173). Les planches de sa coque portent, en effet, de nombreuses marques peintes utilisant l'alphabet phénico-punique, qui ont été interprétées en ce sens. Néanmoins, à la seule exception de la planche de réparation, les graffites d'Arles-Rhône 3 figurent sur des éléments du caisson, non pas assemblés, mais seulement posés. Les croisillons ne peuvent donc avoir constitué des repères d'assemblage. À titre de conjecture, il est possible d'envisager la présence de marquages visant à identifier des planches ou des lots de planches, peut-être pour indiquer qu'elles étaient prêtes pour la mise en place.



**Fig. 196 :** Graffite ressemblant à un R très anguleux incisé sur la largeur de la face inférieure de la traverse Tr108 (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

## Introduction

### *Définition de l'étude du bois en archéologie et des analyses appliquées à l'épave Arles-Rhône 3*

Selon la quantité et la qualité des vestiges conservés, l'objet en bois est un témoin archéologique de première importance tant les informations qu'il peut fournir sont riches et variées. En remontant depuis l'objet fini jusqu'à l'arbre vivant, le bois peut être défini selon trois angles de vue : un objet culturel façonné de la main de l'homme, une matière première exploitée dans un environnement naturel, un organisme biologique témoin temporel de l'écologie et du climat passés. À l'interface entre sciences naturelles et sciences humaines, les données issues de l'étude du matériau bois et de la plante dont il est issu viennent enrichir celles de l'étude des techniques de fabrication et de la culture matérielle des civilisations anciennes.

C'est dans le cadre des recherches en histoire des techniques sur la construction navale et, plus particulièrement, sur la culture matérielle liée à la batellerie gallo-romaine que s'inscrit l'étude réalisée sur le bois des structures d'*Arles-Rhône 3*. En ce sens, elle est intimement liée à l'étude de l'architecture du chaland dont elle se nourrit et qu'elle alimente en retour. Justifié par leur état exceptionnel de conservation et conscient du potentiel scientifique que revêt l'étude de ces vestiges, un protocole d'analyse dendrologique le plus exhaustif possible a été mis en place dès le début des opérations de recherche sur l'épave en 2005 et, en particulier, lors de l'opération de fouille et de relevage réalisée en 2011 (*supra*, p. 45 et 58-59).

### *Objectifs d'étude*

L'étude dendrologique menée sur les bois des différentes structures architecturales du chaland comporte divers objectifs.

Tout d'abord, il s'agit de caractériser l'exploitation de la ressource ligneuse afin de définir l'économie de la matière première conduite par les charpentiers antiques, depuis la localisation de zones probables d'approvisionnement en bois d'œuvre jusqu'à la définition de la sélection des essences forestières et de leur mise en œuvre au sein de la charpente en fonction du rôle des pièces architecturales. L'étude dendrologique participe ainsi à l'enrichissement de nos connaissances sur l'histoire des techniques de la batellerie fluviale gallo-romaine en général et des chalands construits « sur sole » du groupe Rhône-Saône en particulier.

Elle a aussi pour objet la recherche d'indices capables de préciser l'histoire de l'aménagement et de l'évolution des différentes pièces au sein de la structure, depuis la construction du chaland, les éventuelles interventions de réparation et de transformation, voire les manifestations d'usure ou de détérioration, jusqu'aux événements ayant pu mener au naufrage.

Enfin, l'étude du bois permet de rechercher l'âge absolu des vestiges en datant à l'année près l'abattage des arbres choisis pour la réalisation des pièces de bois afin d'approcher la date de construction du bateau (*infra*, p. 260-261). Elle contribue à l'acquisition de données qui viennent enrichir la base de données essentiellement alimentée par le programme *Dendrochronologie et dendromorphologie des épaves antiques de Méditerranée* de l'IMBE et du CCJ et, ainsi, au progrès de la dendrochronologie en région méditerranéenne occidentale (Guibal, Pomey 2002 ; Guibal, Pomey 2009).

## Matériel et méthodes d'analyse

### *Méthodes d'analyses*

Afin d'analyser finement les structures du chaland, quatre disciplines ont été mises en œuvre : la xylogie, la dendromorphologie, la dendrochronologie et la tracéologie.

La xylogie a pour principal objectif d'identifier les essences ligneuses utilisées pour la fabrication des pièces de bois. En laboratoire<sup>74</sup>, chaque échantillon a d'abord fait l'objet d'un rafraîchissement de la surface du bois à la lame de rasoir puis d'une observation macroscopique à la loupe binoculaire. L'expertise de certains taxons a ensuite nécessité un examen, au microscope optique en transmission, de coupes minces obtenues à l'aide d'une lame de rasoir selon les trois plans traditionnels d'observation (transversal, longitudinal tangentiel et

74. Analyse réalisée au sein de l'unité de recherche en dendrochronologie de l'IMBE.

longitudinal radial) montées entre lame et lamelle<sup>75</sup>. L'identification des taxons a été menée à l'aide d'atlas d'anatomie des bois européens (Jacquiot 1955; Jacquiot, Trénard, Dirol 1973; Schweingruber 1982, 1990; Vernet *et al.* 2001).

L'ensemble des données nécessaires à l'analyse dendromorphologique est issu de l'observation macroscopique des structures en bois du chaland, réalisée sur le terrain lors de l'enregistrement des données et de l'échantillonnage des bois consécutifs à leur découverte (*supra*, p. 58-59) et en laboratoire à partir des échantillons destinés à l'analyse dendrochronologique. L'enregistrement de ces données se définit par :

- un relevé métrologique précis ;
- un examen de la morphologie des bois au sein des pièces illustré par des croquis et des photos et, en particulier, par des relevés graphiques sur film plastique transparent à l'échelle 1 (effectués entre 2005 et 2010) et des relevés photographiques (en 2011) des sections transversales (où la courbure des cernes et leur distance à la moelle sont bien visibles) qui permet de définir les modes de débitage des pièces au sein des troncs ou des branches et d'en restituer le diamètre minimum d'origine ;
- une analyse de l'aspect des arbres utilisés (rectitude du tronc, embranchements, présence de nœuds, position de la moelle, présence d'aubier, de cambium, d'écorce, etc.) afin de qualifier la matière première mise en œuvre.

Couplée à la dendrochronologie qui analyse la croissance des arbres originaires de chaque vestige (*infra*, p. 260-261), les deux disciplines tentent de mettre en évidence l'âge de ces arbres et la relation chronologique existant entre chaque pièce pour définir éventuellement le nombre de pièces débitées à partir d'un même arbre et les emplois dans la construction. La définition de la mise en œuvre des bois et le vocabulaire s'y rapportant sont empruntés aux ouvrages de Rival 1991 et Arnold 1992a; 1999.

La tracéologie ligneuse a pour objet de recueillir les traces laissées à la surface du bois. Ces traces peuvent être d'origine anthropique et correspondre au façonnage et à l'usage de la pièce (traces d'outils, de carbonisation, d'usure, etc.) ou être liées à un impact biologique (insectes xylophages, champignons, etc.). Leur analyse nécessite un examen rigoureux illustré de croquis et de relevés photographiques de détails. En particulier, l'observation des traces d'outils en lumière rasante est essentielle pour la mise en valeur des reliefs superficiels spécifiques à chaque type d'outils. L'interprétation de ces traces, en particulier, est inspirée des ouvrages de Grenouiller 1993 et Arnold 1992a; 1999.

#### *Quantité de pièces analysées, représentativité des résultats*

Grâce à des campagnes de prélèvement systématique réalisées dès 2005, les données de l'analyse xylogique menée sur le chaland *Arlès-Rhône 3* couvrent la quasi-totalité des pièces architecturales (fig. 197). Avec seulement cinq pièces en bois de résineux indéterminé, les résultats représentent 98,1 % des pièces identifiées (259 sur 264).

L'analyse dendromorphologique a porté sur 207 structures architecturales. Ainsi, les données relatives à la mise en œuvre des bois couvrent une grande majorité des pièces architecturales du chaland et les résultats représentent 78,4 % des pièces analysées (207 sur 264). L'analyse a pu être entreprise sur un grand nombre d'individus grâce au prélèvement de sections transversales de bois effectuées entre 2005 et 2010 puis grâce à la découpe en tronçons et sous-ensembles et au démontage de l'épave en 2011. Elle n'a cependant pas pu être réalisée sur une soixantaine de pièces car, pour une majorité d'entre elles et pour des raisons muséographiques, elles n'ont pas pu être démontées ni découpées et leur section transversale était donc invisible (membrures, planches et patchs de réparation des flancs et de la sole, pièces de la proue, jambettes); pour d'autres, les contraintes liées aux objectifs de la fouille-relevage en 2011 ont imposé une cadence de travail et une réduction du temps dédié aux observations de terrain (courbes); dans une moindre mesure, certaines ont souffert d'une erreur de suivi (vaigres, plats-bords).

Le relevé des traces laissées à la surface du bois par le tranchant des outils est une discipline difficile car elle se heurte souvent à l'état de conservation des vestiges et notamment l'érosion du bois. Pour *Arlès-Rhône 3*, de nombreuses observations ont été possibles sur des pièces protégées par d'autres ou par la poix (bordages de flanc, varangues, traverses, mât) et parce que certaines ont pu être démontées (courbes, planches de réparation du bordé de flanc, plats-bords, tasseaux). Les traces étaient, en revanche, moins visibles pour les pièces non démontées (joints des bordages de sole ou de flanc, des bouchains) ou très abîmées (banc d'étambrai, longerons, surfaces des bordages de sole, des planches de vaigrage ou de protection de la sole). Mais le bateau ayant été étudié tronçon par tronçon et pièce par pièce, un très grand nombre d'observations a pu être entrepris et le façonnage de chaque type de structure a pu être renseigné.

75. Appareils utilisés: loupe binoculaire Wild Makroskop M420 (zoom 6,3x à 32x), microscope optique en transmission Olympus BH-2 (grossissements 40x à 1000x), microscope optique en transmission Olympus CX41 (grossissements 40x à 1000x) couplé à un appareil photo numérique Olympus PEN Lite E-PL3.

Fig. 197 : Essences ligneuses identifiées et nombre d'individus analysés selon les types de structures architecturales du chaland.

Essences ligneuses	Sapin	Epicéa	Pin type sylvestre	Résineux indét.	Chêne caducifolié	Frêne commun	Total
<b>Pièces architecturales</b>							
<b>Sole et bouchains</b>							
Bordages de sole					8		8
Bordages de bouchains					4		4
Bouchains composés					2		2
<b>Charpente transversale</b>							
Varangues					47		47
Courbes					19		19
<b>Bordé</b>							
Bordés de flanc en demi-tronc	3	1					4
Planches et patches de réparation	6	5		1			12
Plats-bords					6		6
Pièce indéterminée	1						1
<b>Banc d'étambrai</b>							
Banc d'étambrai					1		1
Courbes					2		2
Pièces de support longitudinales					2		2
<b>Tasseaux</b>							
Tasseaux					5		5
<b>Extrémité de la proue</b>							
Planches transversales					5		5
Pièce pyramidale					1		1
<b>Caisson</b>							
Cloisons	3				1		4
Vaigres	25	13		1			39
Traverses	33	5		1			39
Longerons	7	8		1	13		29
<b>Aménagements de la poupe</b>							
Vaigres et planches de protection	5		2				7
Planche-support longitudinale	1						1
Jambettes		3			5		8
Taquet					1		1
<b>Réparations et aménagements divers</b>							
Palâtres	2		7		2		11
Cales	1		1				2
Epontille du banc	1						1
Pièce indéterminée				1			1
<b>Pièces liées à la propulsion</b>							
Mât						1	1
Rame-gouvernail					1		1
<b>Total</b>	<b>88</b>	<b>35</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>125</b>	<b>1</b>	<b>264</b>

## Répartition spatiale et fonctionnelle des essences

### Synthèse des essences identifiées et répartition spatiale

L'analyse anatomique du bois a conduit à l'identification de cinq types anatomiques comprenant à la fois des essences résineuses et feuillues (fig. 198). Trois taxons résineux ont été identifiés, par ordre d'importance : le sapin (*Abies* sp.), l'épicéa (*Picea abies* (L.) Karsten) et le pin de type sylvestre (*Pinus cf. sylvestris*)<sup>76</sup>; ainsi que deux taxons feuillus : le chêne caducifolié (*Quercus* sp.) et le frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.).

L'analyse xylogologique nous permet de présenter la répartition spatiale des essences ligneuses identifiées selon le type de vestige architectural (fig. 199). Chaque type de vestige est présenté ci-dessous selon les essences choisies pour sa confection et le nombre d'individus analysés parmi les 264 structures architecturales du chaland.

76. L'impossibilité de différencier l'anatomie du bois du pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) de celle du bois du pin à crochets (*Pinus uncinata* Ramond.) et du groupe des pins noirs (*Pinus nigra*) nous amène à regrouper les taxons sous l'appellation « pin de type sylvestre ».

### Variabilité et sélection des bois mis en œuvre, propriétés mécaniques et qualités technologiques des essences employées

D'après l'ensemble des résultats obtenus, nous pouvons définir, de manière absolue, la sélection des bois mis en œuvre au sein des structures du chaland. Il s'en dégage une certaine variété dans la mesure où les pièces architecturales ont été débitées dans les bois de trois essences résineuses et de deux essences feuillues. Le plan de répartition des essences au sein de la structure (fig. 199) illustre la spécialisation manifeste de l'emploi de ces essences, leurs propriétés mécaniques et leurs qualités technologiques étant adaptées à la fonction des pièces pour lesquelles elles ont été sélectionnées. Un fort contraste se dégage entre la structure primaire inférieure, taxinomiquement homogène, et les parties supérieures du bordé et des aménagements internes qui révèlent une plus grande diversité des essences employées avec cependant une grande majorité accordée aux essences résineuses.

Ainsi, la base entière de l'embarcation est exclusivement confectionnée en chêne caducifolié, l'essence la plus représentée au sein du bateau, qui est réservée aux bordages de sole, aux bouchains monoxyles et composés, aux tasseaux longitudinaux ainsi qu'à la charpente transversale (varangues plates et courbes). L'ensemble composé de la varangue-emplanture et du banc d'étambrai (banc, pièces de support longitudinales et courbes) ainsi que l'extrémité de la proue du bateau (pièce pyramidale et planches transversales) sont également et exclusivement réalisés en chêne caducifolié. Les charpentiers ont délibérément sélectionné cette essence, la plus utilisée parmi les espèces feuillues pour la charpente des bateaux d'époque romaine (Guibal, Pomey 2002, p. 95-96; Rival 1991, p. 54). Son caractère imputrescible et ses qualités de résistance, de dureté et de durabilité en milieu humide, déjà connus des Grecs et des Romains (Rival 1991, p. 52-54), font du chêne un matériau particulièrement bien adapté à recevoir des charges importantes et à assurer la stabilité, la robustesse et la longévité de la structure. Un choix qui se perpétue au Moyen Âge pour la construction des bateaux du Rhône où la pratique dictait, de même, de sélectionner un bois dur, le chêne en particulier, pour la sole, partie la plus exposée à l'usure (Rossiaud 2007, p. 205). Le chêne caducifolié est également réservé à la pelle de gouverne ainsi qu'aux planches de plat-bord et au taquet, des pièces qui supportent des forces puissantes ou qui subissent des frottements importants liés aux manœuvres de navigation, d'accostage et d'amarrage, afin de leur assurer robustesse, protection et durabilité.

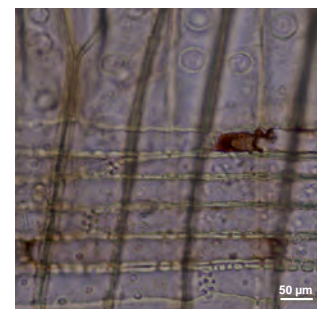
Le chaland *Arles-Rhône 3* rejoint ainsi fidèlement la tradition de la confection du fond de ce type d'embarcation construite « sur sole » et intégralement réalisé en bois de chêne caducifolié, comme le sont tous les chalands gallo-romains d'Europe et, en particulier, les épaves de Bevaix, de Lyon Saint-Georges (*Ep. 2, Ep. 3, Ep. 4, Ep. 5, Ep. 7*), de Chalon-sur-Saône et de Lyon Tolozan (Arnold 1992a, p. 56-61; Guyon 2010, p. 56-89; Lonchambon 2000; Rieth 2011, p. 66) auxquelles cette étude se réfère.

En revanche, la partie inférieure du bateau s'oppose aux parties hautes plutôt réalisées en bois d'essences résineuses: le sapin et l'épicéa, en majorité, ainsi que le pin de type sylvestre se diffusent au sein des bordages de flancs, des aménagements internes du caisson ou de la poupe et des diverses pièces de réparations ou de calage.

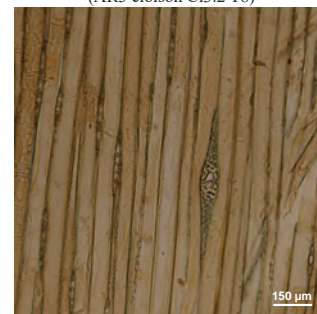
Les bordés de flanc en demi-tronc sont majoritairement et spécifiquement façonnés en bois de sapin, deuxième essence abondamment représentée au sein des structures du chaland: les bordages de flancs principaux sont prolongés à l'avant par des bordages de flanc secondaires dont un est en sapin, l'autre en épicéa. Les planches de réparation fixées au sommet des bordés ou insérées sous forme de patchs dans les bordages sont aussi en sapin ou en épicéa.

Les aménagements internes du caisson et de la poupe (cloisons, vaigrage, traverses, planches de protection de la sole, planche-support longitudinale, épontille, cales) sont majoritairement réalisés en bois de sapin, secondairement en bois d'épicéa, quelques pièces étant en bois de pin de type sylvestre.

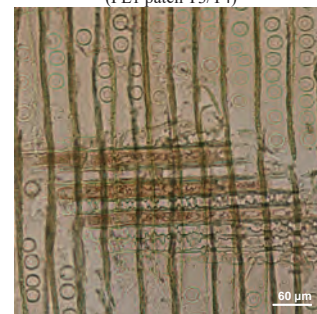
Les essences résineuses utilisées pour la réalisation des flancs et des aménagements internes reflètent l'emploi de taxons offrant une résistance et une durabilité moindre que le chêne mais couramment employées en architecture navale pour la confection du bordé et l'aménagement du pont des bateaux maritimes (Rival 1991, p. 54; Ballu 2000, p. 87) et fluviaux (Arnold 1992a; Rieth 1998). Dans la construction navale traditionnelle, le sapin notamment participait à la construction de toute la partie supérieure des bateaux où la légèreté était recherchée (Ballu 2000, p. 87-88). La densité des essences résineuses utilisées pour les parties hautes du chaland, comme le sapin et l'épicéa (0,4-0,5), de l'ordre de la moitié de celle du chêne (0,7-0,9 en moyenne, > 1 pour le bois de cœur) utilisée dans toute sa partie basse, permettait, de ce fait, d'alléger l'ensemble du chaland. Pour la réalisation des planches de vaigrage et de protection de la sole, l'utilisation d'essences résineuses peut également être liée à des contraintes d'approvisionnement mais la sélection



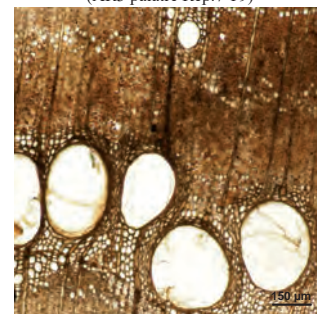
*Abies* sp., plan radial  
(AR3 cloison C13.2 T8)



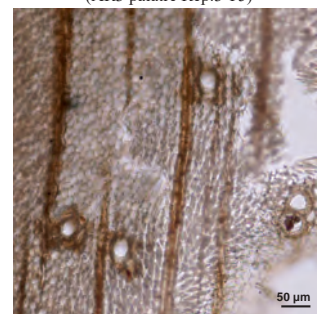
*Picea abies* (L.) Karsten, plan tangentiel  
(FL1 patch T3/T4)



*Pinus* cf. *sylvestris*, plan radial  
(AR3 palâtre Rép.7 T9)



*Quercus* sp., plan transversal  
(AR3 palâtre Rép.3 T5)



*Fraxinus excelsior* L., plan transversal  
(AR3 Mât)

**Fig. 198 :** Caractères anatomiques discriminants des bois de sapin (*Abies* sp.), épicéa (*Picea abies* (L.) Karsten), pin de type sylvestre (*Pinus* cf. *sylvestris*), chêne caducifolié (*Quercus* sp.) et frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.) (S. Greck).



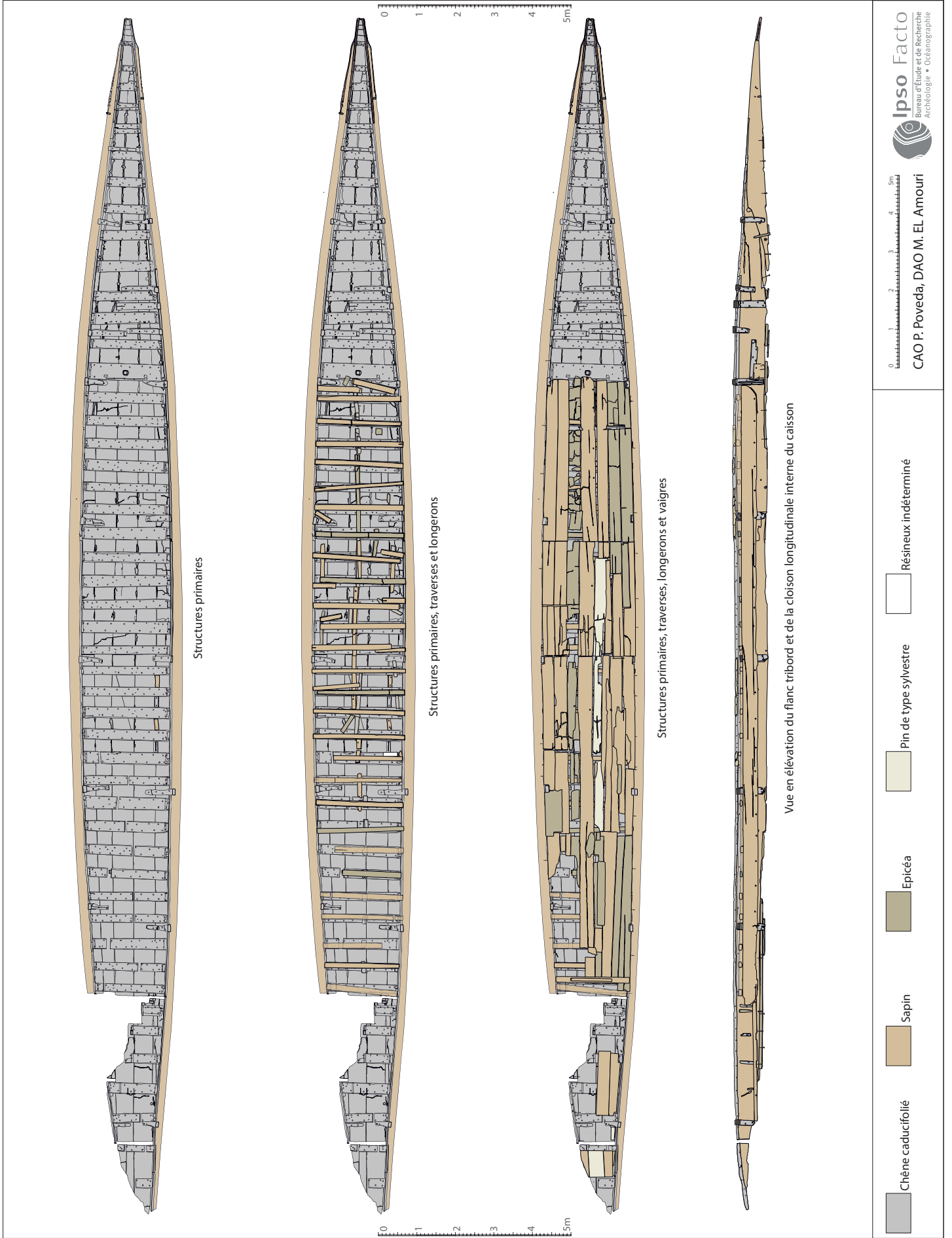


Fig. 199 - Plan de répartition des essences de bois au sein des pièces architecturales du chaland Artes-Rhône 3.

d'essences de moindre qualité semble être délibérée, ces planches étant destinées à recevoir la cargaison et à protéger la structure principale.

Le reste des aménagements internes suit davantage une sélection opportuniste du bois avec un mélange d'essences résineuses ou de chêne constaté au sein des longerons, des jambettes soutenant la planche-support longitudinale du flanc tribord arrière et des palâtres de la sole.

Le mât est la seule pièce d'architecture façonnée en bois de frêne, utilisé pour ses propriétés particulièrement adaptées à sa fonction (*infra*).

## Origine géographique et approvisionnement en bois d'œuvre

Les essences feuillues identifiées sont communes en plaine, de l'étage de végétation collinéenne à l'étage montagnard, jusqu'à 1 400 m d'altitude. Si le chêne supporte des sols très variés, le frêne affectionne plutôt les conditions fraîches des versants ombragés et les sols riches, tels que les alluvions, colluvions, limons ou loess (Rameau, Mansion, Dumé 1993, p. 563).

Le sapin est l'essence typique des étages de végétation montagnards moyen et supérieur où le climat est très humide (en général plus de 1000 mm de précipitations annuelles) et assez froid, à une altitude allant de 400 m à 1600 m. Si la nature minéralogique du sol ne lui importe pas, il recherche les terrains profonds, frais et fertiles. On le rencontre communément dans les Alpes, le Jura, les Vosges et le Massif Central (*ibid.*, p. 375). L'épicéa trouve ses conditions de croissance préférées dans la zone inférieure de l'étage subalpin mais peut descendre jusqu'à des altitudes de 600-700 m. Moins exigeant en eau que le sapin, c'est une essence très résistante au froid. En France, il est spontané dans les Vosges, le Jura, les Alpes où il est commun dans le Nord et moins dans le Sud (*ibid.*, p. 391). Les difficultés à distinguer sur des critères anatomiques le bois du pin sylvestre de celui du pin à crochets et du groupe des pins noirs nous amènent à considérer l'aire géographique de ces espèces qui se rencontrent de l'étage collinéen à l'étage subalpin pour la première, de 1500 m jusqu'à la limite supérieure des arbres pour la deuxième, toutes deux sur des substrats très variés. Le pin noir, dont la seule sous-espèce *salzmannii* est attestée sur le territoire français à l'époque antique, ne se rencontre que dans quelques peuplements de la région Languedoc-Roussillon. Le pin sylvestre est largement répandu dans les Vosges, le Jura, les Alpes du nord et du sud, le Massif Central et les Pyrénées (*ibid.*, p. 409); le pin à crochets est commun à l'étage subalpin des Alpes et des Pyrénées, plus rare dans le Jura et le Massif Central, très rare dans les Vosges (*ibid.*, p. 411).

En résumé, toutes les essences identifiées parmi les pièces architecturales du chaland se rencontrent dans le réseau hydrographique rhodanien et aucune essence étrangère à ce réseau n'a été identifiée. Les résultats de l'analyse dendrochronologique nous renseignent davantage sur la localisation de zones probables d'approvisionnement en bois d'œuvre dans le bassin du Rhône (*infra*, p. 267-268). Selon la littérature antique, les grumes de bois étaient acheminées par flottage à billes perdues ou dirigées par attelage vers les chantiers navals (Rival 1991, p. 108).

## Mise en œuvre des bois : qualité des arbres, modes de débitage et de façonnage

L'étude des résultats des analyses dendromorphologiques et tracéologiques nous permet de présenter, pour chacune des pièces architecturales du chaland, la qualité des bois et des types de débitage sélectionnés ainsi que les outils utilisés pour leur façonnage<sup>77</sup>. Enrichie des résultats de l'analyse dendrochronologique (*infra*, p. 261-263), elle renseigne aussi sur l'âge minimum des arbres abattus, la hauteur et le diamètre minimum des grumes mises en œuvre afin de conduire à la définition de l'économie du matériau bois conduite par les charpentiers d'Arles-Rhône 3.

### La sole

#### Mode de débitage

Les bordages de la sole sont définis par des planches équarries et épaisses de chêne caducifolié dont la section montre des types de débitage variés, en majorité sur quartier et à cœur ou faux quartier, donc proche du centre de la bille (pl. VI et VII, fig. 200) L'observation des sections transversales sur toute la longueur des pièces nous permet de définir la position relative du cœur du bois et d'indiquer que le débitage de certains bordages dévie faiblement de trajectoire passant d'un débit sur quartier ou faux quartier proche de la moelle à un débit en plein cœur (B4, B5). Les autres planches, en revanche,

77. Nous souhaitons associer à ce travail et remercier spécialement P. Poveda, pour la réalisation des planches d'illustration du débitage des pièces architecturales et pour la définition des diamètres minimum d'origine des arbres, ainsi que M. El Amouri, auteur des dessins d'outils interprétés à partir des traces et inspirés de Arnold 1992a.

s suivent un même débit d'avant en arrière, certain étant entièrement réalisé à cœur (B6, B7, B8), d'autres montrant un débit plus en marge sur faux quartier plus ou moins proche de la moelle (B1, B2, B3). La sole du chaland de Bevaix est construite à partir du même type de planches taillées dans des gros chênes caducifoliés (Arnold 1992a, p. 56-60) suivant un même mode de débitage avec deux bordages issus de la partie centrale des troncs et les deux autres issus d'une zone plus éloignée de la moelle (Arnold 1992a, p. 34).

Fig. 200 : Paramètres dendrologiques des bordages de sole.

Bordages de sole	Essence ligneuse	Type de débitage		L. totale conservée	Diam. min. des troncs	Âge min. des arbres	Nb de cernes d'aubier	Même arbre
		arrière	avant					
B1	Chêne caducifolié	faux quartier	faux quartier	13,80 m	88,5 cm	85	10	B4
B2	Chêne caducifolié	faux quartier	faux quartier	5,95 m	63,6 cm	76	16	BM2
B3	Chêne caducifolié	faux quartier	faux quartier	21,92 m	64,7 cm	48	présent	-
B4	Chêne caducifolié	faux quartier	quartier à cœur	22,59 m	77,8 cm	112	absent	B1
B5	Chêne caducifolié	faux quartier	quartier à cœur	17,42 m	72,9 cm	-	présent	-
B6	Chêne caducifolié	quartier à cœur	quartier à cœur	3,79 m	40,4 cm	-	absent	-
B7	Chêne caducifolié	quartier à cœur	faux quartier	2,68 m	41,2 cm	-	absent	-
B8	Chêne caducifolié	quartier à cœur	quartier à cœur	8,33 m	55,4 cm	-	absent	-

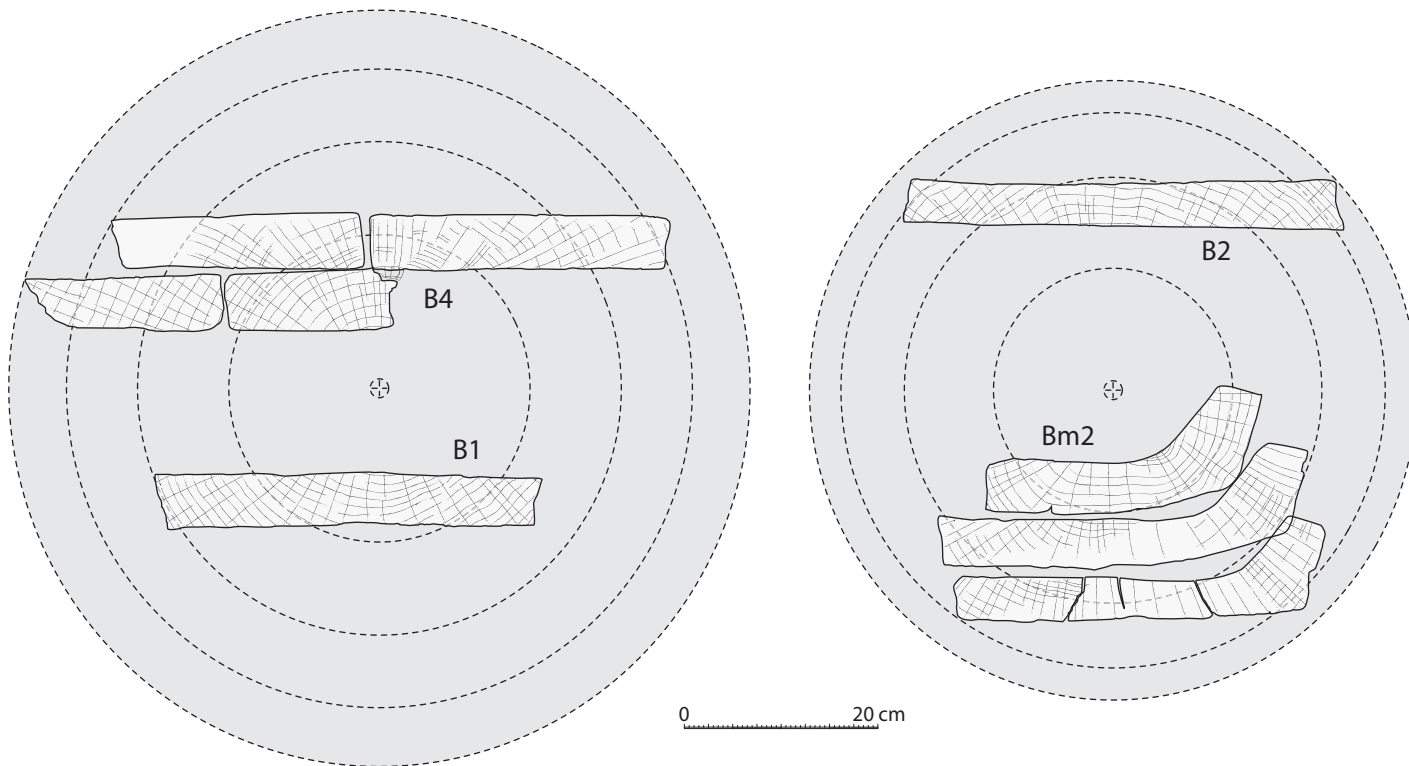
L'étude des types de débitage de chaque planche nous renseigne également sur le mode de façonnage des levées de poupe et de proue. Les coupes transversales des pièces de bordage de sole (pl. VI) montrent que B1 ne varie que très peu de débit d'un bout à l'autre de la pièce, toujours proche de la moelle, et que B5 passe d'un débit peu éloigné de la moelle (coupes T5/T6 et T7/T8) à un débit en plein cœur (coupe T9/T10). Si les angles des pièces avaient été sculptés dans la masse, les coupes transversales montreraient des débits très différents au niveau des levées. Ainsi, soit les extrémités auraient été taillées bien plus en périphérie du tronc, et les coupes montreraient alors des débits éloignés de la moelle, soit elles auraient été sculptées dans un embranchement dont l'angle devait respecter celui désiré pour la levée, et les débits montreraient la naissance d'une seconde moelle<sup>78</sup>. Ces évidences étant absentes, les bordages ont donc probablement été cintrés à chaud pour réaliser les levées, comme le montre aussi l'observation du façonnage des bordages du chaland de Bevaix (Arnold 1992a, p. 58).

Ces observations, couplées aux résultats de l'analyse dendrochronologique, permettent de déduire, en outre, que les bordages B1/B4, B2/BM2 et B3 ont été débités respectivement dans des billes de 88,5 cm, 63,6 cm et 64,7 cm de diamètres, issues d'arbres au moins âgés de 48 à 112 années et dont la hauteur minimum du fût varie de 17,4 m à 22,5 m pour les pièces les plus longues. D'après l'analyse dendrochronologique, il semblerait que B1 et B4 proviennent du même arbre et que B2 provienne du même arbre que BM2 (fig. 201).

La présence fréquente d'aubier nous permet de déterminer que le débitage des grumes de chêne a été réalisé sur plot (fig. 202). Ce mode de débitage a la particularité d'offrir un rendement maximum de la matière première et de produire des planches de qualités différentes et de largeurs inégales, au risque d'augmenter l'épaisseur du bois à débiter ainsi que les forces de frottement de la lame qui demanderont un effort supplémentaire considérable (Arnold 1999, p. 161). Concernant la variabilité de la qualité des planches, les parties proches du cœur du bois offrent une résistance et une dureté supérieures aux parties marginales (Rival 1991, p. 157). Pour les bois de chêne, qui subissent un fort retrait en séchant, les débits sur quartier ou faux quartier, recommandés en charpenterie traditionnelle, ont pour principal avantage de conserver à ces débits toutes leurs caractéristiques mécaniques et de présenter, à la dessiccation, le taux de rétractabilité le plus faible (*ibid.*, p. 55, 84). Les débits sur dosse, en revanche, ont tendance à tuiler (*ibid.*, p. 55).

Les fentes longitudinales issues de la dessiccation du bois, quant à elles, peuvent apparaître aussi bien dans le bois de cœur (fente de cœur) que le bois de périphérie (fente ou gerce de bout) (*ibid.*, p. 124), comme cela a été observé sur les planches de sole du chaland. Ce phénomène n'induit pas forcément un séchage et un stockage des bordages avant la construction du chaland. Dans l'Antiquité, le séchage complet du bois n'était pas de coutume pour la construction navale (Rival 1991, p. 121), en particulier pour la sole des bateaux fluviaux (Arnold 1999, p. 26), car l'utilisation de bois vert facilite sa mise en

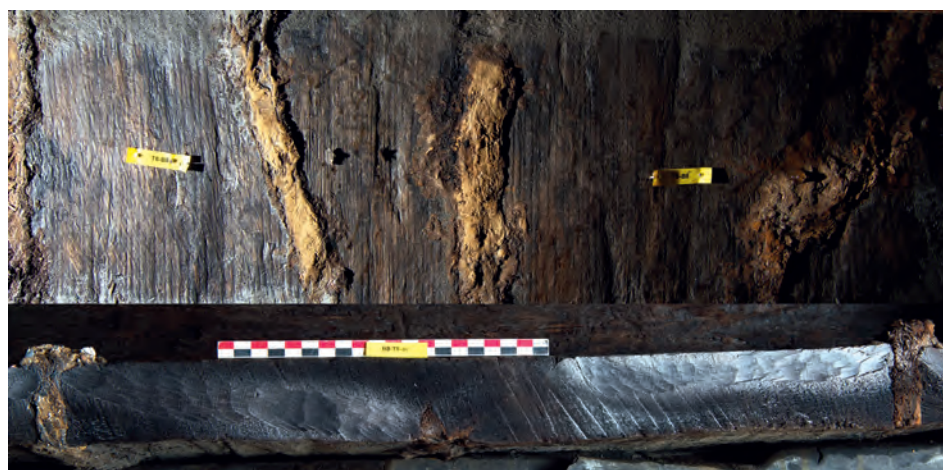
78. A ce propos, il a été mis en évidence, lors de l'étude du chaland de Bevaix, que l'extrémité d'un des bordages de la sole avait été taillée dans une branche maîtresse afin d'amorcer le début de la levée avant (Arnold 1992a, p. 59).



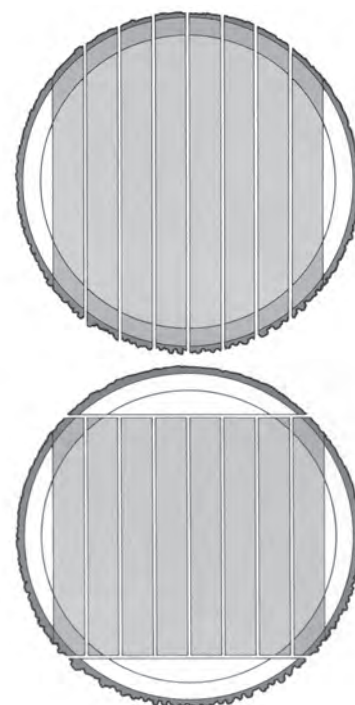
Relevé M. El Amouri, S. Greck  
 DAO M. El Amouri, P. Poveda



**Fig. 201 :** Restitution du mode de débitage des bordages de sole B1, B2, B4 et du bouchain BM2 issus de deux troncs de chêne.



**Fig. 203 :** Fente de cœur longitudinale du bordage de sole B8 colmatée à l'aide de poix : vue de la face inférieure (en haut : fente au centre, joint entre bordages à gauche) et vue en section (en bas) (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 202 :** Sciage sur plot utilisé pour les chalands de Bevaix et Arles-Rhône 3, en haut, et débit sur dosse, en bas (D'après Arnold 1999, p. 161).

œuvre en permettant de moins émousser le tranchant des outils (Rival 1991, p. 121) et en réduisant les risques de fissuration (Arnold 1992a, p. 61). Cependant, la construction expérimentale du chaland *Altaripa*, réplique navigante de l'épave de Bevaix, nous apprend que, même en utilisant le bois fraîchement abattu, des fentes se développent fréquemment au milieu des larges planches du bordé, particulièrement au niveau des levées et des flancs soumis au séchage du bois (Arnold 1999, p. 159). Ces fentes, colmatées à l'aide de poix et de tissus poissés, ont été relevées sur certains bordages (B3, B4, B7 et B8, fig. 203) qui présentent, à l'avant du chaland, un débit passant par le cœur. Sur le bordage B8 deux fissures sont visibles sur toute la longueur des faces interne et externe du bordage à cause

**Fig. 204 :** Palâtre de bois placé au droit du joint entre le bouchain BM4 et le bordage de sole B4 dont les cans présentent d'importantes portions d'aubier, vu en plan (en haut) et en section (en bas) (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



de la présence d'une double moelle provenant de la naissance d'un embranchement (fig. 203, en bas). Étant opposées et très proches, elles induisent un fort risque d'entrée d'eau et l'emploi d'un tel bois semble très curieux. Mais les charpentiers ont sans doute jugé que leur réparation à l'aide de poix était suffisante.

Un autre type de réfection a pu être observé au niveau du joint d'étanchéité de certains bordages. Il s'agit de planchettes de bois identifiées comme des palâtres – technique d'étanchéité des coutures par l'intérieur (*supra*, p. 150 et 154) – positionnés au-dessus du joint et à cheval sur les extrémités des bordages au centre et à l'avant du chaland (pl. II, fig. 159). Leur présence coïncide avec celle de portions importantes d'aubier laissées, de part et d'autre du joint, notamment le long du can tribord du bordage B4, sur toute l'épaisseur de la planche, et celui du can bâbord du bouchain BM4 (fig. 204)<sup>79</sup>. Le bois d'aubier étant beaucoup plus vulnérable que le duramen, il se détériore plus vite et risque de provoquer des entrées d'eau entre les planches du bordé de sole. De ce fait, un des principes de charpenterie, connu notamment depuis le Moyen Âge (Rossiaud 2007, p. 205), est de l'extraire des pièces architecturales afin d'éviter une dégradation précoce de l'ouvrage réalisé. De même, le débitage sur dosse, qui permet d'obtenir des planches de même qualité mais dépourvues d'aubier, en est la conséquence directe (Arnold 1999, p. 161). Cependant, la présence de l'aubier et même de l'écorce sur les débits est fréquemment attestée en charpenterie navale antique (Rival 1991, p. 105) et il semble que l'aubier subsistant à l'endroit même des jointures de bordages soit un trait caractéristique. Déjà remarqué pour la construction du chaland de Bevaix, ce procédé permet un rendement maximal du bois pour la confection de ces planches au détriment de la qualité de façonnage des cans qui, en contact avec le calfatage, est pourtant l'endroit le plus exposé (Arnold 1999, p. 159 ; 2011, p. 25). En conséquence, ces palâtres de bois placés au-dessus de l'aubier ont pu être utilisés pour boucher une crevasse créée par la dégradation de l'aubier – ce qui n'a malheureusement pas pu être vérifié sans le démontage de ces pièces – ou pour anticiper la formation de cette crevasse et prévenir ainsi une éventuelle perforation de la sole.

79. Cette observation n'a pas pu être vérifiée pour les palâtres situés au droit du joint entre B4 et BM2, au centre du chaland, sans le démontage de ces pièces.



Fig. 205 : Traces de scie de long sur la face supérieure du bordage de sole B1 (L. Roux, *O'Can-Ipsa Facto*, MdAa/CG13).

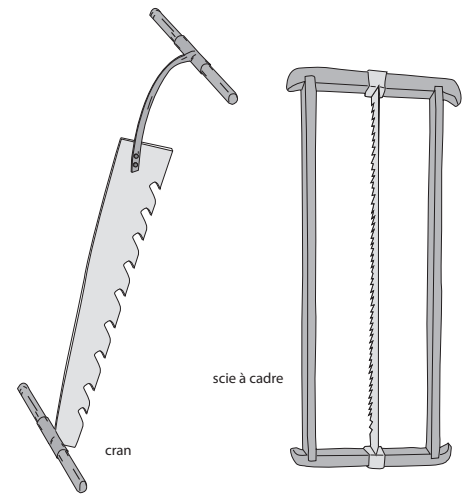


Fig. 206 : Scies de long (dessins M. El Amouri, *Ipsa Facto*).

Finalement, la présence de nombreuses fentes et de parties d'aubier sur certains bordages de la sole nous conduit à nous demander si les charpentiers manquaient de bois d'œuvre pour risquer de telles avaries. Quoi qu'il en soit, nous pouvons remarquer, comme pour le chaland de Bevaix (Arnold 1992a, p. 60), que les charpentiers ont délibérément choisi d'exploiter la matière première selon son plus haut rendement en taillant les planches de bordage au plus large possible, n'hésitant pas à laisser l'aubier dont la présence a pu être enregistrée sur plusieurs planches (fig. 200).

Les palâtres de la sole sont de fines planches de bois de sapin, de chêne caducifolié ou de pin de type sylvestre débités sur quartier et faux quartier. Comme toutes les autres pièces n'ayant pas de fonction essentielle au sein de l'architecture du bateau, le bois nécessaire à leur mise en œuvre a été sélectionné de manière opportuniste au gré des besoins de réparation de la sole et de la disponibilité des planches de bois conservées au sein du chaland. Des palâtres en bois d'essence ligneuse indéterminée sont signalés sur l'épave *Ep. 8* de Lyon Saint-Georges de type assemblé datée du II<sup>e</sup> s. ap. J.-C. (Guyon 2010, p. 52).

### Traces d'outils

Le chaland n'ayant pas été démonté complètement, l'analyse des traces d'outils de la sole s'est révélée très problématique. En effet, les traces les mieux conservées se situent aux zones de contact entre les courbes et les bordages de sole, ainsi protégées de l'érosion active lors de l'utilisation du chaland. Il a toutefois été possible d'observer quelques traces d'outils sur les bordages de sole, caractérisés par des faces régulièrement planes, sur les zones protégées, sous le caisson. Ainsi, sur les faces internes de B1, B3, B4 et B5, des traces de scie ont pu être relevées (fig. 205). Elles sont caractéristiques du sciage manuel qui produit des traces irrégulières avec des changements de direction et d'intensité variable selon la force des scieurs, l'épaisseur et la dureté du bois (Grenouiller 1993, p. 54). Mais la grande régularité de celles-ci, assez parallèles et transversales au fil du bois, nous conduit à penser qu'une scie de long, bien attestée à l'époque antique pour débiter longitudinalement les grumes de fort gabarit (Rival 1991, p. 136), a pu être utilisée pour le débitage des planches de la sole (fig. 206). Ces traces ont également été observées sur la sole du chaland de Bevaix (Arnold 1992a, p. 41-42) et sur celle de l'épave *Ep. 2* de Lyon Saint-Georges (Guyon 2010, p. 70, 72). Ce type de scie est actionné perpendiculairement aux fibres du bois avec l'aide d'un puits ou d'une fosse creusés sous la bille à scier, comme cela a été mis en évidence pour la construction expérimentale du chaland *Altaripa* (Arnold 1999, p. 91-97, 101-102). Les scies de long à cadre ou à lame autoportante (cran) ont pu être utilisées indifféremment dans la construction du chaland mais, pour les grumes de diamètre très important (plus de 50-80 cm de diamètre, en l'occurrence les bordages B1 et B4 (cf. fig. 200), le recours à un cran, caractérisé par une lame assez épaisse et munie d'une poignée à ses deux extrémités, est plus probable qu'une scie fixée à un cadre dont

la lame trop souple aurait tendance à se cintrer et le cadre en bois à se plier sous l'action des forces de frottement (Arnold 1999, p. 91-92)<sup>80</sup> (fig. 206).

Ces traces sont couvertes, localement, par des traces d'herminette utilisée pour des travaux de finition. Pour le bordage B4, une zone irrégulière, certainement due à la présence d'un nœud, a été aplanie à l'aide d'une herminette à tranchant plat, étroit et ébréché.

Quant aux cans, c'est une hache à large tranchant qui a servi à les tailler, comme nous l'indiquent les traces, rares et peu distinctes, observées sur le bordage B2 qui s'apparentent à celles relevées sur les cans des bordages de bouchains (*infra*). Les cans des bordages de sole de l'épave *Ep. 2* de Lyon Saint-Georges (Guyon 2010, p. 70, 72) ont également été réalisés à l'aide de cet outil.

Sur l'ensemble de la sole, aucune trace de hache ni d'herminette n'a été relevée sur les faces inférieures et supérieures des bordages, au contraire des bordages du chaland de Bevaix où l'utilisation de haches à large tranchant a été mise en évidence pour les travaux de finition, essentiellement, mais aussi de dégrossissage (Arnold 1992a, p. 44), ou de ceux de sa réplique expérimentale où des herminettes ont servi à égaliser le fond irrégulier du bateau (Arnold 1999, p. 127).

### Les bouchains

#### Mode de débitage

Les bordés monoxyles de transition ont été sculptés dans le bois de cœur de demi-billes de bois de chêne caducifolié : leurs sections en L, taillées dans la masse, montrent des débits plus ou moins proches de la moelle. L'observation des sections transversales sur toute la longueur des pièces indique que le débit des bouchains principaux BM1 et BM2 est assez régulier, variant progressivement d'un débit très proche de la moelle à un débit de plus en plus éloigné de la moelle (de l'avant vers l'arrière pour BM1 et de l'arrière vers l'avant pour BM2, pl. VII). Les bouchains BM3 et BM4, situés en avant du chaland, de plus petites dimensions, montrent un débit sensiblement différent, à proximité immédiate ou incluant même la moelle. Ce mode de débit, sculpté à cœur, peu éloigné de la moelle, montre tout le soin accordé au façonnage des bouchains (*supra*, p. 86-89). Pour le chaland de Bevaix, un même mode de débitage est observé pour les deux bordages de bouchains sculptés dans la partie centrale des troncs (Arnold 1992a, p. 57) et la portion de bouchain prélevé sur le chaland de Lyon Tolozan montre qu'il a probablement été débité dans un quart de tronc (Rieth 2011, p. 66).

Les bouchains BM1 et BM2 ont été débités respectivement dans des billes de 55,4 cm et de 64,4 cm de diamètre, longues d'au moins 16,8 m et 29,4 m, issues d'arbres au moins âgés de 84 et 79 ans (fig. 207). D'après l'analyse dendrochronologique, BM2 et B2 ont été façonnés dans le même tronc de chêne (fig. 201). Parmi les bouchains, seuls BM1 et BM2 ayant été soumis à l'analyse, on peut dire qu'il aura fallu au minimum deux troncs de chêne pour sculpter les bouchains, sachant qu'un des troncs aura servi aussi à façonner un bordage de sole. Mais il est fort possible qu'il en ait fallu quatre car cette pratique de tailler chaque bouchain dans un tronc de chêne entier a été mise en évidence pour la réalisation du chaland de Bevaix (Arnold 1992a, p. 35, 56). Si le bordage de sole B2 a pu être extrait de la même grume que le bouchain BM2, c'est sans doute parce qu'il est de dimensions plus réduites (5,95 m de longueur) que les autres bordages et que la chute de bois occasionnée par le façonnage de BM2 était suffisante.

Les bordages verticaux des bouchains composés définis à l'avant et à l'arrière de l'embarcation (BV1, BV2 et BV3) se définissent par des planches de bois de chêne caducifolié de dimensions plus réduites sculptées à cœur, plus ou moins proche de la moelle. La diversité de ces types de débitage et les dimensions de ces bordages nous amènent à penser qu'ils ont probablement été taillés dans les chutes résultant du débitage des pièces de sole de dimensions plus importantes. N'ayant pas été prélevés ni photographiés sur leur section transversale, l'analyse dendrochronologique ne peut pas nous renseigner davantage sur la qualité de ces bordages verticaux.

Fig. 207 : Paramètres dendrologiques des bordages de bouchain.

Bordages de bouchain	Essence ligneuse	Type de débitage		L. totale conservée	Diam. min. des troncs	Âge min. des arbres	Nb de cernes d'aubier	Même arbre
		arrière	avant					
BM1	Chêne caducifolié	à cœur, loin de la moelle	à cœur, proche de la moelle	16,8 m	55,4 cm	84	absent	-
BM2	Chêne caducifolié	à cœur, proche de la moelle	à cœur, loin de la moelle	19,4 m	64,4 cm	79	présent	B2
BM3	Chêne caducifolié	à cœur, proche de la moelle			23,6 cm	-	absent	-

80. Nous remercions B. Arnold pour ses précieuses remarques acquises grâce à son expérience issue de la construction expérimentale du chaland *Altaripa* et de ses voyages ethnographiques.

Bordages de bouchain	Essence ligneuse	Type de débitage		L. totale conservée	Diam. min. des troncs	Âge min. des arbres	Nb de cernes d'aubier	Même arbre
		arrière	avant					
BM4	Chêne caducifolié	à cœur, proche de la moelle			30,3 cm	-	absent	-
BV1	Chêne caducifolié	à cœur, loin de la moelle			-	-	absent	-
BV2	Chêne caducifolié	à cœur, proche de la moelle			-	-	absent	-
BV3	Chêne caducifolié	à cœur, proche de la moelle			-	-	absent	-

Fig. 207 : Paramètres dendrologiques des bordages de bouchain (suite).

### Traces d'outils

Les bouchains BM1 et BM2 ont conservé sur leur face supérieure de très rares traces, également caractéristiques du sciage manuel, qui se présentent sous la forme de stries irrégulières, plus ou moins profondes, parallèles et transversales au fil du bois, avec des changements de direction faibles (fig. 208). La lame de scie était donc actionnée de manière verticale et perpendiculaire au fil du bois ainsi qu'aux faces internes et horizontales du bouchain. Ces traces ne peuvent donc pas être attribuées au même type de scies utilisées pour les bordages de sole. Les travaux d'évidage de la face supérieure des bordages de transition du chaland *Altaripa* ont été réalisés à l'aide de haches par la taille d'une série de profondes entailles en V dans la masse de bois à enlever, perpendiculaires au fil du bois, matérialisant les limites des chutes de taille retirées ensuite au moyen de coins métalliques, le fond étant façonné avec des herminettes à tranchant plat ou concave (Arnold 1999, p. 88-89). L'évidage des bouchains du chaland *Arles-Rhône 3* a probablement été conduit de la même manière, à ceci près que, après l'intervention de la hache et de l'herminette, ces outils ont pu être remplacés, au moins localement, par une scie égoïne à manche inversé (fig. 209) afin de régulariser la surface par abrasion<sup>81</sup>. Ainsi, les traces relevées sur la face supérieure d'un bouchain de l'*Ep. 7* de Lyon Saint-Georges (Guyon 2010, p. 92, 94) et attribuées à une scie de long doivent très probablement être interprétées autrement. En effet, il semble impossible d'utiliser cet outil à deux poignées pour le façonnage de ces pièces dont le profil en L aurait gêné le passage de la lame dans toute la largeur. Aucune trace d'herminette à tranchant plat n'ayant été relevée sur les bouchains d'*Arles-Rhône 3*, il est probable que, si un tel outil a été utilisé, comme pour le chaland de Bevaix et sa réplique *Altaripa*, pour égaliser les faces horizontales internes, ses traces ont probablement disparu du fait de l'érosion active du fond du chaland, laissant ainsi apparaître les traces de scie, plus profondément empreintes dans le bois. En revanche, une herminette à tranchant concave (fig. 211) semble avoir été utilisée pour former l'angle interne des bouchains, les traces laissées par sa lame étant visibles sur les bouchains BM1 et BM2 (largeur de 2,9 cm minimum pour BM2, fig. 210), comme pour les bordages de bouchain du chaland de Bevaix et de sa réplique *Altaripa* (Arnold 1992a, p. 37, 47, 53 ; 1999, p. 88-89).



Fig. 209 : Scie égoïne (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).

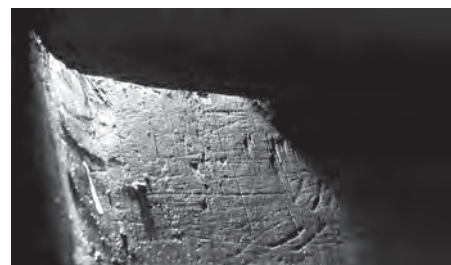


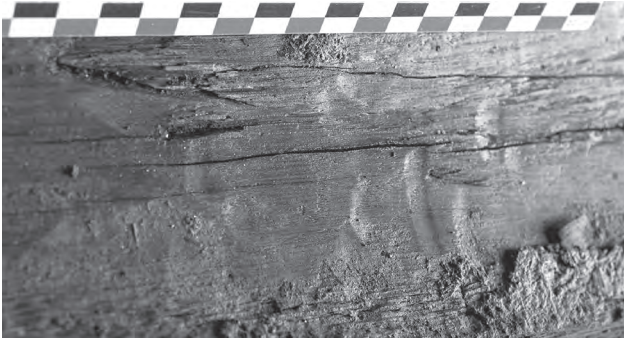
Fig. 208 : Traces de scie égoïne sur la face supérieure du bouchain BM1 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

Les cans externes des bordages de bouchains ont été taillés à la hache à large tranchant, dont les traces étaient visibles, par exemple sur BM2 (fig. 212 et 213), « sous la forme de lignes obliques » au fil du bois (selon la définition de Arnold 1999, p. 88). Les mêmes traces d'outils ont été relevées sur les cans des bordages de sole et de bouchain de l'épave *Ep. 3* de Lyon Saint-Georges et attribuées au maniement d'une herminette à tranchant plan (Guyon 2010, p. 60-61, fig. 31-6). Mais l'orientation des traces laissées par cet outil sur des surfaces à l'horizontale ou à la verticale, « normalement perpendiculaires à l'axe de travail, donc à l'axe longitudinal de la pièce de bois » (Arnold 1999, p. 88), semble contrarier l'hypothèse formulée par Marc Guyon. En effet, la taille des cans des bordages, posés à plat dans leur position d'assemblage avec le bordé, devait logiquement s'effectuer dans le plan vertical, donc plus facilement à l'aide d'une hache que d'une herminette qui taille plutôt dans le plan horizontal.

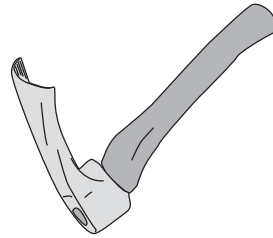
Enfin, plus localement, sur les cans, des traces de scie ont été observées sur le bouchain BM2 à l'arrière du bateau au niveau de la varangue M101 (fig. 214) ainsi que sur le bordage vertical de bouchain composé BV2. Caractérisées par de faibles espacements irréguliers et un changement fréquent d'orientation (*ibid.*, p. 37, 53), ces traces ont été créées par l'utilisation d'une scie égoïne (fig. 215). Cette scie a sans doute été utile pour réduire une surépaisseur de bois dans le but d'ajuster les deux pièces contre le bordage de flanc en demi-tronc F12 et entre lesquels elle pouvait être glissée. Cette étape de finition a également été observée pour le chaland de Bevaix dont les bordages étaient ajustés entre eux à la hache puis à la scie égoïne (*ibid.*, p. 37, 53 ; 1999, p. 118).

81. Encore une fois, nous tenons à remercier B. Arnold pour son aide à l'identification de ce type de scie ainsi que J. Grillaert, sculpteur sur bois et constructeur des répliques des chalands de Pommerœul et de Fontaine-sur-Somme (*Abugnata*), pour nos riches échanges sur le façonnage des bouchains et des courbes d'AR3.

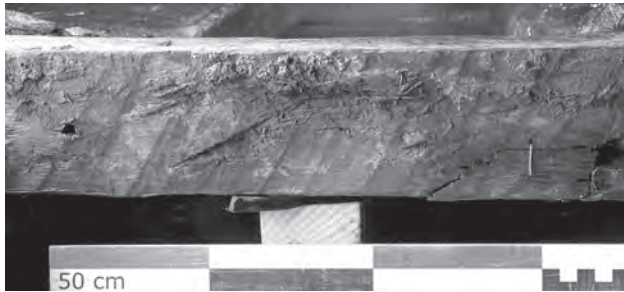




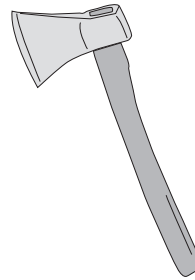
**Fig. 210:** Traces d'herminette à tranchant concave dans l'angle interne du bouchain BM2 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



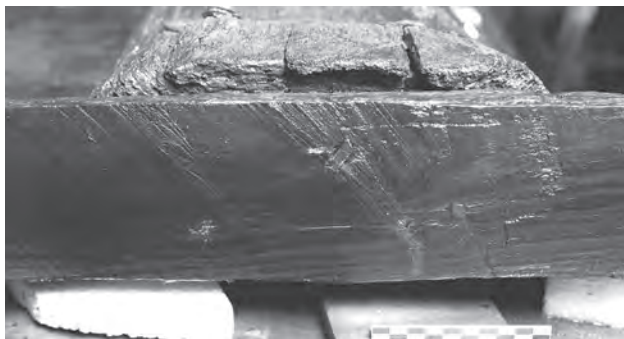
**Fig. 211:** Herminette à tranchant concave (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).



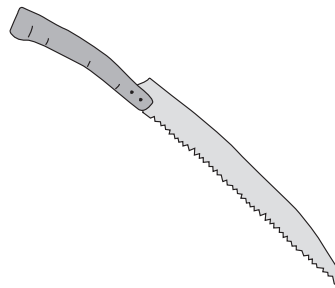
**Fig. 212:** Traces de hache à large tranchant sur le can externe du bouchain BM2 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 213:** Hache à large tranchant (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).



**Fig. 214:** Traces de scie égoïne sur le can externe du bouchain BM2 (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 215:** Scie égoïne (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).

**Les varangues**

• Mode de débitage

Les varangues plates se présentent sous la forme de planches épaisses équarries dans le bois de cœur et parfois l'aubier de chêne caducifolié, sur quartier à cœur, pour une moitié des varangues observées, et sur faux quartier plus éloigné de la moelle ou sur fausse dosse plus en périphérie du tronc, pour l'autre moitié<sup>82</sup>. La varangue-emplature M129, de section plus importante est, de même, équarrie à cœur. Les varangues plates des épaves de Lyon Saint-Georges (*Ep. 2, Ep. 3, Ep. 4 et Ep. 7*), de même forme, sont taillées, quant à elles, exclusivement dans des demi-billes de chêne (Guyon 2010, p. 56-57, 65, 77, 89).

Les varangues ont été réalisées à partir de billes de bois d'au moins 22 à 38 cm de diamètre environ et de 2,3 m de hauteur minimum, pour les pièces les plus longues (fig. 207). Elles ont donc été réalisées à partir de billes de bois entières ou fendues de diamètre moins important que celles sélectionnées pour la confection des bordages de sole et de bouchains. On remarque que la pratique de chanfreins pour abattre les angles de la face supérieure des varangues n'est pas régulière et qu'elle ne correspond pas non plus systématiquement à la présence de l'aubier sur la périphérie des troncs abattus. Comme pour les bordages de la sole, les charpentiers ne semblent pas avoir eu recours à cette pratique recommandée de supprimer cette partie vulnérable du bois.

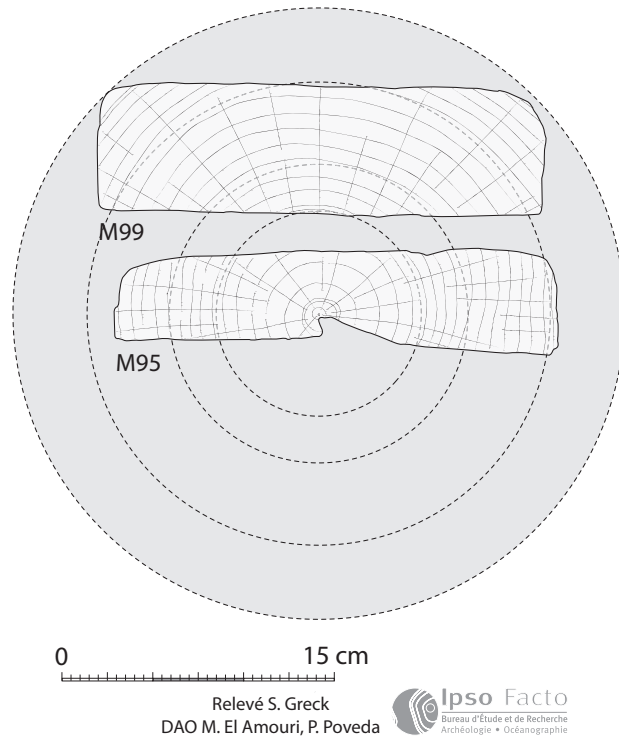
Varangues	Essence ligneuse	Type de débitage	Diam min. des troncs	Âge min. des arbres	Nb de cernes d'aubier	Même arbre
M95	Chêne caducifolié	quartier à cœur	33,7 cm	66 (115)	absent	M99
M96	Chêne caducifolié	quartier à cœur	22,7 cm	68	16	-
M97	Chêne caducifolié	fausse dosse	37,2 cm	111	11	-
M98	Chêne caducifolié	fausse dosse	33,9 cm	77	14	-
M99	Chêne caducifolié	fausse dosse	33,7 cm	99 (115)	6	M95
M100	Chêne caducifolié	faux quartier	29,2 cm	59	présent	-
M101	Chêne caducifolié	fausse dosse	31,8 cm	158	11	-
M102	Chêne caducifolié	faux quartier	32 cm	32	absent	-
M103	Chêne caducifolié	quartier à cœur	36,3 cm	73 (100)	absent	M108
M104	Chêne caducifolié	faux quartier	31,8 cm	57	absent	-
M105	Chêne caducifolié	quartier à cœur	27,4 cm	91	absent	-
M106	Chêne caducifolié	faux quartier	28,8 cm	89	11	-
M107	Chêne caducifolié	quartier à cœur	25,7 cm	< 30	absent	-
M108	Chêne caducifolié	quartier à cœur	36,3 cm	84 (100)	absent	M103
M109	Chêne caducifolié	fausse dosse	27,8 cm	74	14	-
M110	Chêne caducifolié	quartier à cœur	38,2 cm	76 (95)	absent	M112
M111	Chêne caducifolié	faux quartier	34,7 cm	104	16	-
M112	Chêne caducifolié	quartier à cœur	38,2 cm	65 (95)	absent	M110
M117	Chêne caducifolié	quartier à cœur	-	-	-	-
M129	Chêne caducifolié	quartier à cœur	-	-	-	-
M113-M116, M118-M128, M130-M141	Chêne caducifolié	-	-	-	-	-

**Fig. 216:** Paramètres dendrologiques des varangues.

*Note:* Les valeurs concernant les diamètres et les âges minima des arbres proviennent de l'observation de chaque pièce architecturale tandis que les valeurs entre parenthèses se réfèrent aux paramètres des arbres dans lesquelles plusieurs pièces ont été débitées.

82. Seule une vingtaine de varangues sur quarante-sept a été étudiée du point de vue de leur morphologie et dix-huit d'entre elles ont pu bénéficier d'une analyse plus approfondie ; les autres n'ayant pas été démontées ni échantillonnées ni découpées, leurs sections transversales n'étaient pas visibles.

**Fig. 217 :** Restitution du mode de débitage des varangues M95 et M99 issues d'un même tronc de chêne.

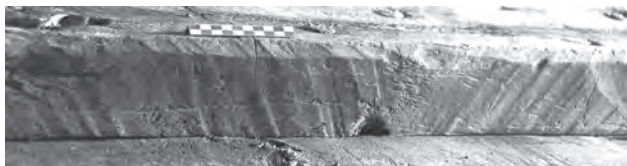


D'après l'analyse dendrochronologique, les arbres dans lesquels les varangues ont été délignées étaient âgés d'au moins 32 à 158 ans. Les varangues M95 et M99, M103 et M108, M110 et M112 ont été confectionnées à partir de trois arbres distincts, abattus respectivement à l'âge minimum de 115, 100 et 95 ans. Les varangues M95 et M99 ont été débitées respectivement en plein cœur et en périphérie d'un tronc de 33,7 cm de diamètre minimum, si bien qu'elles ont pu être délignées côte à côte au sein d'une même grume (fig. 217). Les autres varangues montrent des débits en plein cœur : M103 et M108 ont ainsi été extraites bout à bout dans un tronçon de grume de 4 m de longueur minimum, M110 et M112 dans un autre de 4,48 m de longueur minimum. Aucun autre synchronisme n'ayant été mis en évidence, et plus de la moitié des varangues n'ayant pas été soumise à l'analyse, nous pouvons seulement affirmer qu'il aura fallu un maximum de quarante-quatre arbres pour réaliser les quarante-sept varangues. Néanmoins, compte tenu de la mise en évidence, à partir du résultat de six varangues sur dix-huit analysées, d'un rendement d'au moins deux pièces de bois débitées par tronc d'arbre, nous pouvons émettre l'hypothèse que la confection des varangues aura plutôt nécessité l'abattage de vingt-quatre chênes au maximum.

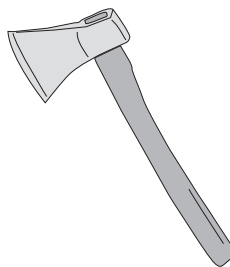
L'essence de bois sélectionnée pour les varangues souligne le soin accordé à la confection de ces pièces d'architecture qui ont un rôle essentiel de cohésion de la sole et de renfort transversal de l'ensemble de la structure primaire de l'embarcation. En revanche, le mode de débitage, défini par une grande variabilité de la position des pièces au sein des billes de bois, démontre une volonté de rendement économique de la matière première au détriment de la qualité de façonnage, moins recherchée.

#### • Traces d'outils

L'équarrissage des varangues a été réalisé à l'aide d'une hache à large tranchant comme le montrent les traces d'outils relevées sur leurs faces latérales et supérieures. Très bien conservées sur les varangues situées sous le caisson – ce qui pourrait nous indiquer que ce dernier devait être présent plus ou moins en permanence – ces traces couvrent toute la largeur et toute la longueur des faces latérales ainsi que les chanfreins qui ont dû être réalisés avec le même outil (fig. 218 et 219). Aucune d'entre elles n'ayant été démontée, les faces inférieures des varangues n'étaient pas visibles, mais elles ont sans doute été façonnées de la même sorte, comme le suggère l'étude de l'épave *Ep. 3* de Lyon Saint-Georges où les mêmes traces de hache ont été identifiées sur toutes les faces de certaines varangues (Guyon 2010, p. 60-61). Les fréquentes modifications d'orientation des traces, tantôt dirigées vers une extrémité tantôt vers une autre, marquent les changements successifs du sens de découpe (fig. 218). Les faces supérieures étant plus érodées, les traces y sont moins bien conservées et plus dispersées. Sur les parties les plus grandes, on observe qu'elles s'organisent en quinconce sur deux



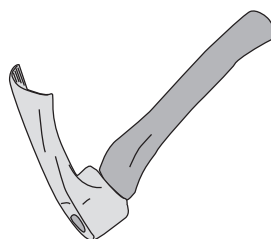
**Fig. 218 :** Traces de hache à large tranchant sur une face latérale et un chanfrein de la varangue M117 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 219 :** Hache à large tranchant (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).



**Fig. 220 :** Traces de façonnage du petit canal à la base du ressaut de la varangue M122 à l'herminette à tranchant concave et ébréché (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



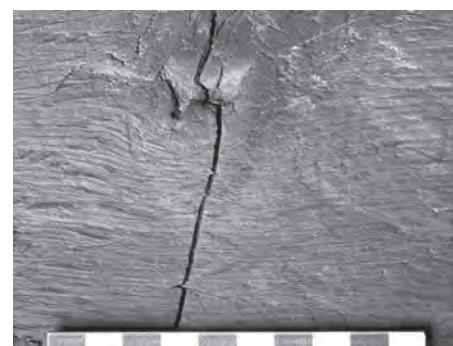
**Fig. 221 :** Herminette à tranchant concave (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).

voire trois bandes longitudinales, selon la largeur des varangues, en changeant parfois d'orientation, comme pour les faces latérales.

Pour les ressauts des extrémités des varangues, une herminette ou un ciseau à tranchant droit (de 4,4 cm de largeur minimum pour M100 à tribord) semble avoir été utilisé pour la confection des faces verticales. Quant au petit canal transversal situé à la base du ressaut, il a nécessité l'emploi d'une herminette à tranchant concave (de 4 cm de largeur minimum pour M111) pour le creuser (fig. 220 et 221). De longs microsillons strictement parallèles, observés au fond de ce canal, trahissent l'usure de la lame, la longueur de la percussion et l'orientation transversale du geste (fig. 220).

La varangue-emplanture, également débitée à la hache à large tranchant, comme le montrent les traces conservées sur ses faces latérales, présente, sur la pente supérieure bâbord de la surépaisseur, des stries superficielles, très fines et parallèles, régulièrement espacées de 0,5 mm les unes des autres, formant des lignes légèrement courbées orientées de manière oblique et transversale au fil du bois regroupées selon deux plages dont les orientations prennent des angles sensiblement différents (fig. 222). L'outil qui a servi à façonner cette surface n'est pas identifié. Peut-il avoir un lien avec le ponçage de cette surface en pente ? Ou s'agit-il d'une scie dont les traces sont très érodées ?

Enfin, comme pour le chaland de Bevaix (Arnold 1992a, p. 54), les mortaises ont été creusées avec un ciseau droit (fig. 224) dont les traces sont visibles sur les abouts<sup>83</sup> et le fond. Les petites mortaises ont été façonnées à l'aide d'une lame de 2,5 cm de largeur (fig. 223, à gauche) alors que la mortaise du pied de mât a nécessité une lame d'au moins 3,8 cm de largeur (fig. 223, à droite).



**Fig. 222 :** Traces d'outil non identifié sur la pente supérieure de la surépaisseur de la varangue-emplanture M129 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

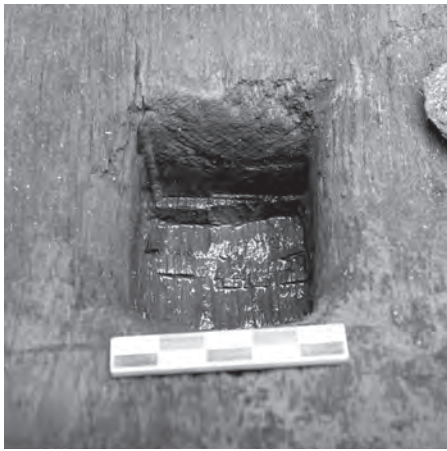


Fig. 223 : Traces de façonnage d'une petite mortaise (à gauche) et de la mortaise du pied de mât (à droite) à l'aide d'un ciseau droit sur la varangue-emplanture M129 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

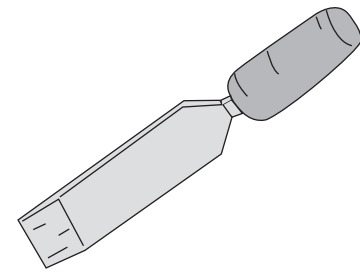


Fig. 224 : Ciseau droit (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).

## Les courbes

### • Mode de débitage

Les courbes se présentent sous la forme de pièces monoxyles sculptées en L dans des embranchements de chêne caducifolié, semblables à celles des épaves *Ep. 2*, *Ep. 3*, *Ep. 4*, *Ep. 7* de Lyon Saint-Georges et de Bevaix (Arnold 1992a, p. 61 ; Guyon 2010, p. 59, 68, 78, 89). Il s'agit de bois préformés, choisis et prélevés directement en forêt par les charpentiers antiques qui évaluaient le meilleur parti à tirer d'un arbre à abattre en inscrivant dans la silhouette de l'arbre sur pied les pièces d'architecture qu'il était possible d'extraire (Rival 1991, p. 113). Leur profil en L assurait une liaison entre la sole et le bordé de flanc, chaque partie venant se fixer verticalement contre les bordages de flanc et horizontalement sur les bordages de la sole. L'angle de cette pièce était une zone fragile amenée à subir beaucoup de tensions mécaniques si bien que les charpentiers devaient tirer parti du renfort solide procuré par la courbure naturelle des fibres du bois.

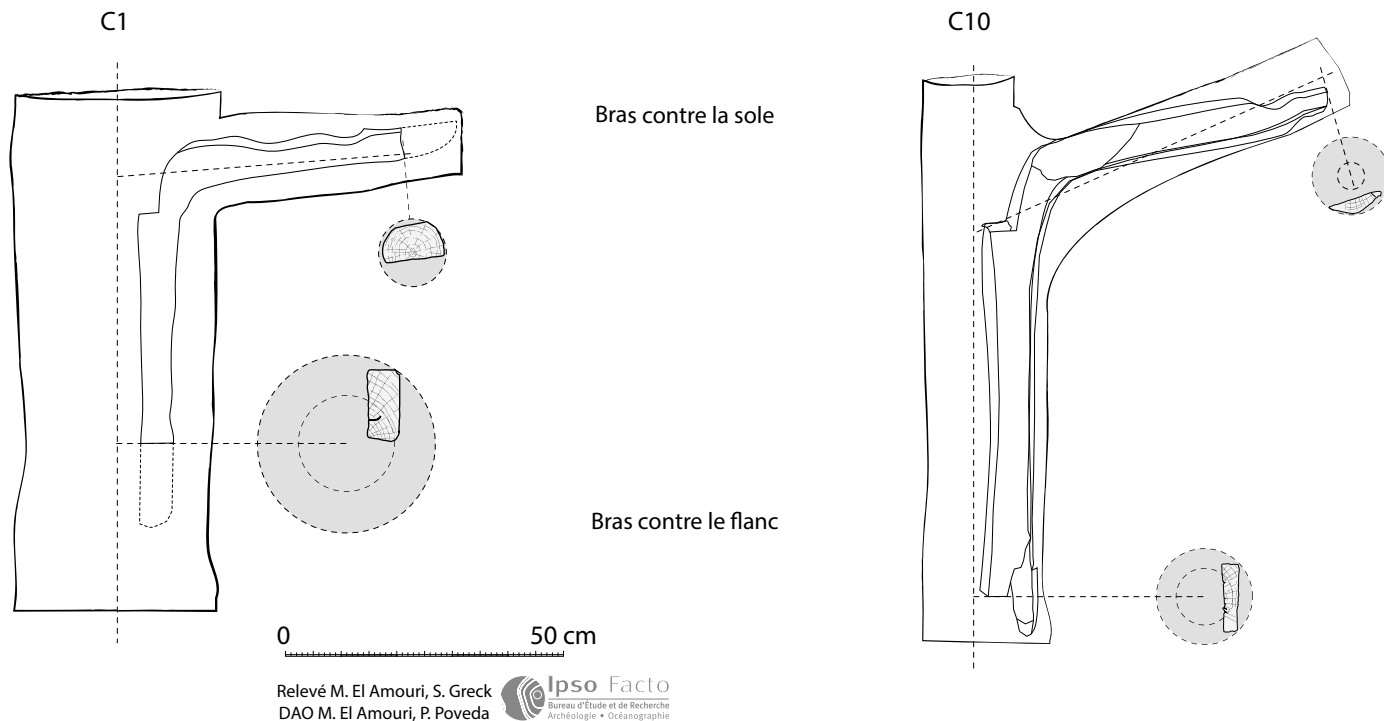
Les courbes montrent à chacune de leurs extrémités les sections des troncs et des branches attenantes dans lesquels elles ont été débitées<sup>84</sup> (fig. 225). Comme pour le chaland de Bevaix dont les courbes ont été sculptées selon les mêmes principes (Arnold 1992a, p. 61), les courbes du chaland *Arles-Rhône 3* sont extraites de troncs de chêne plus ou moins larges et présentent des types de débitage distincts. En revanche, contrairement au chaland de Bevaix (*ibid.*, p. 61), les sections de troncs, correspondant majoritairement aux parties les plus longues, viennent s'adosser verticalement au bordé alors que les sections de branches, majoritairement les plus courtes, sont posées horizontalement sur la sole. Cet agencement des courbes, que l'on retrouve par ailleurs sur le chaland présumé antique de Fontaine-sur-Somme décrit par Traullé (1809, p. 9), traduit la difficulté de trouver les embranchements adéquats formant non seulement des angles droits naturels mais avec, en plus, une bonne longueur de branche (Arnold 1999, p. 159 ; 2011, p. 25). Ainsi, il est plus commode de façonner la plus grande longueur d'une courbe dans la partie issue du tronc qui sera fixée contre le bordé afin que l'ensemble des courbes réparties au sein du bateau retienne les bordés sur toute leur hauteur en évitant ainsi un écartement de la structure. En particulier, pour les courbes disposées au niveau du caisson, les parties de tronc permettent d'obtenir la matière utile pour ajuster avec précision le décroché arrière des courbes aménagé dans leur partie haute et d'apporter la solidité nécessaire pour recevoir les fargues amovibles (*supra*, p. 94-95)<sup>85</sup>.

Les sections des parties verticales varient d'une courbe à l'autre. Elles sont débitées dans le tronc des arbres dont les diamètres d'origine varient de 12,5 cm à 20 cm minimum (fig. 227), tantôt sur quartier ou fausse dosse dans un demi-tronc (C2, C5, C8, C10, fig. 225, C11, C12), tantôt sur faux quartier ou fausse dosse dans un quart de tronc (C1, fig. 225, C6), tantôt en plein cœur sur brin (C3, C9). De section rectangulaire, elles sont équarries suivant le fil du bois. Les parties horizontales sont débitées dans une branche attenante au tronc, le plus souvent sur brin, le cœur généralement au centre de la pièce, parfois excentré (C1, fig. 225), parfois plus en périphérie (C10, fig. 225). La forme de la branche est grossièrement équarrie, aplanie sur sa face inférieure pour venir se poser contre la sole et peu aplanie sur sa face supérieure, si bien que le galbe de l'embranchement

83. Les bouts entaillés en bois de travers délimitent la longueur de la mortaise. Ils s'opposent aux joues de la mortaise qui en délimitent la largeur (Grenouiller 1993, p. 157).

84. Sur les dix-neuf courbes conservées d'*Arles-Rhône 3*, onze d'entre elles ont été parfaitement observées du point de vue morphologique et tracéologique.

85. Selon une hypothèse de B. Arnold (communication personnelle).



y est visible (C2, fig. 226), parfois recouvert de vestiges d'écorce résiduelle (C5, C6 et C9). Le débitage est réalisé tantôt selon le fil du bois, l'angle de l'embranchement épousant parfaitement l'angle de la pièce désirée (C1, fig. 225), tantôt de manière oblique par rapport aux fibres, l'angle choisi pour le débitage déviant alors par rapport à l'angle naturel de l'embranchement (C10, fig. 225). Ce procédé de débitage a probablement dû être mis en œuvre afin de faire face à la difficulté de trouver des embranchements formant des angles droits naturels (Arnold 1999, p. 159; 2011, p. 25). Il a pour inconvénient d'obliger la taille profonde des fibres au niveau du coude interne des courbes afin d'obtenir le profil en angle droit recherché, ajoutée à celle d'un redan pratiqué sur la partie extérieure pour épouser la forme des tasseaux ou des bouchains sur lesquels les courbes reposent, ce qui a pour conséquence aberrante de diminuer le rôle de renfort naturel procuré par les fibres du bois naturellement courbées et d'affaiblir une zone déjà fragilisée par les tensions exercées par la liaison de la sole au bordé. C'est cependant à ce même constat qu'a conduit la construction expérimentale du chaland *Altaripa* (*ibid.* 2009, p. 104, 159; 2011, p. 27).

**Fig. 225 :** Restitution du mode de débitage des courbes C1 et C10 au sein d'embranchements de chêne.

Courbes	Essence ligneuse	Type de débitage des parties		Diam min. des troncs	Âge min. des arbres	Nb de cernes d'aubier
		verticale	horizontale			
C1	Chêne caducifolié	faux quartier	brin	20 cm	60	13
C2	Chêne caducifolié	demi-brin	brin	-	73	19
C3	Chêne caducifolié	brin	dosse	18,3 cm	-	absent
C4	Chêne caducifolié	(disparue)	dosse	14,5 cm	-	absent
C5	Chêne caducifolié	fausse dosse	dosse	12,5 cm	-	absent
C6	Chêne caducifolié	fausse dosse	brin	18,4 cm	-	absent
C7	Chêne caducifolié	faux quartier	quartier	17,6 cm	-	absent
C8	Chêne caducifolié	fausse dosse	(invisible)	20 cm	-	présent
C9	Chêne caducifolié	brin	demi-brin	18,1 cm	-	présent
C10	Chêne caducifolié	fausse dosse	dosse	17,5 cm	-	absent
C11	Chêne caducifolié	fausse dosse	brin	19,6 cm	-	absent
C12	Chêne caducifolié	fausse dosse	-	19,7 cm	-	présent
C13-C16, C18, C20	Chêne caducifolié	-	-	18,1 cm	-	absent
C19	Chêne caducifolié	-	brin	13,3 cm	-	absent

**Fig. 227 :** Paramètres dendrologiques des courbes.

**Fig. 226 :** Faces supérieure (en haut) et inférieure (en bas) de la partie horizontale de la courbe C2 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



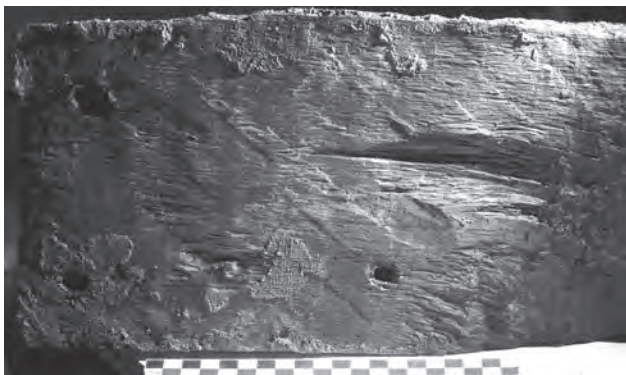
Seules deux courbes ont été soumises à l'analyse dendrochronologique<sup>86</sup> : les courbes C1 et C2 taillées dans deux arbres distincts, âgés respectivement d'au moins 60 et 73 ans à la date de leur abattage. Pour les autres, il est impossible de dire si elles ont pu être débitées dans un même tronc. Même si, théoriquement, nous pouvons imaginer qu'un tronc d'arbre a pu servir au façonnage de plusieurs courbes, la difficulté de trouver la matière première adaptée à ce type de pièce préformée et le faible rendement des arbres auquel l'expérimentation du façonnage des courbes du chaland *Altaripa* a pu conclure (Arnold 1999, p. 41-42) nous empêchent d'émettre une quelconque hypothèse sur le sujet. Ainsi, en considérant que chaque courbe a pu nécessiter le débitage d'un d'arbre, il aura fallu un maximum de dix-neuf arbres pour réaliser l'ensemble des courbes de l'embarcation.

- Traces d'outils

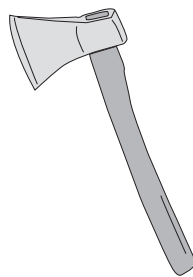
Les faces internes des courbes étant très érodées, seules les faces externes, posées contre la sole et le bordé, et les faces latérales ont conservé des traces d'outils à large tranchant (9 à 10 cm de largeur minimum pour C2 et C6) utilisés pour leur façonnage : hache à large tranchant (fig. 228 et 229) et herminette à tranchant plat (fig. 230 et 231). Comme le chaland de Bevaix où les mêmes outils ont été utilisés pour le façonnage des courbes (Arnold 1992a, p. 50-51), les faces externes, destinées à être posées contre les bordages de sole et de flanc, ont été grossièrement équarries. Quant au chaland *Ep. 3* de Lyon Saint-Georges, seules les traces de hache à large tranchant ont été identifiées sur les faces supérieures de certaines courbes (Guyon 2010, p. 60-61). En revanche, aucune trace de scie n'a été relevée, au contraire des courbes du chaland de Bevaix où des traces de scie passe-partout ont été fréquemment mises en évidence sur les faces externes des courbes (Arnold 1992a, p. 41, 43), ce qui devait fortement réduire le temps de travail par rapport à un débitage exclusif à la hache (Arnold 1999, p. 103).

Le façonnage des anguillers a nécessité deux types d'outils : une hache à large tranchant (au moins 7 cm de largeur pour C6) pour amorcer la pente du creux et une herminette à tranchant concave (5,5 cm de largeur minimum pour C2) pour façonner le

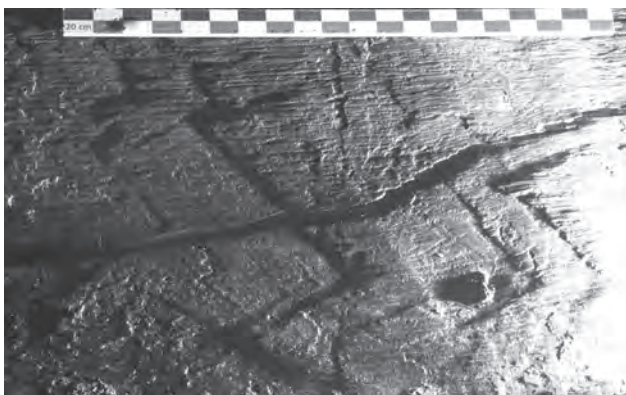
86. Les courbes n'ayant pas subi de découpe lors de l'étude et du relevage du chaland en 2011, seules deux d'entre elles, échantillonnées en 2005, ont fait l'objet d'une analyse dendrochronologique.



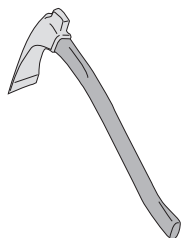
**Fig. 228 :** Traces de hache à large tranchant sur la face inférieure de la courbe C8 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 229 :** Hache à large tranchant (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).



**Fig. 230 :** Traces d'herminette à tranchant plat sur la face inférieure de la courbe C2 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 231 :** Herminette à tranchant plat (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).

fond du canal (fig. 232, 233 et 234). Les mêmes outils ont été identifiés pour le façonnage des anguillers des courbes du chaland de Bevaix (Arnold 1992a, p. 48-49) et l'utilisation de l'herminette à tranchant concave a également été démontrée pour le creusement de ceux des varangues des épaves *Ep. 2* et *Ep. 3* de Lyon Saint-Georges (Guyon 2010, p. 60-61, 70, 72).

Enfin, les encoches réalisées à la base et au niveau de l'angle externe des courbes pour qu'elles s'encastrent sur les tasseaux ont été obtenues à l'aide d'un ciseau droit (3 cm de largeur pour C2).

### Les bordés

#### Mode de débitage

Les deux bordages de flanc principaux F11 et F12 sont composés de longues pièces monoxyles débitées sur fausse dosse dans des demi-troncs de sapin, à l'image des épaves *Ep. 2*, *Ep. 4*, *Ep. 5* et *Ep. 7* de Lyon Saint-Georges (Guyon 2010, p. 63, 76, 85, 89) et peut-être de celle de Lyon Tolozan, où seule une virure en bois de résineux a été retrouvée et définie comme une virure de surélévation du bouchain (Rieth 2011, p. 66-67). D'après l'analyse dendrochronologique, ils ont été débités dans un seul et même arbre de 26,3 m de longueur minimum pour un diamètre de tronc de 93,9 cm minimum, au moins âgé de 234 années lors de son abattage (pl. VIII et fig. 235).



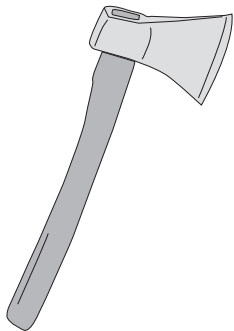


Fig. 233: Hache à large tranchant (dessin M. El Amouri, Ipsos Facto).

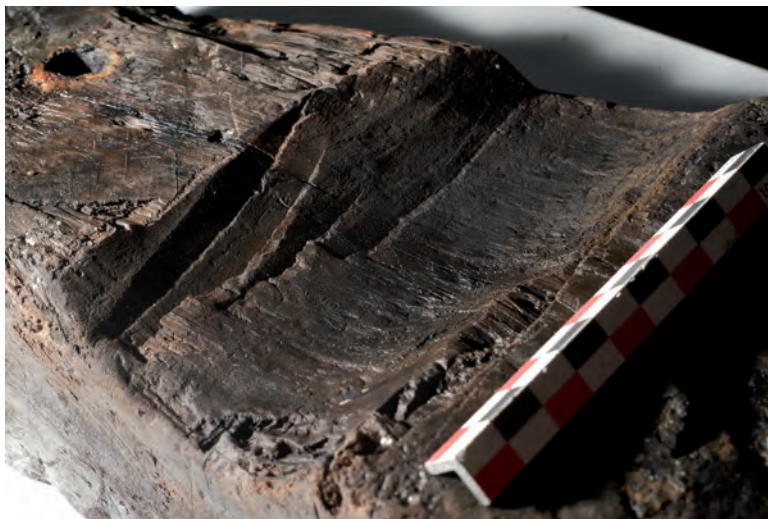


Fig. 232: Traces de façonnage d'un anguille à la hache à large tranchant et à l'herminette à tranchant concave sur la courbe C6 (L. Roux, O'Can-Ipsos Facto, MdAa/CG13).

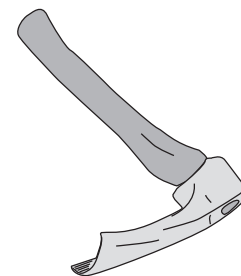


Fig. 234: Herminette à tranchant concave (dessin M. El Amouri, Ipsos Facto).

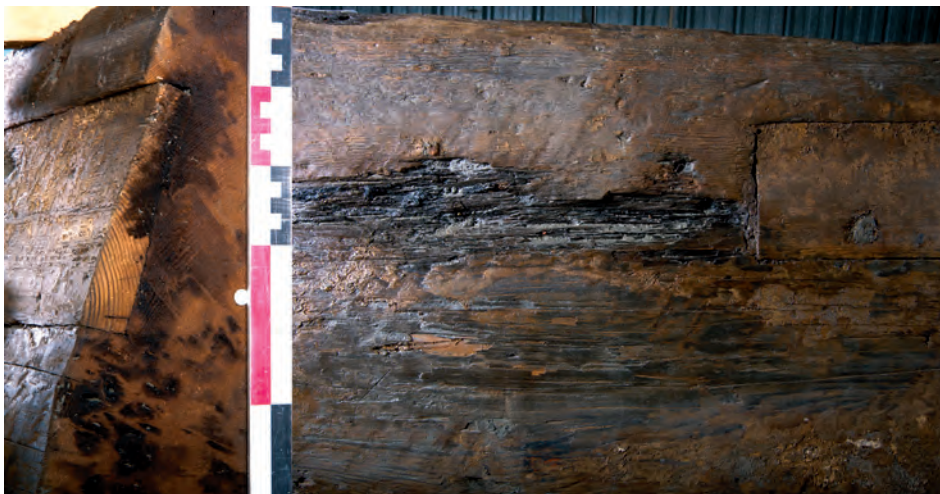
Fig. 235: Paramètres dendrologiques des bordés de flanc.

Bordés de flanc	Essence ligneuse	Type de débitage arrière	Type de débitage avant	L. totale conservée	Diam. minimum des troncs	Âge minimum des arbres	Même arbre
FL1	Sapin	fausse dosse	fausse dosse	18,5 m	93,9 cm	234	FL2
FL2	Sapin	fausse dosse	fausse dosse	26,3 m	93,9 cm	109 (234)	FL1
FL5	Epicéa	quartier à cœur	faux quartier	6,3 m	61,9 cm	-	-
FL6	Sapin	faux quartier	faux quartier	5,8 m	45,9 cm	-	-
FL3 (pièce indéterminée)	Sapin	quartier à cœur	quartier à cœur	0,7 m	23,5 cm	75	-

Ils sont prolongés à l'avant par des bordages de flanc secondaires de dimensions moins importantes confectionnés dans des bois de sapin (FL6) ou d'épicéa (FL5) sur quartier à cœur ou faux quartier, proche de la moelle. Les deux espèces ligneuses étant souvent en mélange au sein de la même forêt et caractérisées par des aires de distribution géographique très proches, il n'est pas surprenant que les charpentiers aient utilisé indifféremment les deux essences de bois. Les bordages FL5 et FL6 ont été débités respectivement dans des billes d'au moins 61,9 cm et de 45,9 cm de diamètre, dont la hauteur minimum était d'environ 6 m pour les pièces les plus longues. Ces deux pièces n'ayant pas été soumises à l'analyse dendrochronologique, nous pouvons donc seulement dire, en l'état actuel des recherches, qu'il aura fallu au minimum un et au maximum deux sapins pour confectionner les bordages de flancs FL1, FL2 et FL6 et un épicéa pour le bordage de flanc FL5.

Une pièce, identifiée à l'origine comme appartenant au bordé de flanc tribord arrière (FL13) (*supra*, p. 99-100) mais finalement indéterminée, a été soumise à l'analyse dendrochronologique. Celle-ci nous révèle qu'il est issu d'un arbre âgé au moins de 75 années et qu'il n'a pas été débité dans le même arbre que les deux bordages de flanc principaux.

L'étude des sections transversales, effectuée pour chaque tronçon d'un bout à l'autre des pièces, nous renseigne sur la faible variation des débits des bordages de flancs principaux au sein des demi-billes de sapin (pl. VIII). Toute la longueur du bordage de flanc FL1 est débitée dans la partie de bois située entre la moelle et la périphérie du tronc tandis que le bordage de flanc FL2 montre un débitage un peu plus proche de la moelle qui dévie sensiblement vers la périphérie du tronc à l'extrémité située du côté avant du chaland (tronçon T8/9). La forme définitive des bordés de flanc en place contre les bouchains nous montre, en revanche, un profil arqué (pl. VIII), si bien que l'on peut en déduire que ces pièces, une fois délinées au sein des demi-billes de sapin, ont dû être cintrées, comme les bordages de la sole, pour atteindre la forme fuselée caractéristique du chaland.

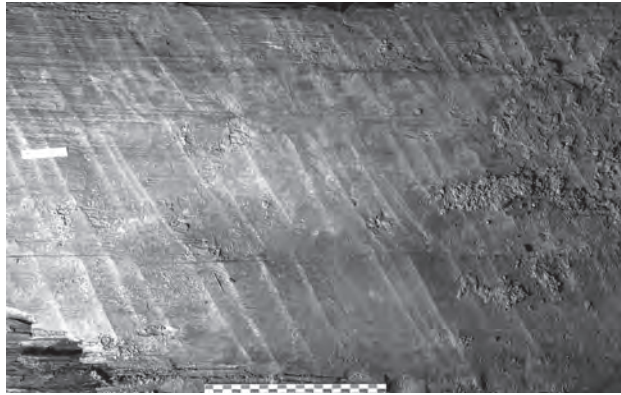


L'existence des bordages secondaires comme rallonges des bordages principaux trouve probablement sa justification dans la disponibilité de la matière première. Les sapins sont des arbres atteignant souvent 40 m de hauteur, si bien que, pour les besoins de construction d'une telle embarcation, des grumes de 30 m de longueur pouvaient fort probablement être taillées dans la masse afin d'obtenir des planches suivant l'angle de levée désiré puis ployées de bout en bout. Pour le chaland *Arles-Rhône 3*, le bois disponible ne présentait peut-être pas la longueur nécessaire pour assurer l'élaboration de la levée de proue. Ainsi, la rallonge des bordés de flancs par des bordages de flancs secondaires semble répondre aux contraintes techniques, économiques et environnementales de la réalisation des extrémités du chaland. L'observation des bordés de flancs et, particulièrement, la découverte de traces de pourriture ont révélé la présence d'un champignon s'étant développé pendant la période de construction ou de navigation du chaland (pourriture cubique ressemblant à du bois carbonisé, *supra* p. 155-157 et fig. 236). Celui-ci est responsable de la détérioration du bois et, notamment, de fissures profondes relevées en diverses parties du bordé (fig. 237) ainsi que de perforations découvertes à la proue de chaque côté du chaland, sur FL2 et FL5 (fig. 238). Celles-ci, pour la plupart, ne sont pas colmatées et les bordés devaient être très perméables à l'eau induisant de très probables infiltrations, ce qui a dû fortement fragiliser le bateau lors de la navigation et participer peut-être à son naufrage (*infra*, p. 264-265). D'autres parties dégradées, en revanche, ont été soit colmatées par de la poix (ex. de fissure radiale longitudinale de FL1 à la proue), soit réparées à l'aide de planches de bois similaire (*supra*, p. 151-153). Celles-ci ont été appliquées sous forme de patch sur les faces externes et internes des bordages de flanc ou posées sur leurs parties supérieures, en remplacement des portions de bois putréfiées (fig. 236). Comme les bordages de flanc, ces planches de réparation ont été débitées dans le bois de grandes billes de sapin ou d'épicéa sur quartier ou faux quartier. Non soumises à l'analyse dendrochronologique, nous ne pouvons pas donner de précision quant à la date de mise en place de ces pièces. Sur l'épave *Ep. 4* de Lyon Saint-Georges (Guyon 2010, p. 76), les planches en partie conservées, placées sur la face supérieure du bordé, dont une est en bois de sapin, pourraient s'apparenter aux planches de réparation d'*Arles-Rhône 3*.

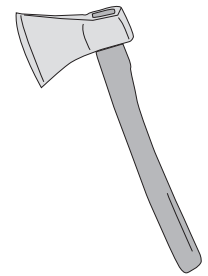
**Fig. 237 :** Fissures profondes non colmatées du bordage de flanc FL2, vu en section, à l'avant du chaland (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

**Fig. 236** (en haut) : Traces de pourriture encore visibles autour d'un patch de réparation du bordé de flanc bâbord FL1 dans sa partie centrale. Vues de la face externe du bordé, à droite, et en section transversale, à gauche (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

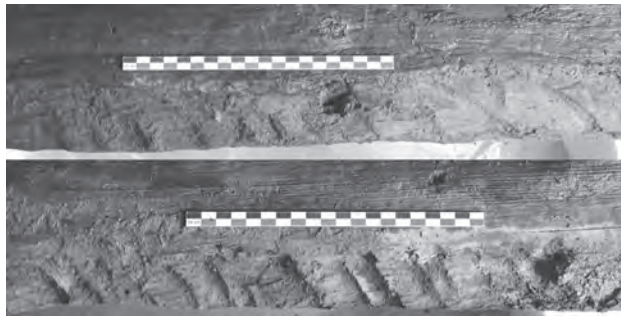
**Fig. 238** (en bas) : Traces de pourriture liées à une perforation du bordé tribord avant, vue de la face externe de FL5 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



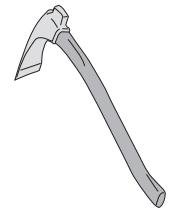
**Fig. 239 :** Traces de hache à large tranchant formant plusieurs bandes sur la face interne du bordage de flanc FL1 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 240 :** Hache à large tranchant (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).



**Fig. 241 :** Traces de façonnage du biseau interne à la base du bordage de flanc FL1 à l'aide d'une herminette à tranchant plan (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 242 :** Herminette à tranchant plat (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).

### Traces d'outils

De nombreuses traces de hache à large tranchant, d'au moins 13,7 à 17,7 cm de largeur, couvrent les faces internes et externes des bordés. Très bien conservées sous les épaisses couches de poix recouvrant l'intérieur (fig. 239 et 240), érodées et seulement visibles sur les faces externes partiellement recouvertes de poix, elles couvrent toute la largeur et toute la longueur des pièces, comme cela a pu être constaté sur les épaves *Ep. 4* et *Ep. 7* de Lyon Saint-Georges dont les bordés de flanc ont conservé de nombreuses traces similaires (Guyon 2010, p. 80, 81, 92, 94). Elles forment des rangées horizontales chevauchantes au nombre de trois à cinq réparties sur toute la hauteur des bordés et aux modifications d'orientation fréquentes, marquant les changements successifs du sens de découpe. Portant les mêmes traces, les cans supérieurs des bordages de flanc principaux et secondaires (FL1 et FL5 à l'avant) ainsi que les cans inférieurs des planches de réparation des bordés (P16 sur FL1 et P15 sur FL2 à l'avant, P4 sur FL2 à l'arrière) ont également été débités à la hache à large tranchant.

À la base de la face interne des bordages de flanc, le biseau pratiqué pour l'insertion du matériau d'étanchéité entre le bordé et le bouchain est taillé grossièrement (fig. 241). Les traces de cet outil, tantôt droites tantôt courbes, caractérisées par une bande de lignes obliques en forme de V aux forts dénivelés (1,3 cm de profondeur maximum relevé sur FL2/T8), pourraient montrer le travail de deux types d'outils qu'il est difficile de distinguer. L'alignement oblique des traces représente une belle signature de l'utilisation d'une hache qui taille dans le plan vertical. Mais les forts dénivelés sont généralement le résultat du travail avec une herminette qui taille dans le plan horizontal ou vertical, parallèlement aux fibres (fig. 242). Ce biseau aura donc été taillé à la suite du façonnage des faces internes, plus vraisemblablement avec une herminette à tranchant plat, le bordage posé à plat, plutôt qu'avec une hache, le bordage placé de champ. Des empreintes similaires formant de profondes entailles en lignes obliques ont été relevées à la base du bordé de flanc en demi-tronc de l'épave *Ep. 7* ainsi que sur le can biseauté d'un bordage de bouchain

de l'épave *Ep. 3* de Lyon Saint-Georges pour l'aménagement d'un biseau destiné à recevoir le matériau d'étanchéité (Guyon 2010, p. 60-61, fig. 31-5, p. 92, 94, fig. 60-3). Ces traces, assez proches de celles observées sur *Arles-Rhône 3*, ont été attribuées au maniement d'une herminette à tranchant concave, qui travaille dans le plan horizontal, ce qui conforte notre hypothèse de l'utilisation de ce type d'outil.

Les plats-bords, enfin, localisés à l'avant et à l'arrière de l'embarcation au sommet des bordés, se présentent sous la forme de pièces de section trapézoïdale débités dans le bois de cœur de chêne caducifolié sur quartier et faux quartier. Leurs longueurs de 4 à 15,5 m et leur type de débitage indiquent qu'ils ont été façonnés à partir de grandes billes de bois, peut-être dans les chutes des bordages de sole de dimensions analogues. Le choix de cette essence résistante et durable ainsi que la qualité des débits observés se justifient par l'emplacement de ces pièces de bois destinées à protéger le sommet des flancs des manœuvres de navigation répétées, concentrées à la proue et à la poupe du chaland, comme le montre le sommet de ces plats-bords arrondi par l'érosion (fig. 93 et 274). Des traces d'outils, visibles sur toute la largeur du can inférieur contre le bordage de flanc, identiques à celles relevées sur les cans des bordages de sole et de flanc ou des planches de réparation du bordé, montrent qu'ils ont été façonnés à l'aide d'une hache à large tranchant.

### *Les tasseaux*

De section carrée à trapézoïdale et de petites dimensions, les tasseaux sont façonnés dans de longues billes de bois de chêne caducifolié. Leurs sections montrent un débit constant proche de la moelle d'un bout à l'autre de la pièce (Ta4) ou variant de trajectoire et passant tantôt en plein cœur tantôt plus en marge mais toujours proche de la moelle (Ta3). Le tasseau surélevant le bouchain bâbord (Ta1) a été débité sur quartier dans le bois d'un arbre d'au moins 20 cm de diamètre. Comme pour les plats-bords auxquels ils s'apparentent en termes de mise en œuvre, leurs longueurs de 5 m à 15,5 m et leur type de débitage indiquent qu'ils ont été extraits de grandes billes de bois, peut-être celles qui ont servi à façonner les bordages de sole ou les bouchains de mêmes dimensions. L'essence de bois ainsi que la qualité du mode de débitage sélectionné pour les tasseaux montrent l'importance accordée à la résistance de ces pièces d'architecture qui reposent sur les bouchains et reçoivent les extrémités des traverses au sein du caisson.

Ils ont été façonnés à l'aide d'une hache à large tranchant ayant laissé des traces visibles surtout sur les cans protégés contre le bordé de flanc ou le bouchain et/ou à l'aide d'une scie dont les traces sont perceptibles sur un des cans du tasseau Ta3 à l'avant du bateau.

### *Le banc d'étambrai*

Le banc d'étambrai se présente sous la forme d'un madrier de section rectangulaire, équarri sur quartier et à cœur dans le bois d'un demi-tronc de chêne caducifolié (fig. 243) dont le tronc devait mesurer au moins 46,2 cm de diamètre<sup>87</sup>. D'après les traces d'outils, peu nombreuses, seulement visibles sur la face verticale arrière, il a été façonné, comme les varangues, à l'aide d'une hache à large tranchant. Comme pour la varangue-emplature (*supra*), les mortaises ont été réalisées à l'aide d'un ciseau droit de 2,5 cm de largeur.

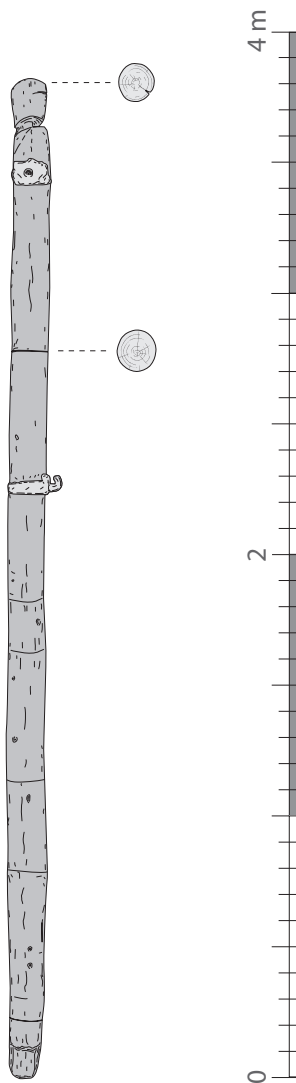
Le banc d'étambrai a été très fragilisé par l'apparition de deux fentes longitudinales contemporaines durant la période de navigation du bateau. Une fente de bout, tangentielle, entaille profondément la moitié de l'épaisseur et s'étend sur presque toute la longueur de la pièce. L'autre, une fente de cœur, est moins prononcée mais s'est élargie suite à la découverte et au relevage du chaland. Ces fentes de dessiccation du bois, certainement déjà présentes lors de la construction du bateau (fig. 168), ont dû se creuser à cause des opérations de halage et des contraintes mécaniques exercées sur cette partie du chaland. Le banc d'étambrai, ainsi endommagé, était soutenu à bâbord par une épontille ne faisant pas partie de la construction d'origine. Celle-ci était positionnée en arrière, au droit de la fente de bout, la plus dangereuse, afin de consolider l'ensemble et pour éviter qu'il ne se fende davantage. Cette pièce se présente sous la forme d'une poutre équarrie assimilée à un segment de traverse remployée. En bois de sapin équarri à cœur, sa facture rejoint de manière évidente celle des traverses du caisson (*infra*).

Les courbes destinées à maintenir le banc d'étambrai contre les flancs s'apparentent, dans leur forme et leur technique de mise en œuvre, aux courbes de la charpente transversale (*supra*) à ceci près que leur position est inversée. En effet, la partie verticale des courbes correspond à l'extrémité la plus courte débitée dans une branche, comme le montrent les débitages en plein cœur du bois des deux pièces, tandis que la partie horizontale correspond à l'extrémité la plus longue débitée dans le tronc de l'arbre, l'une sur quartier d'un demi-tronc (Bar 1 à bâbord), l'autre sur dosse (Bar 2 à tribord). Toujours

87. Non soumis à l'analyse dendrochronologique, nous ne pouvons pas renseigner davantage la pièce de bois qui a servi à façonner le banc d'étambrai.



Fig. 243 : Banc d'étambrai débité dans un demi-tronc de chêne vu dans sa section transversale bâbord (L. Roux, O'Can-Ipsa Facto, MdAa/CG13).



Relevé M. El Amouri  
DAO M. El Amouri, P. Poveda



Fig. 244 : Restitution du mode de débitage du mât de halage dans un tronc de frêne.

pour les mêmes difficultés de disponibilité de la matière première (*supra*, les courbes), les parties les plus longues, façonnées dans les parties de troncs, viennent soutenir le banc sur la plus grande longueur contre un affaissement de la structure au fond de la sole et les parties les plus courtes viennent s'adosser contre la hauteur de bordé restante.

Les pièces de support longitudinales (S1 à bâbord et S2 à tribord), destinées à soutenir le banc par le dessous, se présentent sous la forme de planches épaisses équarries sur quartier et faux quartier dans le bois de cœur de grandes billes de chêne caducifolié.

La cale utilisée pour le soutien du banc d'étambrai sur la pièce de support longitudinal tribord, en sapin débité sur dosse, provient probablement d'une chute de bois, peut-être une planche du caisson.

Comme le traitement de la structure primaire du chaland, l'ensemble des pièces constituant le banc d'étambrai destiné à recevoir la mâture est confectionné dans une essence de choix, le chêne caducifolié, et selon un mode de débitage soigné, susceptible de pouvoir résister longtemps aux forces et aux contraintes mécaniques exercées par la traction du chaland et concentrées autour du mât de halage et de son banc.

#### Les pièces liées à la propulsion et à la direction

##### Le mât de halage

Le mât de halage est façonné dans une grume de frêne commun de 14,5 cm de diamètre maximal pour une longueur de plus de 3,70 m, issue d'un arbre âgé de 50 ans environ lors de son abattage (fig. 244). Cette essence ligneuse a été choisie sans aucun doute pour la qualité recherchée de ses fûts hauts et bien droits (Lieutaghi 2004, p. 610). Il s'agit d'un bois léger (0,6-0,65 en moyenne) recherché pour ses qualités de bonne flexibilité, de très grande souplesse et de bonne résistance aux chocs et aux vibrations (*ibid.*, p. 617-624 ; Rameau, Mansion, Dume 1989, p. 461 ; Venet 1987). En construction traditionnelle, la légèreté et l'élasticité sont les garants d'une bonne mâture pour éviter les ruptures de mât (Ballu 2000, p. 87). Le frêne semble donc avoir été spécifiquement choisi pour la fonction de ce mât destiné à recevoir les forces de halage du bateau depuis la berge. Cependant, assez peu durable en milieu humide (*ibid.*), il est rejeté en charpenterie navale (Rival 1991, p. 60, 67). Ainsi, les mâts de bateau connus pour la navigation sur le Rhône à l'époque médiévale étaient le plus souvent réalisés en bois de chêne, parfois en sapin (Rossiaud 2002b, p. 22), et, pour l'époque moderne, ce sont les grands résineux à croissance très lente du nord de l'Europe, des Alpes ou des Pyrénées (pins et sapins) qui fournissent le bois de qualité recherché pour la mâture (Ballu 2000,

p. 87). L'hypothèse d'une protection, aujourd'hui disparue, sous la forme d'une rondelle de cuir par exemple, fixée par les clous encore fichés au sommet du mât, destinée à le protéger des infiltrations de pluie (*infra*, p. 210 et fig. 268), semble être ainsi confortée par la vulnérabilité du frêne.

Ayant conservé son écorce, sous laquelle des galeries de scolytes<sup>88</sup> sont encore visibles (fig. 245), la grume est simplement épannelée aux deux extrémités. Les traces d'outil très bien conservées à la base du fût, sur 50 cm de hauteur au-dessus du tenon, et à sa tête, au-dessus de la gorge, indiquent le travail d'une herminette à tranchant plat et ébréché (fig. 246 et 247). Le tenon a été sculpté à l'aide d'une herminette du même type munie d'une lame de 3,9 cm de largeur minimum (fig. 248). En plus de celles laissées par les outils, de nombreuses traces trahissent l'usure du bois liée au passage et aux frottements des divers cordages utiles à la traction du chaland (*infra*, p. 209).

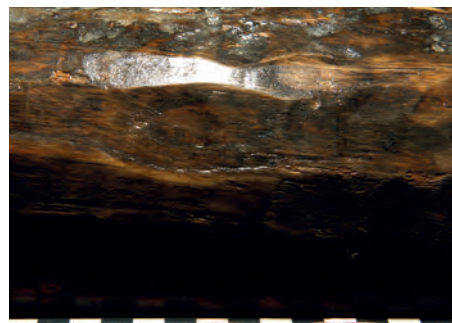


Fig. 246 : Surface du mât de halage épannelée à l'herminette à tranchant plat (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

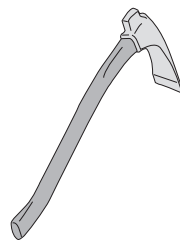


Fig. 247 : Herminette à tranchant plat (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).



Fig. 245 : Écorce résiduelle et galeries de scolythes (à gauche) visibles sur la surface du mât de halage (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

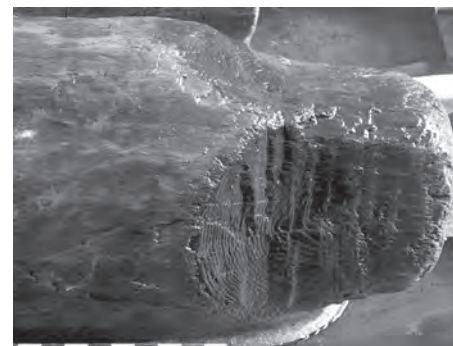


Fig. 248 : Traces de façonnage à l'herminette à tranchant plat sur le tenon du mât de halage (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

### La rame-gouvernail

La pelle de gouverne est une pièce monoxyde sculptée dans le bois de cœur d'une bille de chêne caducifolié (fig. 269 et 286). Sa section montre un débit variant faiblement d'un bout à l'autre de la pièce, la moelle légèrement désaxée à l'extrémité de la pelle, plus en périphérie à l'extrémité du manche. L'étude de cette pièce ayant eu lieu après sa restauration, aucune analyse dendrochronologique n'a pu être entreprise et la pièce n'ayant conservé aucune trace d'outil, il n'est pas possible de renseigner davantage le mode de façonnage mis en œuvre. Comme pour la structure primaire du chaland et les pièces constitutives du banc d'étambrai, l'essence et le type de débitage ont été particulièrement sélectionnés afin de procurer à la pelle de gouverne les qualités nécessaires pour résister aux forces et aux contraintes mécaniques liées à la direction du chaland.

### La levée avant

L'extrémité avant du chaland, recouverte de poix, n'ayant pas été démontée ni découpée, il n'a pas été possible de soumettre à l'analyse dendromorphologique et dendrochronologique la pièce pyramidale ainsi que les planches transversales situées sur la sole. Les caractéristiques dendrologiques de ces bois restent donc inconnus.

### Les aménagements internes du caisson et de la levée arrière

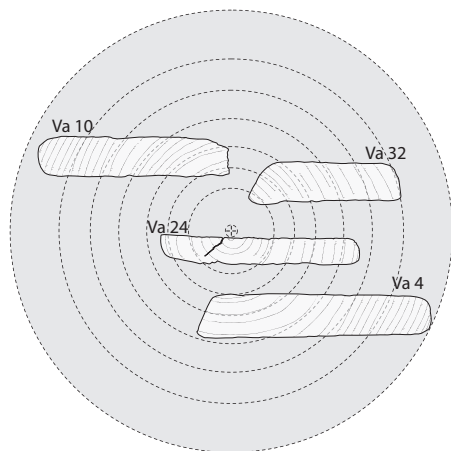
#### Les planches de vaigrage, de protection de la sole et les cloisons

- Mode de débitage

Les cloisons et les planches de vaigrage, auxquelles s'associent les planches de protection de la sole situées à la poupe, résultent indifféremment du sciage en planches de bois de sapin, d'épicéa ou de pin de type sylvestre débitées à cœur, sur quartier, faux quartier ou fausse dosse, plus ou moins éloigné de la moelle (fig. 249).

D'après les résultats de l'analyse dendrochronologique, certaines planches de vaigrage du caisson sont issues d'un même arbre. Un premier lot concerne les planches Va4, Va10, Va20, Va24 et Va32 débitées sur quartier et sur fausse dosse dans une bille de bois de sapin d'un diamètre minimum de 48,2 cm et âgé d'au moins 162 ans (fig. 249). Un second lot est constitué de deux autres planches distinguées par les numéros Va1 et Va21. Ces

88. Insectes coléoptères creusant sous l'écorce des arbres des systèmes de galeries maternelles et larvaires caractéristiques de l'espèce (CNRTL 2013).



0 15 cm  
 Relevé M. El Amouri, S. Greck  
 DAO M. El Amouri, P. Poveda  
 Ipsos Facto  
 Centre d'Etude et de Recherche  
 Technologie • Océanographie

**Fig. 249 :** Restitution du mode de débitage des planches de vaigrage issues d'un même tronç de sapin.

deux éléments, découverts côte à côte au sein du caisson arrière, proviennent très certainement de la même planche. Un dernier lot est formé par deux planches Va7 et Vai4<sup>89</sup> débitées sur faux quartier dans une bille de bois d'épicéa d'un diamètre minimum de 33,1 cm et âgé d'au moins 215 ans. Toutes les pièces d'aménagement interne n'ayant pas été soumises à l'analyse dendrochronologique, ces paramètres ont été choisis pour illustrer le mode de débitage de ces éléments, défini par une grande variabilité de la position des pièces au sein des billes de bois. Ce caractère montre à l'évidence que les charpentiers ont cherché à exploiter au maximum le rendement du sciage des grumes au détriment de la qualité de façonnage des planches de vaigrage du caisson. En effet, la rétractation du bois étant de plus en plus forte au fur et à mesure que l'on se rapproche de la périphérie de la bille, les planches débitées sur fausse dosse ont tendance, au séchage, à tirer à cœur en se cintrant (Rival 1991, p. 188).

En plus de l'utilisation indifférenciée de plusieurs types d'essences résineuses et de différents types de débitage, un certain nombre d'indices montre qu'une grande partie du plancher gisant au fond de l'épave semble constituée de planches remployées. Ainsi, l'observation de certaines planches a révélé la présence d'un clou rabattu sur Va10, de chanfreins ou de chevilles sciées non fonctionnels sur Va13 (Greck, Guibal 2011, p. 160-162) ou encore d'une ferrure endommagée sur Va32. Une planche en particulier, la vaigre Va9, est un exemple édifiant de ce remploi constant des aménagements internes du chaland. Cette planche, débitée sur fausse dosse dans le bois d'un sapin, est aussi longue que le caisson au fond et au centre duquel elle est placée (fig. 199). Pourvue d'orifices tout le long d'un de ses bords, elle semble provenir de la réfection d'une cloison longitudinale interne. Par ailleurs, parmi les cloisons, confectionnées en majorité en bois de sapin, une seule d'entre elle, la cloison inférieure de la fermeture avant du caisson (C13.1), est en bois de chêne caducifolié débitée sur faux quartier. Elle présente des traces de débitage grossier à une extrémité et des traces de découpe profondes du can inférieur, recouvertes de poix. De toute évidence, le choix de cette essence est davantage lié à l'utilisation opportuniste d'une pièce remployée, disponible et adaptée aux dimensions recherchées, qu'à ses qualités dendrologiques particulières.

La morphologie des planches de protection de la sole à l'arrière du bateau indique qu'elles ont toutes été découpées et ajustées aux espaces compris entre les varangues. Une cale utilisée pour l'ajustage de la planche de doublage Va16 contre la courbe C3 (fig. 170) a été débitée dans un bois de pin de type sylvestre, comme la planche, si bien qu'il est envisageable qu'elles aient été réalisées en même temps, voire à partir de la même pièce de bois d'origine. Un copeau de bois de 6 par 12 cm de côtés, défini par deux lamelles très fines de 1 à 4 mm d'épaisseur, débitées radialement et encore liées entre elles par quelques fibres ligneuses, a été prélevé sous le vaigrage, entre les varangues M97 et M98. Issu d'un déchet de taille d'une pièce en bois de sapin, il a été obtenu à l'aide d'un outil à tranchant droit, servant à dresser ou dégrossir les surfaces du bois, comme l'indiquent les traces laissées par la lame. Il est probablement le résultat de la mise en place des planches de protection de la sole ou du vaigrage amovible en bois de sapin situés dans cette partie du bateau ; ces planches remployées ont dû subir un réaménagement pour s'adapter à leur nouvelle fonction, ce qui a généré la production de copeaux de bois. Leur présence sous le vaigrage illustre le travail des bateliers (ou des charpentiers) au sein même du bateau.

Ces différentes observations, confortées par l'hétérogénéité des taxons résineux identifiés au sein de ces planches d'aménagement interne, nous montrent que l'ensemble du plancher gisant au fond de l'épave semble constitué de planches de qualité plus ou moins bonne, sélectionnées de manière opportuniste selon leur disponibilité sur les lieux de halte du chaland, constituant ainsi une réserve de bois d'œuvre disponible, et remployées au sein de l'embarcation au gré des besoins. Le choix d'essences résineuses de moindre qualité et la variabilité des débits observés sur les sections de ces planches indiquent un souci d'économie de la matière première et du bois d'œuvre accordé à ces aménagements internes voués à être souvent renouvelés en fonction de leur usure afin de protéger le fond de l'embarcation de la lourde cargaison de pierres ou des activités de vie à bord.

#### • Traces d'outils

Sur les planches, deux types de traces de façonnage sont bien visibles sur les faces inférieures et externes, épargnées par l'usure de la cargaison de pierre. Il s'agit, d'une part, de traces de scie de long (fig. 250 et 251) et, d'autre part, de traces de hache à large tranchant (9 cm minimum pour Va6 ; 14,6 cm pour C11), obliques ou perpendiculaires à l'axe longitudinal de la planche, disposées selon deux, trois ou quatre bandes longitudinales (fig. 252 et 253). Les deux types de façonnage se distinguent, une partie des planches étant sciée, une autre étant façonnée à la hache. Les deux types de traces peuvent aussi coexister

89. Ce type de nomenclature (Vai) était utilisé pour les planches de vaigrage du caisson lors de la première expertise en 2005. La pièce Vai4 n'a pas d'équivalent dans la nomenclature mise en place à partir de 2006 (Va) car elle avait été démontée en 2005. Elle se situait au sein du caisson arrière immédiatement à bâbord de la vaigre Va4 nommée Vai5 en 2005 (pl. III ; Greck 2005, fig. 11 ; Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011, p. 180).

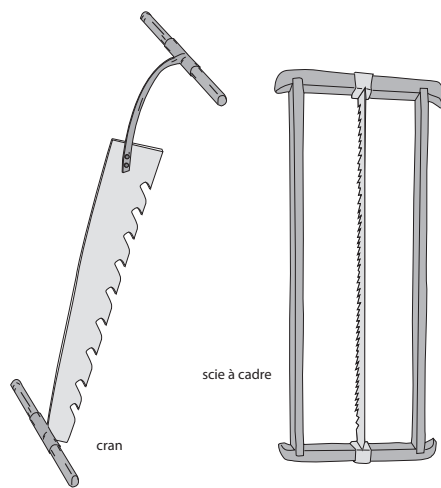
sur certaines planches. La cloison interne du caisson C11, par exemple, a été sciée sur sa face externe et taillée à la hache sur l'autre face (fig. 250 et 252). Une hache du même type a servi à façonner les cans recouverts par des traces obliques (Va8) ou perpendiculaires à l'axe (C12). Si un puits ou une fosse creusés sous la bille à scier étaient nécessaires pour débiter les bordés (*supra*), un simple système de chevalets ou de tréteaux pouvait être utilisé pour les planches du caisson, moins lourdes et de dimensions plus réduites, sur lequel elles pouvaient facilement être hissées, comme le montre l'iconographie antique (Espérandieu 1931, n° 4702 : scène de sciage de long, stèle de Deneuvre, Musée Lorrain, Nancy).

Dans les orifices des planches de cloison, en forme d'œil, des traces de gouge (de 3,1 cm de largeur pour Va9) ont été relevées. Les facettes concaves façonnées par la lame sont lisses tandis que les bords sont marqués par des petites saillies de fibres de bois arrachées (fig. 254 et 255). Les orifices de forme carrée, quant à eux, ont été réalisés à l'aide d'un ciseau droit (lame de 2,2 cm de largeur pour C11, fig. 254 et 256) qui ont laissé les mêmes saillies de fibres arrachées dans les angles.

Les graffites (*supra*, p. 170), enfin, se présentent sous la forme d'incisions très fines probablement réalisées au couteau, comme le suggèrent, par exemple, les traits finement entaillés dans le bois, sur 1,5 mm de profondeur maximum, formant l'inscription visible sur une face de la cloison C11 (fig. 257 et 258).



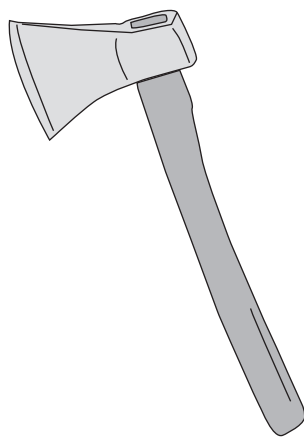
**Fig. 250 :** Traces de scie de long sur la face externe de la cloison bâbord C11 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 251 :** Scies de long (dessins M. El Amouri, Ipso Facto).



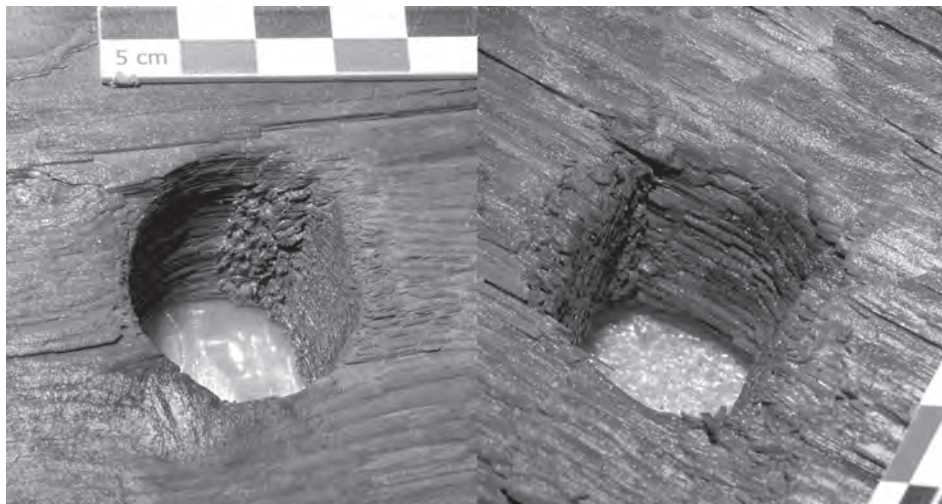
**Fig. 252 :** Traces de hache à large tranchant sur la face interne de la cloison bâbord C11 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



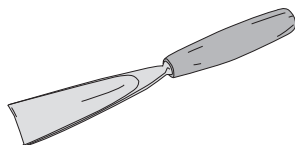
**Fig. 253 :** Hache à large tranchant (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).



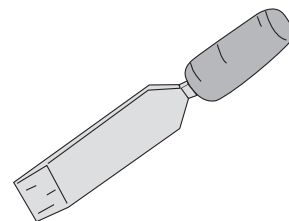
**Fig. 254:** Traces de façonnage d'un orifice en forme d'œil à la gouge sur la cloison tribord Cl2, à gauche, et d'un orifice de forme carrée au ciseau droit sur la cloison bâbord Cl1, à droite (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



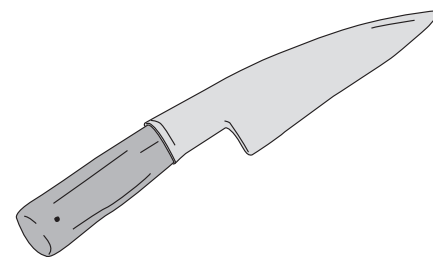
**Fig. 255** (à gauche): Gouge (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).



**Fig. 256** (à droite): Ciseau droit (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).



**Fig. 257:** Traces de façonnage d'une inscription au couteau sur une face de la cloison Cl1 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 258:** Couteau (dessin M. El Amouri, Ipso Facto).

### Les traverses du caisson

- Mode de débitage

Les traverses, poutres de section carrée, proviennent de bois de sapin, essentiellement, et d'épicéa. Elles sont, en grande majorité, équarries sur brin, dans des billes de bois de bout extraites de troncs d'arbres jeunes, âgés au minimum de 23 à 67 ans pour les individus soumis à l'analyse dendrochronologique. Ne sachant pas, d'après les résultats de cette dernière, si plusieurs pièces étaient débitées à partir d'un même arbre, il est difficile d'avancer le nombre d'arbres abattus pour façonner les traverses du caisson. Le diamètre d'origine des arbres ne devait guère être beaucoup plus important que la largeur des poutres, enregistrée entre 10 et 16 cm, et le chanfrein présent sur certaines pièces correspond à la périphérie de la grume écorcée ou non (fig. 259). Leur section présente, la plupart



Fig. 259: Chanfrein de la traverse Tr111 formé de la périphérie non écorcée de la grume d'origine (T. Seguin, O'Can-Ipsos Facto, MdAa/CG13).

du temps, un même débit observé aux deux extrémités. Celui-ci peut cependant varier suivant que l'axe de la moelle suive une trajectoire passant du centre vers l'extérieur de la pièce. Certaines traverses sont équarries à une extrémité seulement, le côté le plus large correspondant à la base du tronc. L'autre extrémité, plus fine, correspond à la cime simplement écorcée (fig. 260).

Les traverses de dimensions plus petites, situées proches des cloisons internes, en plus des traverses principales, montrent des débits différents. Certaines sont débitées sur dosse ou quartier au sein de demi-troncs, d'autres proviennent de l'équarrissage de quarts de tronc sur faux quartier si bien qu'une mise en œuvre à partir de pièces remployées semble prévaloir.

Si la sélection d'essences résineuses pour la confection de ces pièces suit la même idée d'économie du bois que le vaigrage, en revanche, le choix de ce type de débit en plein cœur du bois, qui améliore la flexibilité et la résistance des pièces, est à mettre en relation avec la fonction particulière du lit de traverses destiné à soutenir le plancher de cale et à protéger la charpente transversale de la coque.

• Traces d'outils

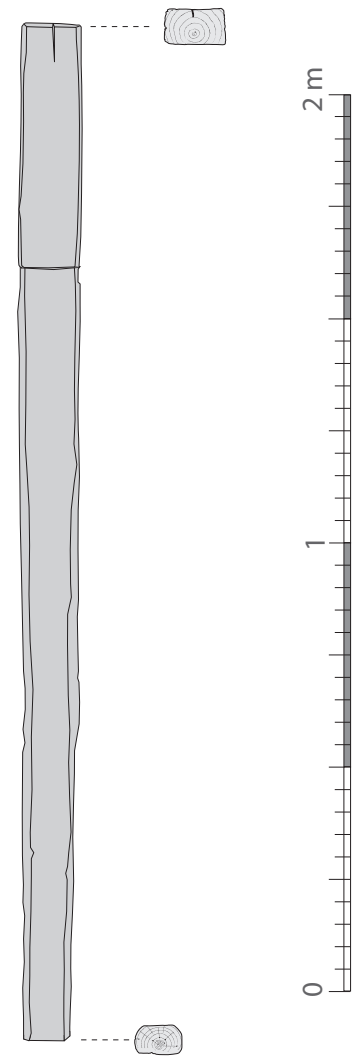
Protégées par la couverture de planches de vaigrage du caisson, toutes les traverses ont conservé de nombreuses traces de façonnage. Ainsi, elles ont été débitées à la hache à large tranchant (jusqu'à 9 cm de largeur) ayant laissé des traces obliques ou perpendiculaires à l'axe longitudinal, disposées sur une bande sur les faces latérales et sur une ou deux bandes, en épi, sur les faces supérieures et inférieures. Une herminette et une scie ont pu, localement, être utilisées à la rencontre des nœuds.

**Les longerons du caisson**

Les longerons se présentent sous la forme de très fines planches peu larges issues de bille de bois de grandes dimensions. Ils sont réalisés dans le bois de trois essences : le chêne caducifolié est débité majoritairement sur quartier et faux quartier ; les pièces de sapin et d'épicéa montrent des débits plus variés, comme les planches de vaigrage. Cette grande variabilité de traitement suit l'idée déjà évoquée d'une sélection opportuniste du bois d'œuvre pour les petites pièces qui n'ont pas de fonction capitale au sein de l'architecture du chaland mais qui sont destinés à être calés entre les membrures et les traverses.

**Le barrotage**

Le reste des aménagements internes de la poupe, de même, est façonné dans des types de bois et selon des modes de mise en œuvre très hétérogènes avec, pour les jambettes et la planche-support longitudinale du flanc tribord arrière (P1) qu'elles soutiennent, un mélange d'épicéa débité sur faux quartier ou de chêne caducifolié débité sur quartier. Là encore, ces caractères mettent en évidence une sélection opportuniste du bois pour la confection de ces aménagements, un moindre souci de qualité leur étant réservé.



DAO M. El Amouri, P. Poveda



Fig. 260: Mode de débitage de la traverse Tr111.

## Le taquet

Le taquet découvert sur l'arrière tribord du chaland, fixé contre le bordé de flanc en demi-tronc FL2, est une pièce en bois de chêne caducifolié. Malgré une forte érosion, l'observation de sa dendromorphologie révèle qu'il a été débité à la fourche d'un embranchement. La pièce, ainsi, devait présenter une forme en L plus ou moins ouvert, une partie fixée verticalement contre le bordage de flanc, l'autre partie orientée horizontalement et plus ou moins perpendiculairement vers l'intérieur de l'embarcation.

## Conclusion

À l'issue de cette étude, nous pouvons évaluer la quantité d'arbres nécessaire à la construction de la structure primaire du chaland (sole, bouchain, charpente transversale, bordé, mât), hors caisson et aménagement interne. Elle représente 47 à 73 chênes, 1 à 2 sapins, 1 épicéa et 1 frêne, soit un total de 50 à 77 arbres abattus.

Dans l'ensemble, les caractéristiques de la charpenterie définies sur le chaland *Arles-Rhône 3* montrent une recherche de performance de la part des charpentiers dans la sélection des essences et le débitage des pièces architecturales adaptés à la fonction des pièces choisies. La structure de base est entièrement réalisée en chêne caducifolié (sole, bouchains, charpente transversale), essence résistante et durable également réservée à la confection des pièces ayant pour rôle de supporter des forces ou des frottements importants (varangue-implanture, banc d'étambrai, extrémité de la proue, pelle de gouverne, planches de plat-bord, taquet). Elle s'oppose ainsi aux parties hautes du bordé et aux aménagements internes où se mêlent diverses essences sélectionnées de manière opportuniste, les bois de résineux, essences de moindre qualité recherchées pour leur légèreté, étant majoritaires (sapin essentiellement, épicéa, pin de type sylvestre, chêne caducifolié). Le mât est la seule pièce en bois de frêne, flexible et résistant. Ces essences proviennent toutes du Bassin rhodanien et devaient être acheminées par flottage ou par attelage vers les chantiers navals. Qu'il s'agisse de chênes ou de résineux, les arbres employés à la réalisation du chaland sont majoritairement âgés, pour la plupart matures (chênes âgés au minimum de 32 à 158 ans, sapin au minimum de 160 à 234 ans).

Si la mise en œuvre des bois sur le chaland répond essentiellement à des exigences techniques, les contraintes économiques et environnementales ne sont pas négligeables. Ainsi, les bordés principaux sont taillés dans la masse d'un sapin, ployés pour adopter la forme fuselée caractérisant l'embarcation et rallongés par des bordés secondaires en sapin et en épicéa pour répondre aux contraintes de la réalisation des levées. Les traverses sont équarries dans des billes de bois de brin en épicéa afin de leur procurer flexibilité et résistance. Et si les courbes, taillées dans des embranchements, sont disposées systématiquement avec les parties de branche posées horizontalement, à l'inverse de ce qui peut être observé ailleurs, c'est probablement par manque d'arbres pouvant offrir des branches formant un angle droit suffisamment longues.

Une riche panoplie d'outils de charpentier est identifiée (scies de long, scies égoïnes, haches à large tranchant, herminette à tranchant plat ou concave, ciseau droit, gouge et couteau). Si les travaux de façonnage des grumes de chêne sont réalisés à l'aide de scies de long pour le débitage des planches, l'usage de la hache et de l'herminette reste très important, au détriment de la scie, plus efficace mais moins utilisée, pour la réalisation des plus petites pièces. Si l'usage de la scie est complétement inconnu du façonnage des courbes par exemple, à l'opposé du chaland de Bevaix, on note cependant une certaine recherche de performance dans l'évidage des bouchains mené, en partie au moins, à la scie égoïne, inconnue ailleurs. Mais, d'une manière générale, les charpentiers ont délibérément choisi d'exploiter la matière première selon son plus haut rendement en taillant les planches au plus large possible, malgré le surcroît de temps de travail occasionné, de fait, par le traitement d'une plus grande surface de frottement. En cela, les procédés de mise en œuvre des bois du chaland sont aussi profondément empreints de l'héritage du passé, et notamment de l'âge du Bronze (*infra*).

Aussi, le chaland présente plusieurs caractéristiques attestées pour la charpenterie navale antique. Tout d'abord, les grumes de bois étaient utilisées au maximum de leurs rendement si bien que l'on avait coutume de conserver l'aubier et parfois même l'écorce pour le débitage des différents pièces (Rival 1991, p. 120). Sur *Arles-Rhône 3*, les bordages de sole présentent de grosses portions d'aubier qui démontrent une technique de débitage des grumes de chênes sur plot afin d'offrir un rendement maximum de la matière première au détriment de la qualité des planches. Certaines varangues présentent également de l'aubier et les arêtes arrondies des sections rectangulaires sont formées par l'abrasion de celui-ci. Les courbes montrent le galbe d'origine des branches dans lesquelles un de leurs bras était débité. Le mât a conservé l'écorce sur toute la longueur du fût. Et les traverses témoignent d'un équarrissage grossier sur bois de brin qui permet de

conserver la grosseur naturelle des troncs, ce qui relève particulièrement de la méthode de taille des bois bruts connue dans l'Antiquité (Rival 1991, p. 128). Par ailleurs, parce que les débits sur quartier étaient recherchés pour leur stabilité dimensionnelle au séchage (Rival 1991, p. 122), les pièces constitutives de la sole (bordages et bouchains) sont débitées dans le cœur des grumes. Enfin, les charpentiers antiques avaient recours au cintrage à chaud, technique qui a été développée pour ployer les bordages de sole et former les levées avant et arrière ainsi que pour le ployage des bordages de flanc qui caractérisent l'aspect fuselé du chaland.

De même, *Arles-Rhône 3* relève des caractéristiques de la charpenterie mise en œuvre, ainsi que pour le ployage des bordages de flanc qui caractérisent l'aspect fuselé pour la construction des chalands gallo-romains d'origine européenne. Ainsi, telle que l'étude du chaland de Bevaix et de sa réplique expérimentale (Arnold 1999, p. 157-163) le constate aussi, on note que les planches dans lesquelles les bordages s'inscrivent sont taillées au plus large possible dans une grume ou une demi-grume, ce qui relève de manière caractéristique d'un héritage de la tradition de l'architecture navale datée de l'âge du Bronze. De même, l'observation de la sole du chaland *Arles-Rhône 3* a mis en évidence que, d'une part, le type de débitage des grumes sur plot se faisait aussi au détriment du façonnage des cans où l'aubier est conservé à l'emplacement même des jointures entre les bordages de sole et les bouchains et que, d'autre part, les fentes de dessiccation colmatées à la poix étaient fréquentes au milieu des planches du bordé. Quant aux courbes, elles sont affaiblies par la découpe trop importante de leur coude. Comme pour les chalands de Bevaix et de Lyon Saint-Georges, le débitage des pièces suit sensiblement le même schéma et une même panoplie d'outils est utilisée.

Enfin, le chaland *Arles-Rhône 3* rejoint fidèlement la famille des chalands du groupe Rhône-Saône avec une sole intégralement réalisée en bois de chêne caducifolié, suivant la tradition de confection du fond de ce type d'embarcation, et un bordé en bois de résineux constitué en particulier de deux demi-troncs de sapin. La tradition des bateaux du Rhône construits essentiellement en chêne pour le fond et la membrure et en sapin pour le bordé se perpétuera au Moyen Âge (Rossiaud 2007, p. 205).

## PRINCIPE ET PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION DU CHALAND *ARLES-RHÔNE 3* : UNE CONSTRUCTION « SUR SOLE »

Sabrina MARLIER, Pierre POVEDA

### Définitions des notions de « principe » et de « procédés de construction »<sup>90</sup>

La notion de principe de construction est très étroitement associée au projet architectural ; elle renvoie à la conception architecturale d'ensemble du bateau et à la manière dont la forme et la structure d'une coque se trouvent définies. Il s'agit d'une dimension fondamentale de définition d'une architecture reposant avant tout sur des choix de caractère théorique relevant du savoir technique (géométrie des formes de la coque, valorisation structurale de la charpente transversale ou, à l'inverse, du bordé, ou encore du fond plat...).

La notion de procédés – ou méthodes – de construction relève quant à elle de la pratique constructive et correspond à l'ensemble des moyens techniques mis en œuvre, selon des séquences ordonnées, pour réaliser concrètement la coque du bateau, en fonction d'un principe de construction déterminé. À la différence du principe de construction, les procédés ou méthodes de construction font intervenir principalement des choix d'ordre pratique et matériel résultant d'un savoir-faire technique.

Pour un même principe de construction, il peut exister différentes méthodes de construction. Il est donc important de distinguer ces deux notions.

Dans le cas du chaland *Arles-Rhône 3*, comme dans le cas de l'ensemble de la batellerie fluviale gallo-romaine, la sole, en l'absence de quille, représente la structure déterminante de la coque, à la fois du point de vue de la conception et à la fois du point de vue de la construction (Rieth 2010a, p. 45). On parle alors de construction « sur sole »<sup>91</sup> que Béat Arnold définit de la façon suivante : « le fond plat constitue un tout servant de point de référence à la construction » (Arnold 1992b, p. 62, p. 73 ; 1998, p. 76).

### Rappel du système architectural du chaland *Arles-Rhône 3*

Le système architectural du chaland *Arles-Rhône 3* est caractérisé par une sole et des bordés monoxyles de transition ainsi que, localement, par des bouchains composés.

90. D'après Pomey, Rieth 2005, p. 29 ; Rieth 2007, p. 63-64 ; 2010a, p. 38-39.

91. Qualifiée à l'origine de construction « à fond plat » par É. Rieth (1981), c'est finalement la terminologie de construction « sur sole », davantage en adéquation avec le vocabulaire de la batellerie et introduite par B. Arnold (1992, p. 73 ; 1998), qui a été retenue. Ce dernier a par ailleurs traduit cette notion en anglais par « bottom-based construction » (Arnold 1991). « Bottom-based shipbuilding » est également utilisée (Hocker, Ward (eds.) 2004).

Les virures de sole sont disposées à franc-bord, avec quelques clous transversaux pour la liaison des extrémités des bordages adjacents tandis que les bordages verticaux participant des bouchains composés sont également fixés aux bordages de sole adjacents au moyen de clous transversaux enfoncés depuis l'extérieur. Les bouchains assurent le passage et la liaison du fond plat aux flancs et garantissent, pour les bouchains monoxyles, la rigidité longitudinale de la coque. Cependant, étant donné la faiblesse de l'échantillonnage des bouchains monoxyles, la rigidité longitudinale est surtout renforcée par la présence de bordés de flanc en demi-tronc de sapin surmontés, sur l'avant et sur l'arrière, par un plat-bord. À la sole est associée une membrure composée de varangues plates et de courbes. Les varangues ne sont pas disposées par paire et présentent une maille relativement lâche sur les extrémités arrière et avant et au contraire resserrée dans la partie centrale. Les courbes, dont la fonction essentielle est d'assurer le soutien des flancs avec le fond, pose la question, en raison de leur faible nombre, de la tenue des pièces de flanc en demi-tronc qui sont principalement assemblées aux bouchains et aux tasseaux, au niveau de leur base. L'ensemble de la membrure est fixé à la sole au moyen de clous, essentiellement enfoncés depuis l'intérieur de la coque mais aussi depuis l'extérieur avec les pointes rabattues à angle droit, le plus souvent une fois sur le dos des membrures et une à deux fois sur l'extérieur de la sole. Cet assemblage permet ainsi de fixer non seulement la charpente transversale au bordé mais aussi d'assurer l'assemblage et la cohésion même des bordages de sole et des bouchains entre eux. Aucune serre ne vient renforcer longitudinalement la carène. En revanche, dans le plan transversal, deux barrots supposés sur l'arrière et le banc d'étambrai, sur l'avant, assurent l'écartement des murailles tout en augmentant la résistance de la coque à la pression latérale de l'eau.

### Le principe de construction du chaland *Arles-Rhône 3*<sup>92</sup>

Selon la définition donnée pour le principe de construction, la conception architecturale d'ensemble du chaland *Arles-Rhône 3* s'organise autour de son fond plat : toute l'architecture de sa coque repose ainsi, au niveau de sa conception générale (dimensions et formes) mais aussi au niveau de sa construction, sur la sole.

Ce type de conception se caractérise par une coque bâtie à partir d'un ensemble de virures disposées longitudinalement<sup>93</sup> et à plat, qui représente une unité architecturale cohérente. Dans cette perspective architecturale, le fond et les flancs ne forment pas un ensemble continu, comme dans la construction sur quille, caractéristique de la construction maritime, mais deux ensembles organiquement distincts. La charpente transversale va ainsi acquérir une position centrale au sein de la structure architecturale. En plus d'assurer la cohésion de l'ensemble des bordages de sole et la rigidité transversale de la coque, elle permet également, par l'intermédiaire de ses courbes, de relier les flancs à la sole.

Dans le cas de l'architecture monoxyde-assemblée, à laquelle appartient le chaland *Arles-Rhône 3* (*supra*, p. 110-113), deux autres pièces occupent une position déterminante dans la structure d'ensemble de la sole : ce sont les bordés monoxyles de transition principaux. En plus d'assurer la liaison entre le fond et les flancs et de contribuer à la rigidité longitudinale de la coque, ces éléments participent en effet de façon essentielle à la conception générale de la géométrie de la sole et, plus globalement, à celle de l'ensemble de la coque.

Pour les grands chalands, chaque bouchain ne peut pas être tiré depuis un seul tronc. Deux éléments, voire trois, sont au moins nécessaires pour obtenir des chalands atteignant les 20-30 m (dans le cas du chaland *Arles-Rhône 3* : deux bordés monoxyles associés à trois bouchains composés constituent chaque bouchain d'un bord). Il en résulte un nombre de formes relativement faible pour ces bateaux. Elles sont inhérentes au nombre de bordages par bouchain et permettent d'inscrire le fond dans un polygone simple. Ainsi, selon la typologie établie par B. Arnold, *Arles-Rhône 3* s'inscrit dans le type des embarcations polygonales de type octogonal (Arnold 1992b, p. 74). Parmi les embarcations gallo-romaines de ce type, on compte les barges *Zwammerdam 2* et *Zwammerdam 4* (Pays-Bas, II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> s.) (de Weerd 1988a et b ; Arnold 1992b, p. 74-75). Cependant, la forme des extrémités du chaland *Arles-Rhône 3*, fuselée pour la proue et à seuil étroit pour la poupe, n'est pas une forme recensée dans sa typologie (forme mixte entre la forme 3f pour la proue et la forme 3a pour la poupe) (Arnold 1992b, p. 74) (*infra*, chapitre 9).

Du point de vue conceptuel, également, les bordés de flanc en demi-tronc sont disposés contre le bouchain, de manière à ce que leur bord inférieur vienne recouvrir le can extérieur du bordé monoxyde de transition ou du bordage vertical des bouchains composés, selon le principe de sole « intégrée ». La sole et les bouchains se trouvent ainsi

92. D'après Arnold 1992b ; 1998 ; Rieth 2007, p. 49-76 ; 2010a, p. 41-43.

93. C'est le cas pour le chaland *AR3*, mais dans le cas où les planches ne sont pas délimitées, les virures de la sole peuvent présenter des contours irréguliers et être disposées plus ou moins obliquement (Rieth 2007, p. 64).

« intégrés » entre les deux flancs (Beaudouin 2001, p. 22). Ces derniers, en forme de demi-tronc, agissent par ailleurs, du point de vue structural, comme des raidisseurs longitudinaux et viennent ainsi compenser la faiblesse structurale des bordés monoxyles de transition.

Selon cette conception d'ensemble, la rigidité longitudinale est ici assurée par les bordés monoxyles de transition et les bordés de flanc en demi-tronc ; et la rigidité transversale est assurée par la charpente transversale, ou membrure.

### Les procédés de construction du chaland *Arles-Rhône 3*

Le démontage des courbes et des bordés de flanc en demi-tronc et celui des soles des tronçons relevés de l'épave, à terre lors du chantier de fouille-relevage, puis l'enlèvement des clous de l'ensemble des varangues à l'atelier ARC-Nucléart (Annexe 3, p. 312) ont permis de réaliser un certain nombre d'observations précises, notamment concernant les assemblages. L'ensemble de cette documentation permet de restituer les séquences de construction supposées du bateau.

S'agissant d'une construction « sur sole », le bateau a probablement été construit sur un chantier de madriers ou de traverses<sup>94</sup> suffisamment surélevés afin de pouvoir accéder à l'extérieur de la coque durant les différentes phases de construction et éviter ainsi tout basculement ou retournement de la coque.

Aucune trace archéologique de la présence de petites chevilles de liaison n'ayant été observée pour la fixation des bordages de sole ou des bouchains au chantier, les planches, durant la construction, ont sans doute été bloquées latéralement par un système de cales extérieures afin d'éviter tout déplacement latéral des pièces<sup>95</sup>.

Au regard de l'étude des grands ensembles structurels et des assemblages de l'épave *Arles-Rhône 3*, les séquences proposées pour la construction du chaland sont les suivantes :

1. Mise en place des bordés monoxyles de transition principaux, BM1 et BM2, préfaçonnés mais avec les extrémités non travaillées (pas de découpe d'écart à ce stade de la mise en place du chantier), afin de jouer le rôle de gabarits pour les contours du bateau (fig. 261, séquence 1).
2. Façonnage et mise en place de la virure centrale B1-B5<sup>96</sup> (fig. 261, séquence 2).
3. Façonnage et mise en place du bordage bâbord arrière B3 (fig. 261, séquence 3).
4. En symétrie, façonnage et mise en place du bordage tribord avant B4 (fig. 261, séquence 3).
5. Façonnage et mise en place du bordage tribord arrière B2 (fig. 261, séquence 4).
6. En symétrie, façonnage et mise en place du bordage bâbord avant B8<sup>97</sup> (fig. 261, séquence 4).
7. Écartement des virures pour assurer leur ployage, sur l'avant et sur l'arrière<sup>98</sup> (fig. 261, séquence 5).
8. Ployage de la levée de proue, avec ployage des bordages B8, B5 et B4, jusqu'à atteindre l'angle de relèvement souhaité (fig. 261, séquence 5).
9. En parallèle, ployage de la levée de poupe, avec ployage des bordages B3, B1 et B2, jusqu'à atteindre l'angle de relèvement souhaité (fig. 261, séquence 5).
10. Disposition du matériau d'étanchéité (tissus poissés) entre les cans des virures avant leur réunion ; rapprochement des virures et fixation des bordages B3 et B4, sur l'arrière, au bordage B1 au moyen de clous de liaisons transversaux enfoncés depuis le can externe des bordages B3 et B4 en direction de B1 (fig. 261, séquence 5 et 6).
11. Disposition du matériau d'étanchéité (tissus poissés) entre les cans externes des virures latérales et des bouchains et rapprochement des bordés monoxyles de transition principaux (BM1 et BM2), contre la sole (fig. 261, séquence 5 et 6).
12. Façonnage et mise en place des varangues centrales, depuis M99 sur l'arrière jusqu'à M125 sur l'avant ; fixation de ces membrures à la sole au moyen de clous chassés depuis l'intérieur et l'extérieur de la coque avec les pointes rabattues sur le dos des varangues (le plus souvent une fois) et sur l'extérieur de la sole (une à deux fois) ; fixation des varangues aux bouchains au moyen de clous enfoncés depuis les ressauts des extrémités des varangues avec enfoncement à pointe perdue (le plus souvent) ou à pointe rabattue sur l'extérieur des bouchains ; quelques clous sont aussi enfoncés transversalement depuis l'extérieur du bouchain en direction des membrures (fig. 261, séquence 7).
13. Découpe des écarts sur l'extrémité avant des bouchains BM1 et BM2 (fig. 261, séquence 7).
14. Façonnage et mise en place des bordages latéraux secondaires B6 et B7 au niveau de ces écarts avec façonnage des cans externes des bordages B3 et B4 pour les faire entrer ;

94. Les bateaux ne sont en effet jamais construits à même le sol, même pour les bateaux à fond plat construits « sur sole ». Les madriers en question, ou traverses, sur lesquelles sont disposés les virures longitudinales et les bouchains pour la construction, correspondent, en quelque sorte, aux négatifs des varangues plates (Rieth 2007, p. 66 ; 2010a, p. 43).

95. Contrairement à l'usage de petites chevilles liées à l'assemblage temporaire des bouchains ou des bordages sur un chantier de madriers, le recours à des cales extérieures, pour bloquer les pièces de construction, est un dispositif qui ne laisse aucune trace archéologique. Tel a été le cas, certainement, lors de la construction du chaland d'Yverdon sur lequel aucune trace de ce type de chevillage n'a été observée (Arnold 1999, p. 110). Sur la construction récente d'une restitution d'un chaland gallo-romain, *Abugnata*, ce sont des serre-joints qui ont été utilisés pour maintenir les bouchains en place (observation personnelle lors d'une visite du chantier, en Picardie, en juin 2012). En revanche, sur le chaland gallo-romain de Bevaix, de telles chevilles ont été utilisées pour l'assemblage temporaire des bouchains et des bordages aux madriers du chantier, avant que la cohésion de l'ensemble ne soit assurée par le clouage de la membrure ; ces chevilles étaient disposées sous forme de rangées, perpendiculairement à l'axe longitudinal (Arnold 2011, p. 23).

96. Avec, selon cette hypothèse, une liaison des deux bordages par un ou des clous enfoncé(s) transversalement depuis le can externe de B5 en direction de B1 et un ou plusieurs clous enfoncé(s) depuis le can externe de B1 en direction de B5. Cette supposition n'a cependant pas pu être vérifiée (*supra*, p. 84-85).

97. Avec, selon cette hypothèse, un maintien de l'extrémité arrière de B8 contre le bordage B3 au moyen d'un ou de plusieurs clous enfoncé(s) transversalement depuis le can externe de B8 en direction de B3. Cette supposition n'a cependant pas pu être vérifiée (*supra*, p. 84-85).

98. Le cintrage des planches nécessite en effet qu'elles soient écartées les unes des autres afin de pouvoir passer autour d'elles un cordage qui va permettre, au moyen d'une clé, de les mettre sous tension. Le ployage a probablement été réalisé par cintrage à chaud grâce à un feu entretenu directement sous la zone des planches à ployer, entre deux madriers du chantier, et en les humidifiant régulièrement afin d'éviter qu'elles ne s'embrasent (Arnold 1999, p. 110-117). La séparation des planches permet ainsi également de contrôler l'embrasement instantané et de ne pas réchauffer les bordages déjà ployés. Aucune trace de brûlure n'a cependant été observée sous la coque de l'épave AR3, notamment en avant de l'emplanture de mât où se situe le départ de la levée avant.

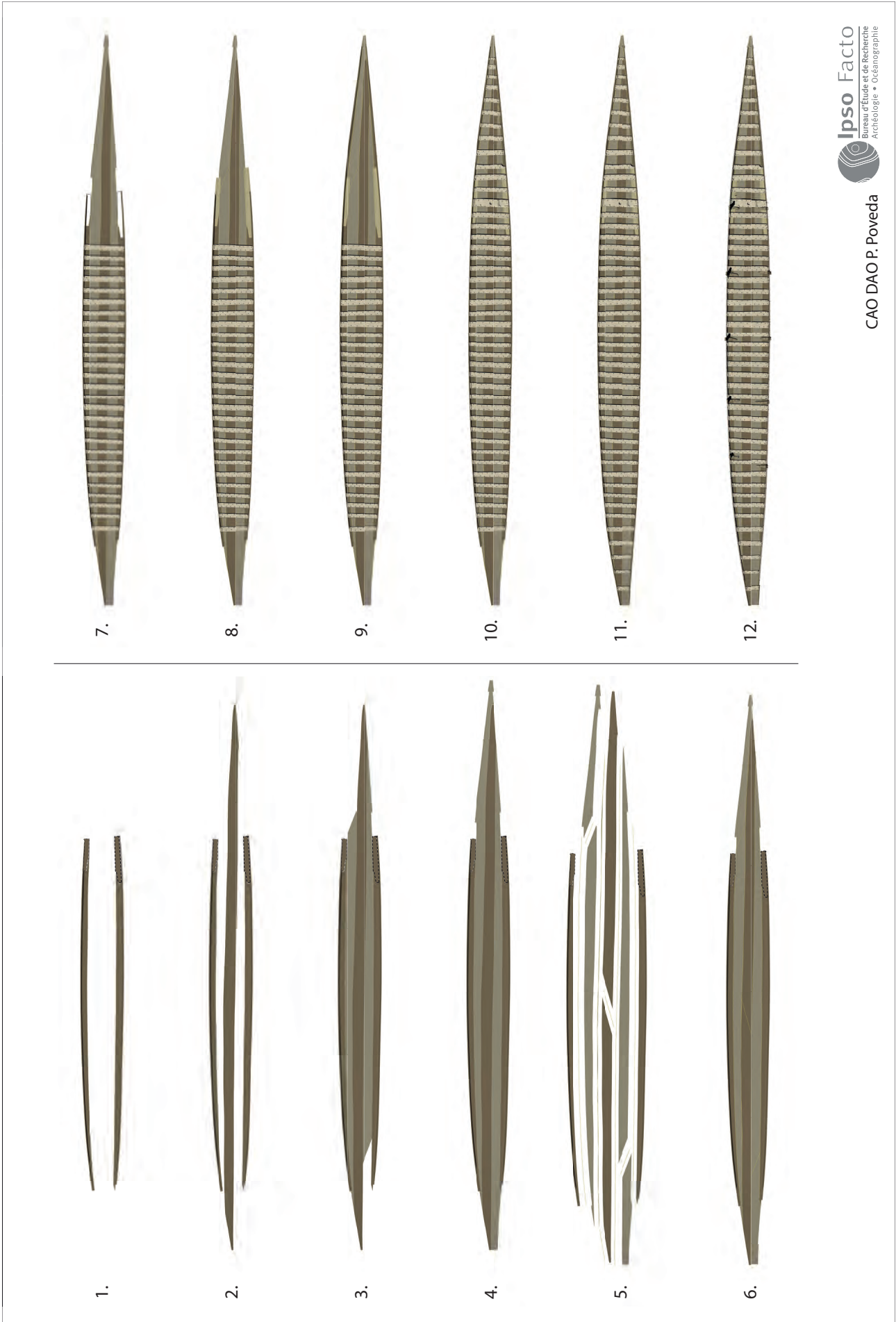


Fig. 261 : Les étapes de construction du chaland Artes-Rhône 3.

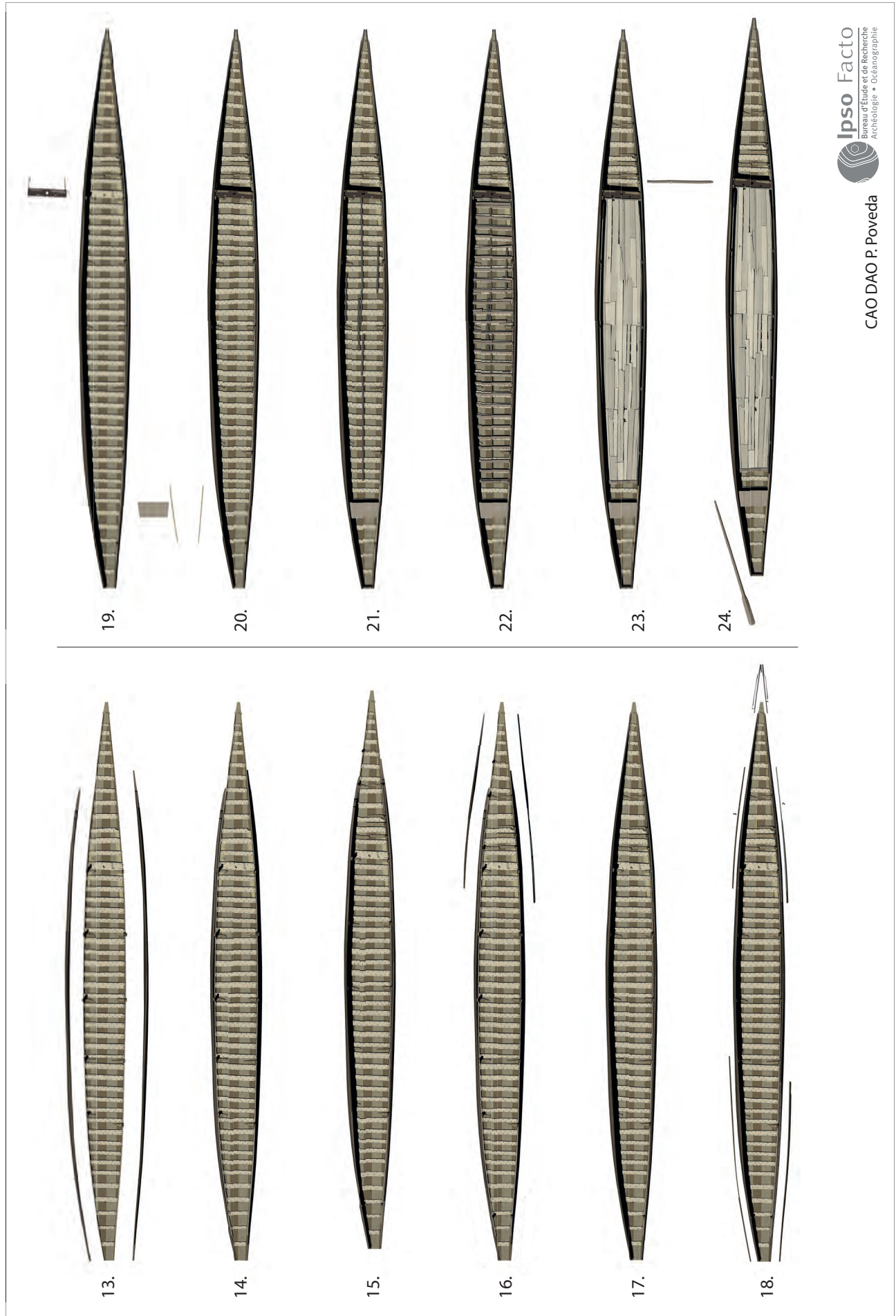


Fig. 261 (suite) : Les étapes de construction du chaland Arles-Rhône 3.



disposition du matériau d'étanchéité (tissus poissés) entre les cans des bordages avant leur réunion ; assemblage de B7 à BM1 au moyen d'un clou vertical enfoncé depuis l'extérieur de B7<sup>99</sup> (fig. 261, séquence 8).

15. Découpe de deux décrochés sur l'avant du bordage B8 pour lui donner une forme en pointe de flèche (fig. 261, séquence 8).

16. Façonnage des bordés monoxyles de transition BM3 et BM4. Disposition du matériau d'étanchéité (tissus poissés) et mise en place, sur l'avant, de BM3 et BM4, de part et d'autre de la coque ; sur l'arrière, découpe d'écarts de ces bouchains pour venir épouser la forme des bordages latéraux secondaires, B7 et B6, et venir à la rencontre des retours verticaux des bouchains BM1 et BM2 avec une liaison des retours verticaux de BM3 et BM4 à B7 et B6 au moyen de clous enfoncés verticalement<sup>100</sup> ; sur l'avant, arrêt du retour vertical de BM4 par une coupe franche qui vient buter contre le décroché taillé sur l'avant du bordage B8 (fig. 261, séquence 9).

17. Façonnage du bordage vertical BV3. Disposition du matériau d'étanchéité (tissus poissés) et mise en place de BV3, sur bâbord avant, dans le prolongement du retour vertical de BM3 avec blocage de l'écart à mi-bois BM3-BV3 par un clou enfoncé verticalement depuis l'intérieur ; assemblage au bordage de sole adjacent au moyen de clous enfoncés transversalement depuis l'extérieur de BV3 ; sur l'avant, arrêt de BV3 par une coupe franche qui vient buter contre le décroché taillé sur l'avant du bordage B8, en symétrie de BM4 (fig. 261, séquence 9).

18. Façonnage et mise en place des varangues, sur l'avant, de M126 à M141 avec fixation à la sole et aux bouchains au moyen de clous selon le même procédé que celui exposé précédemment (étape n° 12) (fig. 261, séquence 10).

19. Mise en place, sur l'extrémité de la proue, des planchettes transversales et de la pièce pyramidale (fig. 261, séquence 11).

20. Découpe des écarts sur l'extrémité arrière des bouchains BM1 et BM2 (fig. 261, séquence 11).

21. Façonnage des bordages verticaux BV1 et BV2. Disposition du matériau d'étanchéité (tissus poissés) et mise en place, sur l'arrière, de BV1 et BV2, participant des bouchains composés ; assemblage de BV1 et BV2 aux bordés monoxyles de transition BM1 et BM2 par des écarts à mi-bois bloqués par des clous enfoncés verticalement<sup>101</sup> et aux bordages de sole adjacents par des clous enfoncés transversalement depuis l'extérieur de BV1 et BV2 (fig. 261, séquence 11).

22. Façonnage et mise en place, sur l'arrière, des varangues restantes, de M98 jusqu'à M95, avec fixation à la sole et aux bouchains au moyen de clous selon le même procédé que celui exposé précédemment (étape n° 12) (fig. 261, séquence 11).

23. Façonnage et mise en place des tasseaux sur le haut des bouchains, et en arrière des saillies en forme de pyramide tronquée taillées dans la masse des ressauts des extrémités des varangues, avec fixation aux bouchains au moyen de clous (fig. 261, séquence 12).

24. Façonnage et mise en place des courbes dans la partie centrale de la coque selon un angle d'ouverture prédéterminé en correspondance avec l'ouverture des bouchains ; fixation des courbes à la sole et aux bouchains au moyen de clous enfoncés uniquement depuis l'intérieur et avec les pointes rabattues sur l'extérieur de la sole (fig. 261, séquence 12).

25. Ployage et façonnage des bordés de flanc en demi-tronc principaux (F11 et F12), jusqu'à atteindre la courbure et l'angle de rétrécissement souhaités à la proue et à la poupe.

Levage vertical sur le chantier des bordés de flanc en demi-tronc principaux (F11 et F12)<sup>102</sup> et pré-positionnement proche du bouchain pour ajustement des pièces par façonnage ; disposition contre les bordés monoxyles de transition et passage d'une scie égoïne entre les deux pièces ainsi accolées pour ajustement final ; disposition du matériau d'étanchéité (tissus poissés) entre le can extérieur des bouchains et la base des flancs avant leur réunion ; liaison de ces pièces, au moyen de clous, aux courbes (enfoncés depuis le dos des courbes), aux bouchains et aux tasseaux<sup>103</sup> ; découpe des écarts, sur l'avant des bordés de flanc en demi-tronc, pour la mise en place des pièces de bordé à la proue (fig. 261, séquence 13 et 14).

26. Même opération qui se répète, pour les extrémités avant avec l'insertion des courbes et la mise en place des bordés de flanc en demi-tronc F15 et F16 (fig. 261, séquence 15 et 16).

27. Mise en place de tout le système d'armatures métalliques de la proue (renforts latéraux sur F15 et F16 et longitudinaux sur le haut des bouchains) (fig. 261, séquence 17).

28. Façonnage et mise en place, sur l'avant et l'arrière du chaland, des planches de plat-bord sur le haut des bordés de flanc en demi-tronc auxquels ils sont fixés au moyen de clous enfoncés verticalement (fig. 261, séquence 17 et 18).

29. Blocage, sur l'avant, des écarts en adent pour la liaison des bordés de flanc en demi-tronc par des étriers en fer plat verticaux qui viennent enserrer, depuis le plat-bord, les pièces de flanc (fig. 261, séquence 17 et 18).

99. Bien que cela n'ait pas été observé, il devait en être de même pour la fixation de B6 à BM2, sur tribord.

100. Depuis l'extérieur pour la liaison de B7 à BM3 et depuis l'intérieur pour la liaison de B6 à BM4.

101. Depuis l'extérieur à bâbord (de BM1 vers BV1) et depuis l'intérieur à tribord (de BV2 vers BM2).

102. La mise en place des bordés après l'insertion des courbes se justifie en raison de leur poids (estimé pour F11 et F12, mesurant un peu plus de 26 m de long, à 1,210 tonnes pour le premier et 1,255 tonnes pour le second) qui nécessiterait, en l'absence de pièces de charpente internes permettant de les fixer dans leur partie haute, la mise en place d'un système trop complexe d'étais internes et externes à la coque.

103. Les clous sont enfoncés transversalement depuis le dos des courbes et sont le plus souvent à pointe perdue dans l'épaisseur des flancs ; ils sont enfoncés depuis la base externe des flancs pour la liaison aux bouchains sur l'intérieur desquels les pointes de clous sont rabattues ; et les clous sont enfoncés transversalement depuis le can interne des tasseaux en direction des flancs dans lesquels ils s'enfoncent à pointe perdue.

30. Façonnage et mise en place, sur l'avant, du complexe structurel lié à la réception du mât de halage (banc d'étambrai, pièces de support et courbes de maintien); tous ces éléments sont liés entre eux ainsi qu'aux bordés de flanc en demi-tronc au moyen de broches et de clous (fig. 261, séquence 19 et 20).

31. Façonnage et mise en place de la planche-support P1, sur tribord arrière, maintenue par des jambettes; la planche et les jambettes sont fixées au bordés de flanc en demi-tronc au moyen de clous enfoncés transversalement depuis l'intérieur (fig. 261, séquence 19 et 20).

32. La même opération a du être réalisée, en symétrie, sur bâbord arrière (non conservé), afin de recevoir des barrots encastrés dans les planches-supports (fig. 261, séquence 19 et 20).

33. Mise en place du fond du caisson (longerons, traverses et vaigres) (fig. 261, séquence 21, 22 et 23).

34. Épandage de poix, sur l'ensemble de la coque ainsi construite, à la fois sur l'intérieur et sur l'extérieur des bordés de flanc.

35. Mise en place des aménagements internes, sur l'arrière, ainsi que des cloisons latérales et des planches de fermetures transversales du caisson, dans la partie centrale. Tous ces aménagements sont entièrement amovibles (fig. 261, séquence 23).

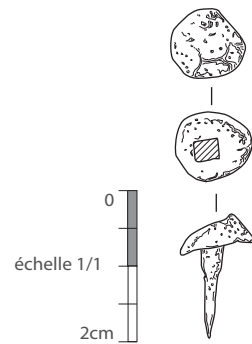
36. Mise en place du mât de halage et de la pelle de gouverne (fig. 261, séquence 24).

Il reste finalement à signaler, dans ce paragraphe consacré aux procédés de construction, qu'une série de petits clous en fer a été découverte sur les tronçons de l'épave. Les restaurateurs les ont remarqués sur le chantier de fouille-relevage, lors du démontage des tronçons, et ceux-ci étaient généralement plantés dans les tasseaux. En raison du temps très limité dont disposaient les archéologues pour assurer la documentation des tronçons avant leur découpage et démontage, peu d'attention leur a cependant été accordée. Lors du remontage du chaland, les restaurateurs ont à nouveau observé les mêmes types de petits clous. Quelques observations plus précises ont alors pu être faites. Ces clous, de très petites dimensions (diam. tête: 9 mm; longueur de la tige: 12 mm et section de la tige, sous la tête: 3 mm) (fig. 262), étaient plantés, toutes les deux à trois membrures, sur bâbord comme sur tribord, dans les ressauts des extrémités des varangues, entre les deux clous de fixation au bouchain (fig. 263). Leur fonction est énigmatique dans la mesure où il ne s'agit pas de clous d'assemblage. La seule hypothèse plausible est de voir dans ces clous des aides à la construction pour tendre des fils ou des cordelettes qui permettaient de vérifier l'alignement de certains éléments de construction ou marquer des repères.

## Conclusion

L'étude architecturale et le déroulement des séquences de construction permettent de mettre en évidence un chaland qui relève d'une construction complexe et soignée. La construction est complexe au regard des écarts mis en œuvre entre les bordés monoxyles de transition et les bouchains composés, particulièrement au niveau de la levée de proue. En plus de témoigner d'une bonne maîtrise technique des assemblages, l'emploi de ces deux types de bouchain atteste également d'une connaissance et d'une pratique des deux types d'architecture, à coque monoxyle-assemblée et à coque assemblée. La construction est également soignée quand on songe à l'agencement parfaitement symétrique des structures de la coque (bouchains et bordés de flanc), d'un bord à l'autre, ou encore à la découpe des varangues.

Au-delà de la maîtrise des procédés de construction, révélateurs de pratiques parfaitement assimilées de longue date, le chaland *Arles-Rhône 3* témoigne aussi d'une conception élaborée avec une forme de coque fuselée et très étroite, singulière au sein de la batellerie gallo-romaine (*infra*, chapitre 9).



Dessin A. Véléva, Arkaeos,  
DAO M. El Amouri, Ipso Facto

**Fig. 262 :** Exemple de petit clou découvert planté dans les tasseaux ou dans les ressauts des extrémités des varangues de la coque du chaland (échelle1).



**Fig. 263 :** Vue de la localisation d'un petit clou (auquel il manque la tête) planté dans le ressaut d'une extrémité de varangue (S. Marlier).

### LA PROPULSION DU CHALAND : LE MÂT DE HALAGE ET LA QUESTION DES PERCHES ET DES RAMES ÉVENTUELLES

Le déplacement des bateaux, en milieu fluvial, est très particulier et se différencie distinctement du déplacement en milieu maritime (Rieth 1998, p. 99-100). Sur les cours d'eau, deux sens de navigation peuvent être distingués selon que l'on remonte le fleuve ou la rivière, de l'aval vers l'amont – on parle alors de « remonte » – ou que l'on descende, de l'amont vers l'aval : on parle alors de « descente » ou encore, selon le terme employé par les bateliers du Rhône, de « décize ».

Dans la batellerie traditionnelle – soit jusqu'à l'apparition de la navigation à vapeur – si la descente des bateaux pouvait se faire au fil du courant, « à gré d'eau », la remontée du Rhône nécessitait, en revanche, un système de propulsion. La découverte d'un mât de halage dans le fond de l'épave *Arles-Rhône 3* témoigne du mode de propulsion principal mis en œuvre sur ce chaland tout en excluant la possibilité d'un second mât gréé d'une voile. Le perchage étant le complément indissociable du halage, cette question sera aussi abordée, de même que la discussion d'une propulsion éventuelle à la rame.

#### Le mât de halage

Rangé dans le fond du caisson, le long de la cloison latérale bâbord et touchant quasiment la planche de fermeture avant du caisson, c'est le mât du chaland qui a été découvert lors du démontage du chargement de pierres (pl. I et fig. 264 et 265). Le bateau étant à la descente lors de son dernier voyage, les bateliers ont démonté le mât et l'ont stocké sous la cargaison de pierres. Si cette disposition peut sembler curieuse<sup>104</sup>, elle aura permis de retrouver cette pièce qui constitue un vestige archéologique extrêmement rare<sup>105</sup>.

Bien que fracturé en sept éléments, en raison de son long séjour dans l'eau et du poids du chargement qui le recouvrait, le mât est complet et son état de conservation est globalement bon. Seule la partie supérieure de la pièce compte quelques fissures latérales et les fractures, entre les différents éléments, sont nettes. Les pierres ont également laissé par endroit leur empreinte dans le bois de la pièce.

Celle-ci correspond à une grume de bois, en frêne, avec des restes d'écorce encore en place ; elle n'est épannelée qu'à ses deux extrémités. Longue de 3,70 m, elle présente un diamètre de 14,5 cm dans la partie basse qui s'affine légèrement vers le haut pour atteindre un diamètre de 13,4 cm. Son poids, à l'origine, peut être estimé à 40 kg environ.

Concernant le façonnage de la grume, la base a été taillée de façon à former un tenon de section quadrangulaire de 8,5 cm de longueur et 8 cm de côté (fig. 248). Ce tenon était destiné à venir s'encastrent parfaitement dans la mortaise centrale de la varangue-emplanture.

Le sommet présente deux cerclages métalliques que surmontent une gorge profondément creusée et plusieurs traces d'usures liées au passage d'un cordage. Le premier cerclage (larg. 4,2 cm ; ép. 9 mm) est disposé à 1,35 m du sommet du mât ; fixé au moyen de clous, il n'enserme pas le pourtour de la grume et est doté d'un crochet qui pointe vers le haut (fig. 266). Juste au-dessus de ce crochet, une première incision, liée au passage d'un cordage, est visible. Celle-ci est relativement ténue, de 5 mm de large, et n'enserme pas complètement la pièce. À 97,5 cm au-dessus de ce premier cerclage, un second cerclage métallique (larg. 5,8 à 6,5 cm ; ép. 8 mm) est disposé du côté opposé. Cet élément, fixé au bois au moyen de petits clous, n'enserme pas complètement non plus le pourtour de la grume. Il ne présente pas de crochet mais est percé d'un orifice qui traverse le bois de part en part (fig. 267). C'est au-dessus de ce second cerclage, sur le côté opposé de la pièce, que se trouve une gorge, à 16 cm de la partie sommitale de la grume. Cette gorge entaille profondément le bois, sur une profondeur de 6 cm. De part et d'autre de ce surcreusement du bois causé par le passage et la traction exercée par le passage d'un câble à cet endroit, deux autres sillons, révélés par des traces d'usure liées au frottement d'un cordage, sont également visibles. Les traces d'usures liées au frottement des cordages, ainsi que l'orientation de la gorge, creusée nécessairement depuis l'arrière vers l'avant du mât, permettent de définir avec certitude le sens de passage du câble de halage et donc, par conséquent, l'orientation du mât dans le banc d'étambrai et la varangue-emplanture. L'ensemble, gorge et sillons, de même que le crochet du premier cerclage, sont ainsi orientés vers l'arrière du chaland ; l'orifice qui traverse la pièce de part en part, au niveau du second cerclage métallique, est en revanche orienté de façon transversale à l'axe longitudinal du chaland.



Fig. 264 : La découverte du mât, sous les pierres de chargement (T. Seguin, *O'Can-Ipsa Facto*, MdAa/CG13).

104. D'après les observations faites lors du démontage des pierres de chargement, il semblerait qu'au-dessus du mât, les blocs aient été posés sur chant alors qu'ils sont disposés à plat dans le reste du caisson. Il est possible que cette disposition, à la « verticale », ait eu pour objet de mettre moins de poids sur le mât et peut-être aussi de le garder plus facilement accessible.

105. En raison de la destruction rapide des parties hautes des épaves, qui ne sont que très rarement conservées, très peu de mâts de bateaux antiques ont en effet été découverts. Seules les épaves E du Dramont (Var, v<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) et, vraisemblablement, d'Albenga (Italie, I<sup>er</sup> s. av. J.-C.) ont conservé en place la partie inférieure de leur mât (Santamaria 1984 ; Gianfrotta, Pomey 1981, p. 251). Le seul mât quasiment complet a été découvert sur l'épave de Bruges (Belgique, II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) : en chêne caducifolié, ce mât a été conservé sur une longueur de 9,30 m (Marsden 1976, p. 30-32 et p. 40-42). Ces épaves correspondent cependant à des navires de mer, ou de type fluviomaritime pour le bateau de Bruges (sous-entendant un grand mât portant une voile) et aucun mât de halage n'avait, jusqu'à présent, été découvert.

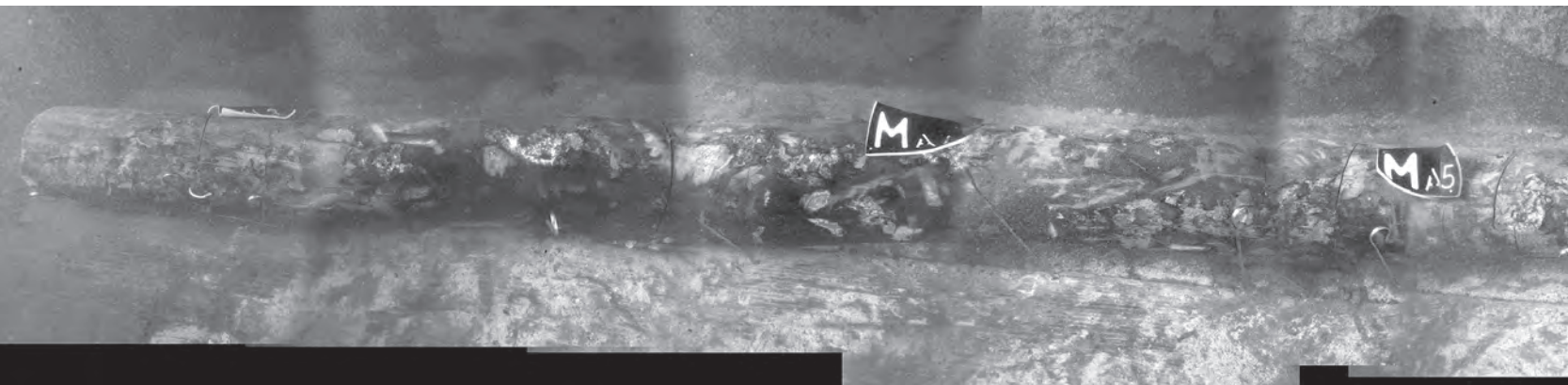


Fig. 265: Le mât, en place dans le fond du caisson, après démontage des pierres de chargements qui le recouvraient (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

Enfin, sur le sommet du mât, une douzaine de petits clous métalliques en fer, insérés dans le bois, a été conservée (fig. 268). Ils devaient probablement servir, par le maintien d'un élément qui a disparu (une rondelle de cuir ?), à protéger le haut du mât des infiltrations d'eaux de pluies (*supra*, p. 195).

La taille du mât, ses différents aménagements ainsi que les traces de passage de cordages permettent de l'interpréter sans aucun doute possible comme un mât de halage. Destiné à la traction du bateau depuis les berges du fleuve, son pied venait parfaitement s'ajuster dans la mortaise de la varangue-emplature et il était consolidé, en hauteur, par un banc d'étambrai dans lequel il était inséré (fig. 182). L'ensemble étant disposé au tiers avant du chaland afin de rendre le halage du bateau efficace<sup>106</sup>. Afin de résister à des efforts importants, le mât de halage devait être fortement haubané (Rossiaud 2002b, p. 20-23). Les cerclages métalliques, dont l'un doté d'un crochet sur l'arrière et l'autre percé d'un orifice, sont sans doute à mettre en relation avec le maintien du mât. Néanmoins, les recherches iconographiques effectuées pour l'Antiquité et l'époque moderne n'apportent aucun éclairage sur ce type d'aménagement<sup>107</sup>. Les représentations de scènes de halage, pour l'Antiquité, ne nous montrent en effet généralement qu'un mât court placé très en avant du bateau, avec une pomme au sommet et un câble de halage placé directement en dessous. Seuls les documents modernes nous montrent un mât maintenu par des haubans (généralement, deux cordages latéraux fixés de chaque côté du bateau) ainsi que par un étai servant à maintenir le mât longitudinalement vers l'avant. Un câble ou deux cordages latéraux frappés sur l'arrière relie aussi parfois la tête de mât à l'arrière du bateau. Ces derniers permettent de retenir le mât longitudinalement vers l'arrière.

Sur le chaland *Arles-Rhône 3*, les seuls aménagements pouvant être mis en relation avec le maintien du mât sont les suivants. Il s'agit des deux mortaises latérales traversant le banc d'étambrai sur l'arrière et disposées en correspondance – de façon légèrement décalée – avec les petites mortaises percées sur le dos de la varangue-emplature (fig. 182). Ce type d'aménagement aurait pu recevoir des pièces destinées à bloquer des cordages latéraux qui auraient été passés dans l'orifice transversal du cerclage métallique supérieur (*infra*, p. 228).

Sur l'avant, le cordage découvert dans la partie médiane du bateau, reposant sur le dos des varangues M138-M139 (pl. I et fig. 275), pourrait être mis en relation avec le maintien du mât, à moins que ce cordage ne soit lié au contrôle de l'angle du câble de halage – il s'agirait alors d'un « sambiau » (Rieth 1998, p. 106) – ou avec les manœuvres d'amarrage du bateau.

Sur l'arrière, si le crochet du cerclage métallique inférieur aurait pu servir de point pour retenir le mât, aucun aménagement du plat-bord ne laisse cependant deviner la façon dont les cordages pouvaient être maintenus. Seuls des orifices percés à l'interface des bordés de flanc en demi-tronc et des plats-bords ont été aménagés mais ceux-ci paraissent bien faibles (de 5,2 à 8,3 cm de diamètre, espacés régulièrement tout les 95 cm) pour être mis en relation avec le maintien du mât.

Une autre hypothèse, concernant le crochet, est qu'il aurait pu servir de point d'ancrage pour créer un mât de charge destiné à être utilisé dans les phases de chargement et de déchargement du bateau.

Au final, seule la gorge profondément creusée, tout en haut du mât, renseigne de façon claire sur le passage et la position du câble de halage ainsi que sur la direction de la traction exercée sur le mât. Le câble était ainsi fixé presque au sommet du mât afin que la corde

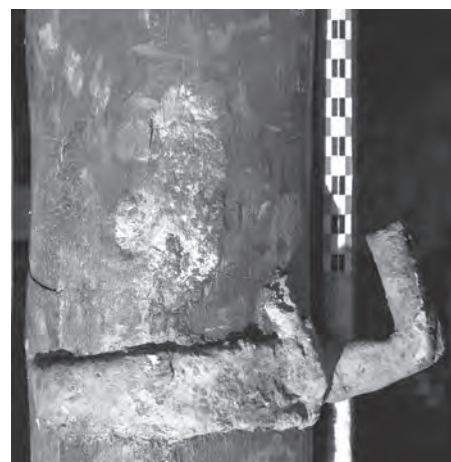
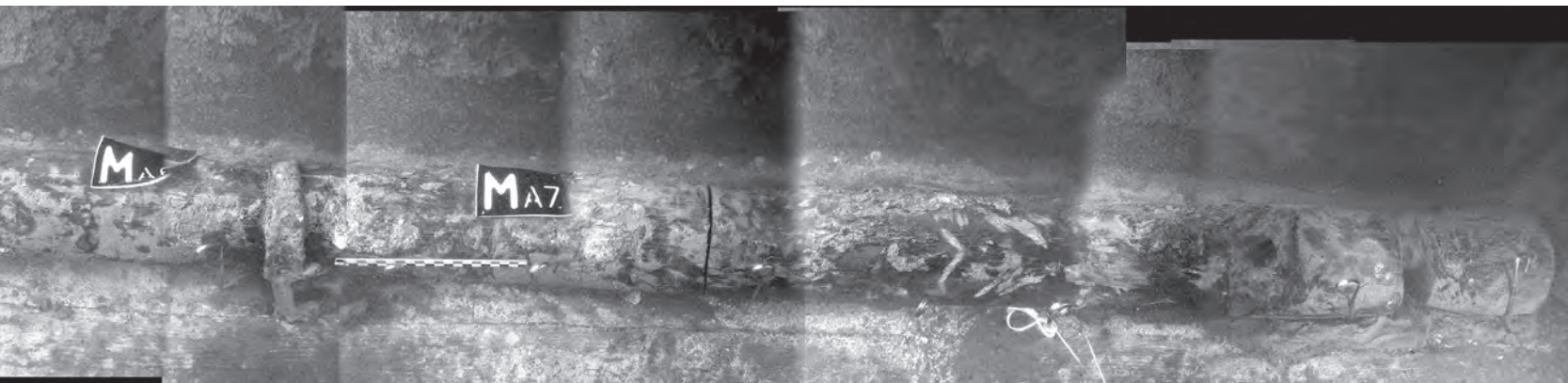


Fig. 266: Vue du crochet métallique fixé dans la partie haute du mât (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

106. Sur le problème de l'équilibre à trouver entre la force de traction par « appui sur le sol » et son effet de propulsion pour rendre le halage d'un bateau efficace voir Rieth 1998, p. 106-107.

107. Pour l'Antiquité, on compte six représentations de scène de halage (*infra*, p. 232). Pour l'époque moderne, Mme B. Guittin, de la Maison du fleuve Rhône, à Givors, a effectué une recherche spécifique à notre demande et nous a fourni une documentation substantielle (gravures, peintures et photos provenant des archives municipales d'Arles et de Lyon, du fond Gadagne, des Musées de France, du musée Denon et du musée des Beaux-Arts de Lyon) sur le halage sur le Rhône, entre le XVI<sup>e</sup> et le XX<sup>e</sup> s. Nous la remercions bien sincèrement. Le Musée de la Batellerie (Conflans-Sainte-Honorine) nous a également permis d'accéder à une documentation (maquettes, objets et publications) qui a fourni des compléments sur le halage animal à l'époque contemporaine. Aucun document, parmi toute cette masse iconographique, ne concerne en revanche la pratique du halage au Moyen Âge.



**Fig. 267 :** Vue de la partie supérieure du mât avec le second cerclage métallique, percé d'un orifice, la gorge et les traces d'usure liées au passage du câble de halage (L. Roux, *O'Can-Ipso Facto*, MdAa/CG13).



**Fig. 268 :** Vue des petits clous en fer fixés sur le dessus du mât (L. Roux, *O'Can-Ipso Facto*, MdAa/CG13).

108. Le câble de halage du chaland n'a pas été retrouvé. Pour le Moyen Âge et l'époque moderne, on sait que les cordes utilisées à cet effet – les « mailles » – étaient en chanvre (Rossiaud 2007, p. 217), contrairement aux autres cordes retrouvées sur l'épave, en relation avec les manœuvres du chaland (*infra*, p. 216).

109. Cette hypothèse de restitution avait été proposée, en 2009, pour la réalisation du film d'animation 3D *Arles-Rhône 3. De la fouille à la restitution d'un chaland gallo-romain* (M. Cazaux, F. Conil, J. Pasquet, D. Schiano; sous la direction scientifique de S. Marlier. Supinfocom/MdAa – 2009) (Marlier 2010b; Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011, p. 188).

110. Pour indication, le mât du chaland *Altaripa*, réplique navigante du chaland de Bevaix, mesure 8,50 m de longueur totale (communication personnelle B. Arnold) et pouvait recevoir une voile destinée à sa propulsion (Arnold 1999).

111. Système dont sont, par exemple, dotés les bancs d'étambrai des chalands *Zwammerdam 4* et *Woerden 1978* (Arnold 1992b, p. 78 et 81) et sur les modèles duquel le banc de mât de la réplique navigante *Altaripa* a été restitué (Arnold 1999, p. 151-154).

de halage, qui pouvait être très longue, ne plonge dans l'eau trop fréquemment ni n'accroche les broussailles (Rossiaud 2002b, p. 22 ; 2007, p. 215)<sup>108</sup>.

Ce mât était finalement destiné à la traction du bateau, pour la remontée du courant, par halage. On ne peut cependant exclure la possibilité d'y adjoindre une petite voile d'appoint, lors de vents favorables, pour la descente. Il s'agirait alors d'une voile à livarde de très petites dimensions qui, comme dans le cas de l'hypothèse du mât de charge, ne nécessitait aucun aménagement particulier supplémentaire. En revanche, l'hypothèse envisagée pour ce chaland d'un second mât de dimensions plus importantes doté d'une voile<sup>109</sup> a finalement été écartée. Les dimensions de la mortaise creusée dans la varangue-emplature, et l'absence de tout système d'ouverture pour la réception et le blocage d'un mât plus important<sup>110</sup> ainsi que pour son démontage ou son abattement<sup>111</sup>, excluent en effet cette possibilité.

Pour la propulsion, le perçage est en revanche considéré comme le complément indissociable du halage.

## Le perchage ?

Dans son chapitre consacré aux remontes et au halage au col aux équipages sur *Le Rhône au Moyen Âge*, Jacques Rossiaud explique qu'« il fallait, pour maintenir les navires dans le chenal, de solides contre-dérives et un équipage consistant de mariniers travaillant à la perche » (Rossiaud 2007, p. 215).

Selon la définition communément admise pour la navigation fluviale, les perches sont de longs bâtons dont on se sert pour faire aller un bateau, en appuyant sur le fond de l'eau. Le perchage est utilisé en milieu fluvial et fonctionne avec deux bateliers en parallèle qui poussent ensemble leur perche en marchant sur le haut du bateau (Rieth 1998, p. 103-105). Deux techniques de perchage peuvent être pratiquées : une technique statique et une autre dynamique. La technique statique – appelée aussi « perche en restant » – dans laquelle l'homme, debout face à l'avant, ne bouge pas, est préférablement utilisée pour des embarcations légères. La méthode dynamique – ou « perche en allant » – est celle utilisée pour propulser de gros bateaux lourdement chargés. Dans le principe, le mouvement est ici similaire à celui effectué par « un homme marchant à l'intérieur du tambour d'un écu-reuil » (Rieth 1998, p. 103-105). Le marinier coince le haut de la perche contre son épaule, la maintient fermement avec ses deux mains et marche sur le fond du bateau ou en abord, sur un passavant. Sous l'effet du point fixe créé par la pointe de la perche appuyée sur le sol, l'embarcation avance sous les pieds de l'homme. Le mouvement, comme le montre le bas-relief de l'autel de la déesse Nehalennia, daté des II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> s., est effectué dos face à l'avant, avec un déplacement de l'avant vers l'arrière (Arnold 1999, p. 154). Une fois le mouvement achevé, l'homme, qui se trouve alors à l'arrière du bateau, revient vers l'avant et recommence son mouvement. Cette technique nécessite une puissance très forte au démarrage et quasiment pas d'effort ensuite. Concernant l'instrument de propulsion, la perche, il s'agit d'un très grand bâton dont la pointe est munie ou non d'un fer qui va prendre appui sur le sol, celui du fond d'un fleuve, de profondeur réduite.

Sur l'épave *Arles-Rhône 3*, les deux perches retrouvées à la proue (pl. I) sont trop petites pour avoir joué ce rôle propulsif et il pourrait s'agir de perches de sonde, également utilisées dans les manœuvres ou l'amarrage du bateau (*infra*, p. 220-221).

Aucun aménagement conservé, en lien direct avec le perchage, n'a par ailleurs été identifié sur l'épave et aucune hypothèse satisfaisante ne peut être avancée pour proposer un chemin de perchage praticable, notamment dans la partie centrale du chaland, au niveau du chargement. S'il paraît envisageable, selon l'avis de Béat Arnold, que les bateliers aient pu marcher directement sur le haut des flancs, dans la partie centrale, il est difficile d'imaginer que les déplacements du percheur aient pu être stables, notamment lors du retour de celui-ci sur l'avant du bateau lorsque la perche n'est plus en appui sur le fond du fleuve<sup>112</sup>. Quant à la possibilité d'un chemin de perchage directement dans le fond du bateau, comme sur le chaland *Zwammerdam 2* (comm. personnelle B. Arnold), celle-ci est à écarter, une fois encore en raison de l'espace de chargement.

Bien qu'aucun aménagement en relation avec un perchage éventuel n'ait été mis en évidence sur le chaland *Arles-Rhône 3*, ce type de propulsion n'est cependant pas à exclure d'autant plus que dans le cas d'un bateau de dimension aussi grande, le perchage se révélerait être extrêmement efficace.

## Les rames ?

Utilisées comme compléments à la navigation, les rames sont souvent employées, sur les grands bateaux chargés à la descente, soit pour accélérer la vitesse soit, au contraire, pour maîtriser la puissance du courant. Elles sont alors associées à l'usage des perches de sonde. Également en complément des perches, les rames peuvent aussi être utilisées lors des manœuvres, notamment lors des manœuvres de retournement pour venir s'amarrer proue face au courant (Rossiaud 2007, p. 212). Une rame sur l'avant est également fréquemment utilisée en complément de la rame-gouvernail afin de garder le chaland dans l'axe du fleuve comme on peut le voir sur la stèle du batelier Blussus (Mayence, I<sup>er</sup> s.) (Arnold 1998, p. 57).

En tant qu'instrument de propulsion, la rame fonctionne par appui sur l'eau et pivote autour d'un point fixe de résistance situé sur le plat-bord. Ce fonctionnement implique, par conséquent, un aménagement particulier sur le plat-bord : encoche, tolet, dame ou estrope (Rieth 1998, p. 103). C'est ce que montrent les bas-reliefs des stèles de Blussus et de Cologne (Arnold 1999, p. 57 et p. 85).

Sur et à proximité de l'épave *Arles-Rhône 3*, aucune rame n'a été découverte. Faisant partie de l'armement de bord indispensable à tous bateaux (Rossiaud 2002b, p. 292), il

112. Aucune trace, avec l'aménagement éventuel de « coursiers » (ou « passavant »), n'a par ailleurs été repéré sur le haut des flancs. Appelés aussi « courroirs » ou encore « corradours », les « coursiers » sont des bordures plates qui couronnent le haut des flancs d'un bateau. Au Moyen Âge et à l'époque moderne, tous les bateaux de charge du Rhône sont équipés de ces éléments, indispensables aux manœuvres. Ils permettent aux mariniers de passer de l'arrière à l'avant du bateau lorsque celui-ci est couvert de tentes ou d'une cargaison volumineuse occupant tout l'espace entre les bordages. Grâce à ces « corradours », l'équipage aide aussi à la gouverne et parfois opère la remonte, mais sur de très courts distances, en s'aidant de perches. C'est enfin sur eux que sont fixés les manœuvres (Rossiaud 2002b, p. 98-99).

est probable que le chaland en ait été doté. Concernant les aménagements éventuels à mettre en relation avec l'usage de rames, seuls les orifices percés à l'interface des bordés de flanc en demi-tronc et des éléments de plat-bord permettent de supposer que des rames aient pu être maintenues au plat-bord au moyen de cordages passés au travers de ces orifices<sup>113</sup>. Ces aménagements ont été retrouvés uniquement sur l'arrière et sur l'avant du chaland. Cette disposition correspondrait ainsi à ce que nous montre la stèle de Blussus, à savoir des rameurs disposés de part et d'autre de la cargaison chargée dans la partie centrale du bateau. Sur l'arrière du chaland, la localisation des orifices se situe néanmoins au niveau de l'emplacement du timonier et à l'arrière du chargement. À la proue, la disposition des orifices, en avant du banc de mât, suggère ici une utilisation en décalé (un rameur plus en avant que l'autre) et en pointe (une seule rame par rameur). Dans un tel cas la rame s'effectuerait debout et face au flot, rendant inutile la présence d'un banc de nage. Aucune véritable trace d'usage, en relation avec l'usage de rames, n'a néanmoins été mise en évidence sur les plats-bords, au niveau de ces orifices.

Au final, si le mât découvert atteste de la pratique du halage pour tracter le bateau à la remonte, une complémentarité des modes de propulsion devait sans aucun doute être de mise, tant à la descente qu'à la remonte.

L'usage du halage, du perchage ou encore de l'utilisation de rames, voire d'une petite voile d'appoint, ne produisent néanmoins qu'un effet propulsif sur un bateau d'une taille aussi importante et celui-ci devait donc être dirigé d'une autre manière.

## LA DIRECTION DU CHALAND : LA PELLE DE GOUVERNE OU RAME-GOUVERNAIL

### Historique de la découverte de la pelle de gouverne et son rattachement au chaland *Arles-Rhône 3*

La pièce de bois dont il est question a été découverte en 2004, l'année même de la découverte de l'épave *Arles-Rhône 3*, à environ 150 m en aval de celle-ci, au niveau du pont de la voie rapide. Interprétée comme une pelle de gouverne, ou rame-gouvernail, d'un bateau fluvial de type chaland, elle a été restaurée par l'atelier ARC-Nucléart de Grenoble puis présentée dans l'exposition *César, le Rhône pour mémoire* qui s'est tenue au Musée départemental Arles antique entre octobre 2009 et janvier 2011. Elle n'a cependant pas été documentée et seule une courte notice descriptive, la datant de l'«Époque romaine», a été publiée dans le catalogue d'exposition (Long, Picard (dir.) 2009, p. 240 et 242). Pourtant, dès la découverte de la pièce, Luc Long envisageait qu'«il n'est pas exclu qu'il [le gouvernail] se soit tout simplement détaché de l'épave *Arles-Rhône 3*, toute proche, mais on ne peut écarter pour cet ensemble d'équipements de navires la relation avec les chantiers navals que l'on situe traditionnellement sur cette berge avec le port d'Arles» (Long 2004, p. 56-57). Cette notice, tirée du Bilan Scientifique du Drassm, livrait également les dates calibrées obtenues pour cette pièce par des analyses radiocarbone. Réalisées par Christine Oberlin, au laboratoire de l'Université Claude Bernard, à Lyon, elles permettent de dater la pelle entre 97 av. notre ère et 67 de notre ère, soit une fourchette chronologique large mais dans laquelle s'inscrit parfaitement celle livrée pour la datation de l'épave (*infra*, p. 264).

Par conséquent, la proximité de la pelle – retrouvée en arrière de l'épave et dont la position peut s'expliquer par un détachement de la pièce dans une phase postérieure au naufrage (*supra*, p. 75) – la datation qui concorde et les rapports de proportion avec le chaland qui coïncident permettent d'associer, avec une forte probabilité, ces deux éléments.

### L'état de conservation de la pièce

La pièce est fracturée en deux parties avec des traces d'arrachement sur l'extrémité des deux parties qui recollent ensemble (fig. 269). La partie supérieure, correspondant au manche de la pelle de gouverne, mesure 4,67 m de longueur tandis que la partie inférieure, correspondant à la pelle, mesure 3,47 m.

L'état de conservation de ces deux éléments est moyen avec des fractures latérales et longitudinales ainsi que de nombreuses petites fissures. Sur l'extrémité de la pelle, des

113. Dans certains de ces orifices, de 5,2 à 8,3 cm de diamètre, des fragments de cordage ont d'ailleurs été retrouvés en place.



**Fig. 269 :** La pelle de gouverne remise en place sur le chaland Arles-Rhône 3 au sein du Musée départemental Arles antique (ARC-Nucléart).

fragments de bois ont également été arrachés et il est possible que la pelle ne soit pas complète et ait été retaillée au niveau de son extrémité arrière (*infra*, p. 226).

La pièce est également vrillée dans son axe longitudinal, une déformation sans doute consécutive à son long séjour dans l'eau. Enfin, la pièce est également ployée dans son plan longitudinal, avec un ployage de type concave au niveau du manche et un autre de type convexe au niveau de la pelle. Ces deux déformations peuvent être liées soit à l'utilisation de la pelle de gouverne, soit également à son séjour dans l'eau.

## Étude technique

Les deux éléments de bois qui se raccordent ensemble, au niveau de leur zone d'arrachement, forment une pièce monoxyle en chêne caducifolié de 7,20 m de longueur pour un poids d'environ 110 kg (fig. 269).

La pièce, qui correspond à une pelle de gouverne, présente un manche de 5,62 m de longueur à l'extrémité duquel se trouve une pelle de 1,63 m de longueur (fig. 270).

La circonférence du manche s'épaissit, passant de 39 cm pour sa partie supérieure à 47 cm au niveau de la pelle. Son extrémité supérieure a été retaillée sur une longueur de 8 cm et on remarque, à ce niveau, un léger sillon imprimé sur le pourtour du bois qui atteste probablement de la présence, à l'origine, d'un manchon (métallique ou en cuir) qui n'a pas été conservé (fig. 271).

À 8 cm sous cette empreinte, un orifice circulaire de 4 cm de diamètre traverse le manche de part en part. Disposé perpendiculairement à l'axe de la pelle, cet orifice a pu recevoir un *clavus*, c'est-à-dire une petite pièce de bois faisant office de barre. Il est aussi possible que cet orifice ait été destiné au passage d'un simple cordage pour retenir l'extrémité du manche au bateau. Juste au-dessus de cet orifice, et sur un seul côté de la pièce, une gorge de 2 cm de large imprimée dans le bois (fig. 271) atteste en effet du passage d'un cordage qui a entamé la surface du bois. Aucune autre trace n'est visible sur le reste du manche.

La partie immergée de la pièce, la pelle, a une largeur de 35 cm. Elle présente une arête médiane sur chacune de ses faces. Une de ces arêtes est cependant plus prononcée sur l'autre face, ce qui avait conduit L. Long à écrire que la «pelle [est] de section asymétrique, avec une face plane et l'autre munie d'une arête médiane» (Long, Picard (dir.) 2009, p. 243). La pelle est cependant bien de section losangique avec une épaisseur maximale, au centre, de 15 cm et sur les côtés de 3 cm.

Sur le haut de la pelle, de part et d'autre de ces arêtes médianes, deux orifices circulaires de 4 cm de diamètre traversent la pièce de part en part (fig. 272). Sur les deux faces de la pelle, de fines fractures latérales partent de chaque côté de ces orifices. Les traces d'usure observées sur les arêtes émoussées montrent que ces orifices étaient destinés au passage de cordages.

## Type, disposition et fonctionnement de la pelle de gouverne

Documentés par l'archéologie et l'iconographie, on rencontre deux types de rame-gouvernail sur les chalands gallo-romains. Le type «Bevaix», du nom de l'épave découverte dans le lac de Neuchâtel en Suisse, correspond à une longue rame-gouvernail. Ce



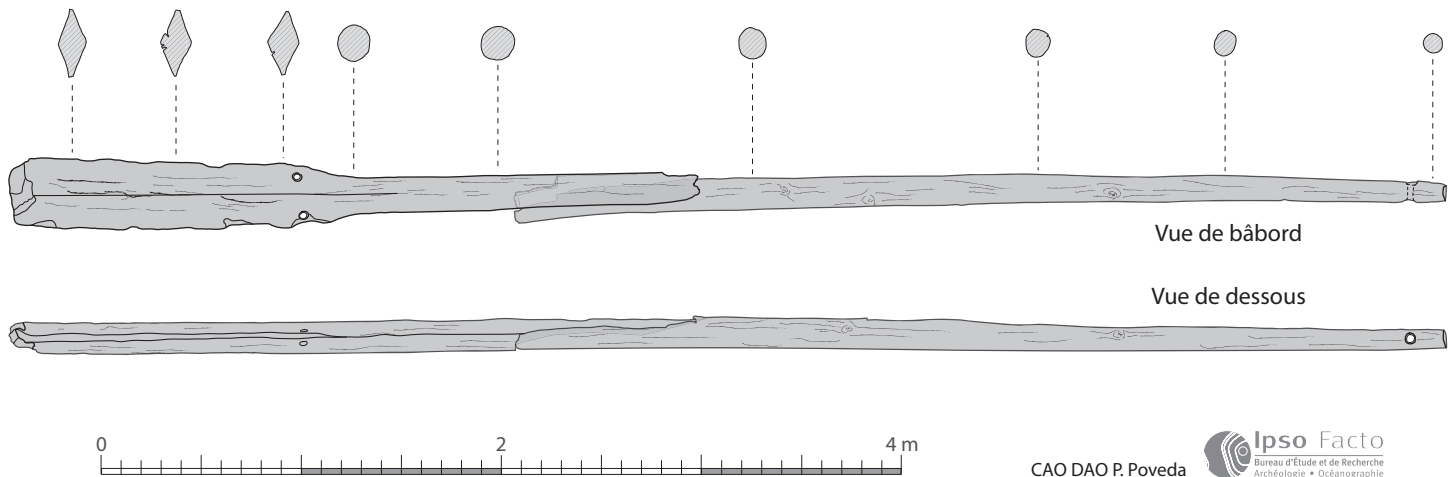


Fig. 270 : Dessin de la pelle de gouverne, d'après sa modélisation 3D.



Fig. 271 : Vue de l'extrémité supérieure de la pelle de gouverne avec un orifice circulaire et, au-dessus, un léger sillon imprimé sur le pourtour du bois qui atteste probablement de la présence, à l'origine, d'un manchon qui n'a pas été conservé (S. Marlier).



Fig. 272 : Vue des deux orifices circulaires traversant le haut de la pelle, de part en part (S. Marlier).

type s'oppose au type «Zwammerdam», du nom des épaves de chalands découvertes aux Pays-Bas, qui présente une rame plus courte avec une large pelle.

La pelle de gouverne associée au chaland *Arles-Rhône 3* se rapproche de la rame-gouvernail découverte en 1911 dans le lac de Neuchâtel et associée au chaland gallo-romain de Bevaix (Arnold 1992a, p. 95). Également en chêne, celle-ci mesure 10,10 m de longueur et se décompose en trois parties : le manche (3,40 m de longueur), la partie médiane (4 m), de section losangique puis lenticulaire, et la «palette» (2,50 à 3 m) correspondant à la partie immergée de la rame. L'extrémité du manche est percée d'un orifice de 12 à 14 cm de diamètre destiné à recevoir une barre transversale – la *clavus* – tandis que la palette présente, comme sur la pelle du Rhône, une section asymétrique avec une face plus ou moins plane.

Du point de vue de la disposition, les quelques représentations iconographiques connues pour l'Antiquité nous montrent – à l'exception de la stèle de Cabrières d'Aigues qui présente un positionnement latéral de la pelle de gouverne – une disposition dans l'axe de la poupe (cf. les stèles du 1<sup>er</sup> s. de Blussus, conservées au Landesmuseum de Mayence, et du Römisch-Germanisches Zentral Museum de Cologne, ainsi que l'autel de la déesse Nehalennia, daté du II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> s., conservé au Rijksmuseum van Oudheden de Leyde) (Arnold 1992b, p. 57, 84 et 85). La stèle de Cologne présente en plus le système de câbles de rappel qui retient la pelle au bateau. Ces cordages sont passés dans les orifices percés dans la partie supérieure de la pelle et viennent se fixer sur la poupe tandis qu'un autre cordage retient l'extrémité du manche et vient se fixer plus en avant, également à la poupe. Dans les trois cas, le timonier – probablement le patron du bateau – est installé sur une plateforme d'où il manie la rame-gouvernail au moyen du *clavus* inséré perpendiculairement dans l'extrémité du manche. Selon que le bateau navigue chargé ou à vide, la position de la rame est plus ou moins haute ou basse (Rieth 1998, p. 110).

Quant au fonctionnement, aux deux types de pelle existants – «Bevaix» et «Zwammerdam» – correspondent deux systèmes différents. Le système «Bevaix» peut fonctionner, avec sa longue rame-gouvernail, à la fois par rotation et par large débattement latéral, tandis que le système «Zwammerdam» ne repose quant à lui que sur la rotation de la pelle autour de son axe longitudinal. Dans ce dernier cas, le timonier maintient sur son épaule le *clavus* avec lequel il assure la rotation de la pelle entraînant le virement de son embarcation sur l'un des deux bords. Ce système est à mettre en relation avec les cours d'eau calmes dans lesquels une pelle du type de celle de «Zwammerdam» offrira la plupart du temps une meilleure capacité de manœuvre<sup>114</sup>. Toutefois son efficacité semble devoir être remise en question lorsqu'il s'agit de naviguer dans des eaux plus turbulentes où un tel gouvernail devait avoir tendance à décrocher plus rapidement au point de rendre l'embarcation très difficilement manœuvrable.

Compte-tenu de la forme de la morphologie de la pelle, du chaland et des divers régimes d'écoulement rencontrés le long du Rhône, il apparaît que le type de gouvernail utilisé sur *Arles-Rhône 3* se rapproche très fortement du modèle «Bevaix», induisant ainsi l'utilisation de cette longue pelle-gouvernail de deux manières différentes en fonction des conditions rencontrées. Dans le cas d'une navigation dans des flots turbulents, la pelle devait être utilisée par débattement latéral à l'image de ce qui se pratique sur des

114. C'est pour cette raison que les constructeurs d'*Abugnata*, reconstitution d'un chaland gallo-romain, ont choisi ce type de rame pour naviguer sur les eaux de la Somme.

embarcations tels que les radeaux de la Durance (Barruol, Furestier, Lonchambon 2005). Celle-ci, simplement fixée en un point sur l'arrière du chaland, peut ainsi être poussée ou tirée par le timonier qui, installé sur une plateforme transversale disposée sur le haut du bateau, doit se déplacer d'un bord à l'autre du bateau pour actionner la rame qui fonctionne alors sans *clavus*. Dans le cas d'une navigation dans des eaux plus calmes, la simple rotation de la pelle autour de son axe longitudinal doit permettre de diriger convenablement le bateau. La présence possible d'un *clavus*, sur le chaland *Arles-Rhône 3*, va ainsi dans le sens d'un gouvernail tournant autour de son axe et qui fonctionne, dans ce cas, sans débatement latéral. Les deux systèmes devaient sans nul doute coexister sur une même embarcation et le passage de l'un à l'autre devait pouvoir s'effectuer rapidement en fonction des conditions de navigation et de l'enfoncement du bateau, selon qu'il naviguait à lège ou chargé.

## EN LIEN AVEC L'ARRIMAGE, LES MANŒUVRES ET L'AMARRAGE DU CHALAND: LE MATÉRIEL D'ACCASTILLAGE DU CHALAND

### LES CORDAGES

#### Les différents cordages découverts et les attestations de leur présence

Sabrina MARLIER, Pierre POVEDA, Sandra GRECK

De nombreux fragments de cordages ont été retrouvés sur l'ensemble de l'épave. De dimensions et de factures diverses, ils ont été inégalement préservés et tous n'ont pas pu être prélevés pour être conservés et/ou étudiés. La présence d'orifices percés sur le haut des cloisons du caisson ainsi qu'au niveau des plats-bords, l'existence d'un taquet ainsi que les traces d'usures observées en divers endroits du chaland attestent également de l'existence de cordages aujourd'hui disparus. Selon leur localisation et leur diamètre associé à leur qualité technique (*infra*, p. 217-220), les fonctions supposées de ces cordages étaient différentes.

Dans la partie supérieure des cloisons longitudinales du caisson, des orifices, de forme ronde à ovale (diamètre compris entre 2,4 et 5 cm), ont été percés tous les 58 cm à 62 cm pour le passage de cordages dont quelques fragments étaient encore en place (fig. 180) (sur la cloison tribord C12, on compte vingt-cinq orifices situés, pour vingt-quatre d'entre eux, en vis-à-vis d'orifices percés sur la cloison bâbord C11). La fonction de ces cordages est probablement à mettre en relation avec la protection ou le fait de contenir un chargement. Ces cordages auraient ainsi pu permettre de maintenir une bâche, soit une toile de tissu tendue, afin d'abriter, de protéger ou de contenir une cargaison fragile ou périssable telle que des céréales ou du sel, ou encore volumineuse telle que des ballots de laine (*infra*, p. 276-277).

Sans doute en lien avec les cordages du caisson, il faut noter un petit fragment de cordage tressé conservé en place sur le dos du bras vertical de la courbe C11, située à bâbord (fig. 273).

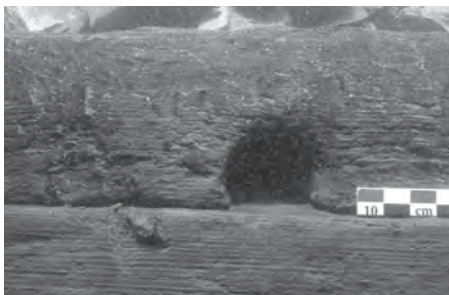
D'autres cordages peuvent être mis en relation avec l'utilisation de rames éventuelles (*supra*, p. 212-213). Ainsi, sur l'avant et sur l'arrière du bateau, on retrouve, à la jonction entre le haut des bordés de flanc en demi-tronc et des plats-bords des orifices de 5,2 à 8,3 cm de diamètre (fig. 274) avec, pour certains, des fragments de cordage encore en place.

Sur le flanc tribord arrière, un taquet est situé en arrière de la cloison longitudinale du caisson (fig. 93). Débité dans du chêne caducifolié, il présente une longueur conservée de 11 cm et il est disposé verticalement, cloué contre le haut du flanc, sous la planche de plat-bord. Cette pièce était destinée au blocage de cordages, en lien avec les manœuvres du chaland; de part et d'autre, on observe ainsi deux traces d'usures (d'env. 10 et 7 cm de large) situées sur le can supérieur du plat-bord ainsi que deux orifices du même type que ceux décrits précédemment, percés à la jonction du bordé de flanc en demi-tronc et du plat-bord. Ces cavités, de 3 et 4 cm de diamètre, présentent des bords usés qui attestent du passage de cordages dont un fragment était encore en place au moment du dégagement de cette zone du bateau. En lien avec les manœuvres d'amarrage, ces orifices seraient alors apparentés à des chaumards.

À la proue, un fragment de cordage de dimensions plus importantes et très bien conservé a été découvert en place. Disposé dans l'axe longitudinal du bateau, il reposait



Fig. 273: Fragment de cordage tressé conservé en place sur la courbe C11 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 274 :** Vue en détail d'un orifice percé à la jonction entre le haut du bordé de flanc et le plat-bord (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



**Fig. 275 :** Cordage découvert sur le dos des varangues M138 et M139 (L. Roux, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

sur le dos des varangues M138 et M139, sur une longueur d'environ 1,10 m (pl. I, fig. 275). Constitué de trois torons, il présente un diamètre maximal de près de 8 cm. Il est possible que ce soit ce même cordage qui se prolongeait plus en avant pour passer au travers des canaux centraux qui traversaient les membrures M140 et M141 de part en part ainsi qu'au travers du canal qui traversait la pièce pyramidale située à la proue et dans lequel des restes de cordages ont été découverts (fig. 65). Étant donné sa position, ses dimensions et ses qualités techniques (*infra*, p. 218-219), ce cordage peut être mis en relation avec le maintien du mât, le contrôle de l'angle du câble de halage – il s'agirait alors d'un « sambiau » (Rieth 1988, p. 106) – ou encore avec les manœuvres d'amarrage du bateau.

Également sur l'extrémité avant, à une vingtaine de centimètres de la fin du chaland, une cordelette, disposée perpendiculairement à l'axe de la proue, sur une largeur de 25 cm, a été découverte en place (pl. I). Extrêmement fragile et volatile, cette cordelette a disparu au cours de la fouille mais peut vraisemblablement être mise en relation avec une pièce de bois découverte sur bâbord et interprétée comme une équoirre (*infra*, p. 222).

Un peu en avant de la proue, il faut également signaler la découverte d'un autre fragment de cordage, peut-être lié à l'amarrage du bateau (pl. I).

Un fragment de cordage isolé a finalement été découvert sur l'arrière, parmi le mobilier de bord (cf. objet 2 (2007) sur fig. 20). Sa fonction éventuelle reste indéterminée et seule l'analyse technique nous apporte un éclairage sur le fait qu'il s'agit d'un type de cordage différent de ceux mis en relation avec l'arrimage, les manœuvres ou l'amarrage du chaland. Il peut alors être mis en relation éventuelle avec le réa découvert parmi le mobilier de bord (*infra*, p. 241).

Maigres témoins des opérations de bord, les fragments de cordage découverts étaient extrêmement fragiles et volatiles et la plupart ont malheureusement disparu au cours de la fouille. Certains ont néanmoins pu être prélevés et un certain nombre d'entre eux ont fait l'objet d'un échantillonnage en vue de la détermination de la nature de leurs fibres et d'une étude technique (fig. 21). Les mieux conservés ont par ailleurs été traités et restaurés en vue de leur présentation, *in situ*, sur le chaland remonté et exposé au sein du musée de l'Arles antique.

## Les cordages : étude technique

Fabienne MÉDARD

### La collection

Le corpus porte sur une série de trois prélèvements répartis en plusieurs points le long de la coque du chaland : AR3 objet 2 (2007) ; AR3 #10 (2011) ; AR3 #21 (2011). Le premier échantillon se trouvait en arrière de la membrure M99, parmi le mobilier de bord. Le second a été découvert dans un des orifices percés dans le haut de la cloison bâbord avant du caisson destiné à contenir les pierres de chargement. Le troisième a été découvert au niveau de la proue (fig. 20).

### État de conservation

Après leur prélèvement, les fragments de cordage ont été conservés en immersion dans l'eau afin de préserver leur volume et leur texture souple. Le temps nécessaire à l'analyse, ils ont été extraits de leur milieu aqueux ; les brillances dues à l'eau résiduelle dont ils étaient emprunts disparaissaient rapidement pour laisser place à des surfaces mates et sombres. À l'issue de l'étude, le vestige a été replacé dans l'eau pour éviter toute dégradation résultant d'un séchage inapproprié.



**Fig. 277:** Cordage, échantillon objet 2 (2007). Représentation schématique des éléments qui composent le toron (F. Médard, Anatex).

AR3 2007-objet 2

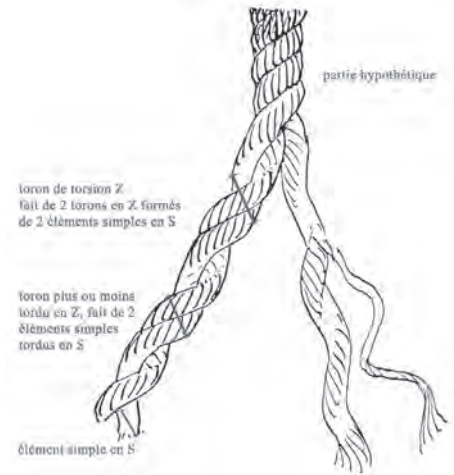


**Fig. 276:** Cordage, échantillon objet 2 (2007). Avers et revers de l'élément de cordage (F. Médard, Anatex).

AR3 2011 # 10



**Fig. 278:** Cordage, échantillon #10 (2011). Avers et revers de l'élément de cordage (F. Médard, Anatex).



**Fig. 279:** Cordage, échantillon #10 (2011). Représentation schématique des éléments qui composent le toron (d'après Clifford 1979).

## Description des éléments

### AR3 objet 2 (2007)

Le prélèvement se présente sous la forme de trois éléments brun foncé. Le plus long mesure 11,5 cm de long, 16 mm de large et 9 mm d'épaisseur. Largeur et épaisseur correspondent au diamètre du cordage dont l'aplatissement de la section engendre une variation de la dimension. Le second, de taille intermédiaire et de forme courbe, mesure 4,8 cm de long, 11 mm de large et 5 mm d'épaisseur. Il s'agit d'un toron probablement issu de la même corde. Le troisième, le plus petit, mesure 2,7 cm de long, 12,5 mm de large et 4,5 mm d'épaisseur. Comme précédemment, il s'agit d'un élément constitutif de la corde (fig. 276).

Le plus long des fragments représente un cordage complet, formé de 4 torons d'environ 8 mm de large (dimensions de la section aplatie) retordus en Z. Le rythme de torsion est de 1 tour tous les 7 cm environ. Chaque toron est formé de lanières de fibres dont la cohésion est assurée par une torsion en S.

Il s'agit d'une corde de conception simple, constitué d'éléments tors et retors ; techniquement, la corde se définit en tant qu'artefact Z4s (fig. 277).

### AR3 #10 (2011)

Le prélèvement se présente sous la forme d'un élément brun foncé, de 4,6 cm de long, 21,5 mm de large et 11,4 mm d'épaisseur. Cette dernière est incomplète en raison d'un arasement longitudinal (fig. 278).

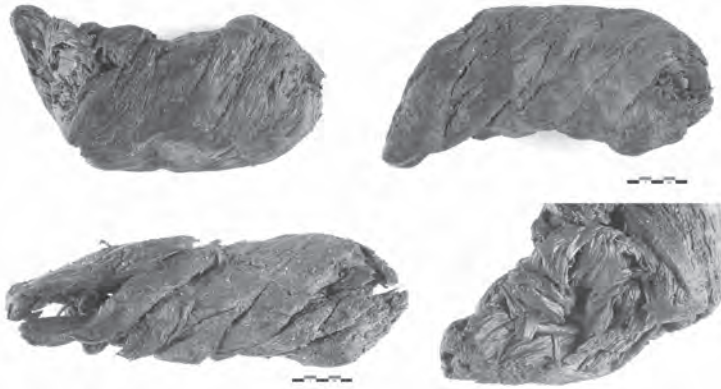
Il ne s'agit pas d'un cordage complet mais d'un toron partiellement conservé. Des « mèches » de fibres légèrement tordues en S ont été associées par paires suivant une légère torsion en Z ; elles forment un toron lui-même associé par une torsion Z à un autre, identique. L'échantillon révèle donc deux torons, soit quatre éléments simples. Dans la mesure où il est incomplet, on ignore combien de torons formaient initialement cet objet. Le fait que les torsions soient orientées dans le même sens tend à indiquer que le cordage devait être confectionné à partir de plusieurs éléments, soit plusieurs torons en Z, eux-mêmes faits de plusieurs torons en Z, constitués chacun de fibres tordues en S. Cet élément se situe aux premiers temps de la fabrication de la corde (fig. 279).

### AR3 #21 (2011)

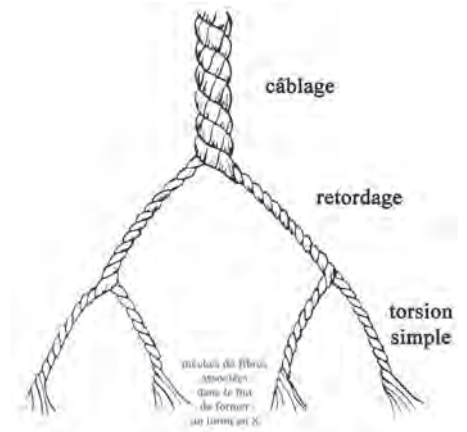
Le prélèvement se présente sous la forme d'un élément brun foncé, de 5 cm de long, 22 mm de large et 13,5 mm d'épaisseur. Comme pour le prélèvement 2007, objet 2, épaisseur et largeur correspondent au diamètre de l'élément (fig. 280).

Il ne s'agit pas d'un cordage complet mais d'un toron ; en l'occurrence, il est impossible de savoir si la corde originelle comprenait deux torons ou plus. Des « mèches » de fibres légèrement tordues en Z ont été associées dans un mouvement de torsion en S pour former

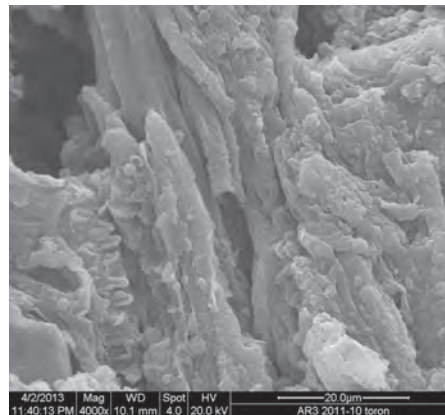
AR3 2011 # 21



**Fig. 280 :** Cordage, échantillon #21 (2011). Avers, revers, profil et extrémité de l'élément de cordage (F. Médard, Anatex).



**Fig. 281 :** Cordage, échantillon #21 (2011). Représentation schématique des éléments qui composent une corde (d'après Hurley 1979).



**Fig. 282a et 282b :** Prélèvements effectués sur les torons AR3 #21 (2011) et #10 (2011) (S. Knopf, IS2M/CNRS).

le toron. Chaque « mèche » mesure environ 4-5 mm de diamètre ; on en dénombre cinq sur l'échantillon prélevé, trop réduit en longueur pour qu'une de ces « mèches » puisse faire un tour complet. Cet élément se situe aux premiers temps de la fabrication de la corde (fig. 281).

S'il s'agit de liber comme cela est souvent le cas en corderie ancienne, l'obtention de mèches de fibres est quasiment évidente ; formé de lanières naturelles, le matériau a une tendance naturelle à s'organiser en mèches sous l'effet des manipulations.

#### *Matière première*

Sur chaque objet, un échantillon de matière première a été prélevé puis séché à l'air libre avant d'être engagé dans le microscope électronique à balayage. L'examen révèle un matériau d'origine végétale, très encrassé. Quelques fibres apparaissent prises sous des épaisseurs qui en dissimulent l'aspect comme la structuration. L'observation macroscopique est, en l'occurrence, presque plus probante ; l'aspect, l'ordonnement, la texture des cordages font écho à ce que l'on connaît des cordages archéologiques en liber (fig. 282a et 282b). Pour plus de précisions, un examen en microscopie optique serait approprié.

#### *Conclusion*

Les cordages et éléments de cordage analysés présentent tous des caractéristiques de fabrication différentes. Ce simple constat suggère des utilisations requérant des qualités elles-mêmes différentes, notamment, en termes de résistance aux actions mécaniques de tractions, de maintien, de déformation et de souplesse.

Le cordage objet 2 (2007) découvert au milieu du mobilier de bord à l'arrière du chaland gisait à proximité du *dolium*, parmi les branchages, les charbons de bois, les outils en fer (houe) et les céramiques (bouilloire, tessons divers) (Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011,

p. 127). On ignore quelle était sa fonction : lors de sa découverte, il était fragmenté, déposé (jeté ?) sur le plancher et sans contexte d'utilisation. De toute évidence, il s'agit d'un élément en situation de rejet, comme peuvent l'être de nombreux objets d'usage ordinaire et quotidien et peut ainsi peut-être être mis en relation avec le réa de poulie découvert parmi le mobilier de bord et vraisemblablement mis au rebut (*infra*, p. 241).

Le cordage #10 (2011) étant incomplet au niveau de son épaisseur, il est impossible de le caractériser convenablement. Toutefois, l'analyse technique de ce qui est préservé montre qu'il n'est pas fabriqué comme le précédent. Les brins sont arrangés de telle sorte qu'il en résulte un objet conçu pour être très résistant. Découvert au niveau d'un orifice percé dans le haut de la cloison longitudinale interne du caisson destiné à contenir les pierres de chargement, il pourrait s'agir d'un cordage à mettre en relation avec l'arrimage d'une bâche.

Le troisième cordage, également incomplet, atteste un autre mode d'assemblage des torons. Il s'agit d'un élément épais, robuste. Découvert sur la proue, il pourrait être en relation avec le maintien du mât ou les manœuvres d'amarrage du bateau (fig. 275).

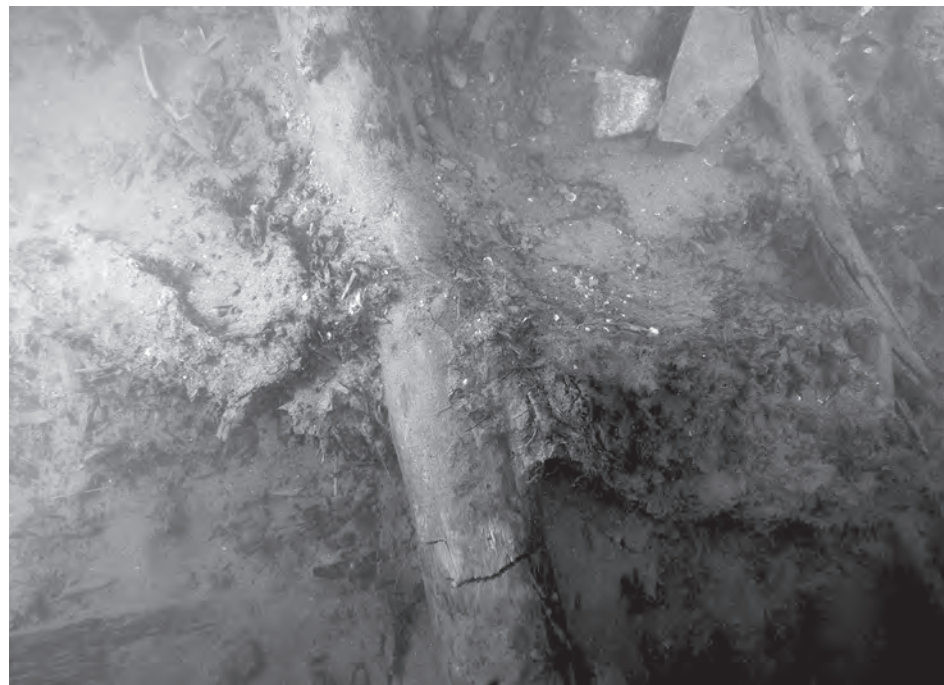
Le corpus des éléments analysés nous donne à voir un panel de fabrications différentes, obéissant à des objectifs probablement différents aussi. L'examen des matériaux montre qu'il ne s'agit pas de fibres textiles mais vraisemblablement de liber, dont on sait qu'il résiste mieux à l'immersion et à l'humidité ; il gagne même en robustesse lorsqu'il est mouillé. Ce matériau a comme autre avantage d'exister dans la nature sans effort de culture et d'être abondant sous l'écorce de certains arbres (tilleul, peuplier). Cette caractéristique pourrait plaider en faveur d'une utilisation privilégiée pour la fabrication des cordages qui en consomment d'importantes quantités.

## LES PERCHES

Sabrina MARLIER, Pierre POVEDA, Sandra GRECK

Sur l'avant du bateau, au niveau des membrures M133 et M135, deux longues pièces de bois fragmentées, disposées longitudinalement sur le côté tribord, ont été découvertes (pl. I). Elles étaient disposées sur des restes de natte décomposée qui, en raison de son extrême fragilité, n'a pas pu être prélevée et conservée (fig. 283).

La première pièce (identifiée sous le n° 3019-8), bien que fragmentée en six morceaux, est complète. Elle est longue de 198 cm, pour un diamètre de 6 à 7 cm. La seconde pièce (identifiée sous le n° 3019-9) est en revanche cassée en cinq fragments et est très dégradée, avec une extrémité cassée. Sa longueur conservée est de 96 cm pour un diamètre compris entre 5,4 et 5,6 cm<sup>115</sup>. Dans les deux cas, il s'agit de deux branches en bois de hêtre



**Fig. 283 :** Vue d'une des deux perches découvertes à la proue reposant sur une natte elle-même disposée sur le dos des membrures (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

115. Seule la pièce n° 3019-8 a été conservée et remise en place sur le bateau exposé. L'autre pièce, incomplète et trop dégradée, a été remise à l'eau, sur site, à l'issue de la fouille.

Fig. 284: Extrémité avant de la perche n° 3019.8 taillée en pointe (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).



relativement droites, grossièrement élaguées, non écorcées, aux extrémités taillées en pointe plus ou moins aiguë (US 3019.8) (fig. 284) ou en biseau (US 3019.9) à l'aide d'une lame à tranchant droit.

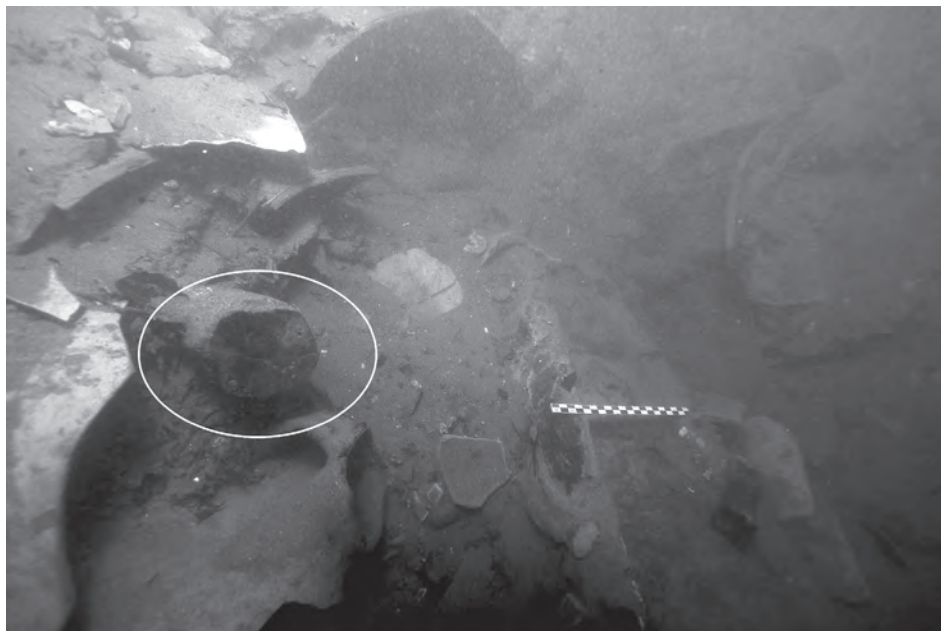
Aucun élément métallique n'ayant été fixé à l'une des extrémités de ces pièces, celles-ci ne peuvent pas être identifiées comme des gaffes et il s'agit vraisemblablement de perches. Étant donné leur courte longueur, elles n'ont probablement pas été utilisées pour la propulsion du chaland (*supra*, p. 212). Elles ont en revanche pu être utilisées aussi bien pour sonder le fond du Rhône, dans les zones de haut-fond, éloigner de la proue des branches ou des troncs dérivants lors des navigations que pour participer à certaines manœuvres ou encore renforcer l'amarrage du chaland. Durant la navigation, les perches de sonde étaient maniées par un « prouvier » – un batelier positionné à la proue – pour sonder le fond des passes à la descente comme à la remonte<sup>116</sup>. Les perches pouvaient être aussi utilisées pour écarter de la coque tout élément dérivant<sup>117</sup>. Lors de manœuvres, ces mêmes perches ont pu être utilisées pour éloigner la proue du bateau du quai ou, au contraire, pour pousser le bateau vers la rive ou encore pour virer<sup>118</sup>. Enfin, pour l'amarrage, selon la hauteur d'eau du fleuve, ce type de perche pouvait être planté dans le fond du cours d'eau, contre le flanc du bateau situé du côté du lit, afin d'éviter tout déplacement latéral de celui-ci.

Encore pourvues de leur écorce, il est exclu que le bois de ces perches provienne de bois flotté. Grossièrement élaguées, leur aspect rustique indique une sélection opportuniste de bois disponible à proximité des berges du Rhône, extrait au gré de la navigation et des haltes du chaland, selon les besoins. Le hêtre, l'une des essences les plus répandues du territoire, se rencontre communément dans les plaines de la moitié nord de la France et en montagne dans la moitié sud (Rameau, Mansion, Dume 1989, p. 453). Hormis quelques zones méridionales présentant les conditions écologiques nécessaires à la survie de l'espèce (Mont Ventoux, Montagne de Lure, Sainte-Baume), il faut remonter bien plus au nord d'Arles, en Ardèche par exemple, avant de pouvoir rencontrer les premières collines bordant le Rhône et peuplées de hêtres (Jacamon 1992, p. 130). Aux côtés des fragments de charbons de bois de hêtre découverts à la poupe (*infra*, p. 246), la présence de cette essence ligneuse à bord pourrait nous renseigner sur une partie de l'espace de navigation du chaland. Mais il ne peut pas être exclu que ces perches, tout comme le bois de chauffage, ont pu être récupérées sur un chantier naval, un quai ou bien sur une autre embarcation provenant du Nord et naviguant dans la section inférieure du Rhône.

116. Dans son roman, *Le Seigneur du fleuve* (qui a pour sujet la fin de la batellerie traditionnelle sur le Rhône au XIX<sup>e</sup> s., au moment de l'introduction de la navigation à vapeur), B. Clavel fait de très bonnes descriptions de la tâche du prouvier et du maniement de la perche de sonde à la descente (Clavel 1977, p. 66-67, 74) et à la remonte (p. 55, 64, 74).

117. *Ibid.*, p. 58, 70, 86, 100.

118. Une très belle manœuvre de retournement, aidée par une perche de sonde qui sert de pivot, est également décrite dans *Le Seigneur du fleuve* (*ibid.*, p. 94-95).



**Fig. 285 :** L'extrémité de l'équoirre présumée dégagée à côté de la proue, sur bâbord (côté berge) (T. Seguin, O'Can-Ipso Facto, MdAa/CG13).

## UNE ÉQUOIRRE ?

Sabrina MARLIER

Lors de la découverte de la proue, en 2010, l'extrémité d'une pièce de bois a été découverte sur bâbord, à moins de 20 cm. Fichée dans la berme de fouille, du côté de la berge, cette pièce a été dégagée sur à peine une dizaine de centimètres (fig. 285). Il s'agit d'une pièce de section ronde, de 8 cm de diamètre, et autour de laquelle était enroulé un cordage de même type que celui retrouvé en place sur le chaland, à proximité immédiate et disposé de façon perpendiculaire (*supra*) (pl. I). Cette pièce pourrait être une équoirre c'est-à-dire une longue pièce de bois destinée à assurer l'écartement du bateau par rapport à la berge et à le maintenir parallèle à celle-ci. Généralement utilisées par paire, une à l'avant du bateau, l'autre à l'arrière, les équoirres permettent aussi de prémunir les embarcations des échouages consécutifs aux crues et aux décrues. Leur mise en œuvre est simple : une extrémité est calée contre la rive tandis que l'autre extrémité est fixée au bateau, celui-ci étant amarré, au moyen d'un cordage. Si la découverte et la mise en relation du petit cordage posé transversalement à la proue et de l'extrémité de la pièce de bois munie du même type de cordage, à proximité, accèdent cette hypothèse, l'équoirre présumée n'a malheureusement pas été retrouvée lors de l'opération de fouille-relevage de 2011. Cette hypothèse ne peut donc pas être confirmée de manière formelle. Sa formulation est néanmoins importante car elle permet de supposer, d'une part, que le bateau était amarré au moment de son naufrage – ce qui va dans le sens d'une épave découverte avec la proue située face au courant – et de donner, d'autre part, une indication sur la localisation présumée de la berge antique, nécessairement proche.

## RESTITUTION DES FORMES ET ÉTUDES HYDROSTATIQUES

Pierre POVEDA

### MÉTHODOLOGIE

À première vue, la restitution des formes du chaland *Arles-Rhône 3* pourrait sembler plus simple à mettre en œuvre que pour la plupart des épaves généralement concernées par une étude de restitution des formes suivie d'une étude hydrostatique. Si, sous certains aspects, le processus général d'étude ainsi que le degré d'exactitude atteint par la proposition de restitution se sont en effet révélés grandement simplifiés par la quantité et la qualité des vestiges conservés du chaland, il n'en demeure pas moins que les caractéristiques



dimensionnelles et morphologiques de l'épave nous ont cependant amené à composer avec des difficultés inhabituelles et tout à fait spécifiques à ce cas d'étude.

## Spécificités et difficultés de la restitution des formes

Sans nul doute, la morphologie même du chaland, associée aux déformations d'ensemble de sa structure, ont constitué l'un des principaux points d'achoppement. De toute évidence, la vrille longitudinale de l'épave, conséquence de la topographie particulière du fleuve à l'endroit du naufrage et de la dynamique de déformation de la carène, observée notamment au niveau de la sole et des bordés de flancs (*supra*, chapitre 4), constituait a priori le principal problème à résoudre pour retrouver les formes originelles du chaland. Ainsi, par exemple, en ce qui concerne l'angle d'ouverture des flancs, un seul et unique point sur l'ensemble de la partie conservée (au niveau du banc de mât) nous permettait d'en définir précisément l'écartement originel.

Toutefois, cette vrille générale de la structure n'aurait pu être qu'un obstacle modéré si la morphologie globale du chaland ne présentait pas, en de nombreux endroits, des dissymétries importantes de forme et d'implantation des éléments. Une étude de restitution de formes s'appuie ainsi volontiers, en ce qui concerne les bateaux de mer, sur le principe général qui veut qu'un bateau soit traditionnellement construit de la manière la plus symétrique possible entre bâbord et tribord. En revanche, pour les bateaux d'eaux intérieures, on peut noter des exceptions notables à ce principe, telles les gondoles vénitiennes, embarcations lagunaires dont la forme asymétrique est intentionnellement donnée afin de s'adapter à une utilisation particulière du bateau en lien avec un mode de propulsion spécifique. Dans le cas du chaland *Arlès-Rhône 3*, celui-ci présente un nombre bien trop important de dissymétries, volontaires ou non de la part des constructeurs, pour nous permettre de considérer la symétrie initiale de forme de la coque comme un présumé acceptable pour le redressement des formes. Dans l'impossibilité de redresser les formes du chaland en ne s'intéressant qu'à sa forme du point de vue macroscopique, nous avons très vite conclu à la nécessité de prendre aussi en considération le redressement ponctuel d'éléments épars du chaland, en attachant un souci particulier à la remise en connexion parfaite de tous les assemblages.

Cette étape de l'étude s'est cependant révélée complexe étant donné les nombreuses déformations visibles sur les éléments de la carène et qui peuvent être attribuées tout autant à son séjour prolongé au fond du fleuve qu'aux actions de relevage qui ont induit des changements dans la forme de certains éléments (*supra*, chapitre 4).

Ainsi, les courbes transversales qui renseignent très précisément, grâce à leur angle, sur l'ouverture des flancs du chaland, présentent très souvent des différences remarquables entre bâbord et tribord au niveau d'un même couple. Différence que l'on peut imputer à une lente déformation résultant du long séjour de l'épave dans le fond du fleuve. Il apparaît que le flanc tribord (situé vers le centre du fleuve) sur lequel est venue s'appuyer la cargaison suite à la prise de gîte du chaland lorsque celui-ci a touché le fond, s'est manifestement ouvert sous le poids des pierres. Un processus opposé peut être observé sur le flanc bâbord qui s'est quant à lui refermé vers l'intérieur, en raison du poids des sédiments s'appuyant sur l'extérieur. L'observation des courbes permet ainsi de bien saisir le processus de formation de l'épave, avec les courbes bâbord à l'angle très fermé ( $\leq 90^\circ$ ), et souvent rompues ou fragilisées au niveau de leur coude, et des courbes tribord manifestement étirées au maximum de leur extension. Toutefois, si le procédé apparaît clairement dans sa nature, il n'en demeure pas moins difficilement quantifiable et ces repères qu'auraient pu constituer les courbes ne peuvent être utilisés sans points de référence supplémentaires afin de redresser les formes du chaland.

Ainsi, il paraissait envisageable de préciser le redressement nécessaire des parties déformées du chaland en s'appuyant sur une étude précise des bordés de flanc en sapin. Dans la mesure où il s'agit des pièces les plus massives du bateau, celles-ci présentent des sections ainsi qu'une courbure naturelle dans le plan horizontal qui doit limiter leur déformation dans le sens longitudinal permettant d'estimer le profil longitudinal du bateau et de restituer plus précisément l'importance et la localisation des zones de levées avant et arrière. Malheureusement, leur forme particulièrement allongée ne les a pas préservé d'une vrille importante, résultant du décalage des angles de fermeture des flancs évoqué précédemment. De plus, les relevés 3D effectués à la suite des relevages, dans un délai de quelques jours, permettent de mettre en évidence des phénomènes très rapides de déformation des différents tronçons d'un même flanc. On remarque ainsi que leur premier profil, relevé de manière préliminaire alors que le désassemblage du tronçon n'avait pas encore commencé, ne correspondait plus exactement à celui mesuré plus en détail sur l'élément de flanc une fois celui-ci dissocié de la sole (*supra*, p. 56). Dans ce cas précis,

encore une fois, s'il apparaît que des informations peuvent être déduites de la forme des flancs, il demeure nécessaire de prendre en compte de manière simultanée d'autres points de référence afin de valider et d'affiner notre redressement.

## Points de référence remarquables pour le redressement des formes

En résumé, compte-tenu des problèmes posés par le redressement des déformations que nous venons d'évoquer, il est très vite apparu que seule une recherche systématique dans un modèle tridimensionnel d'une solution cohérente de redressement pouvait s'effectuer en prêtant attention simultanément aux divers éléments suivants :

- La prise en compte, pour le profil longitudinal restitué, de la courbure conservée des flancs. Courbure qui s'est très vite révélée identique à celle de la sole, relevée en son milieu (en faisant abstraction d'effondrements ponctuels qui ont pu être aisément identifiés et corrigés), et qui nous a rapidement permis de retrouver le profil longitudinal original du chaland.
- L'écartement interne, entre les flancs, restituable au niveau du banc de mât, mesuré à partir de la longueur de celui-ci, nous permettait d'envisager la restitution du profil transversal de manière certaine en ce point particulier du bateau. Écartement que l'on pouvait alors associer à l'angle redressé des courbes transversales situées au niveau du banc.
- Par ailleurs, la recherche de l'angle de fermeture originel des courbes en tenant compte tout à la fois de la moyenne des angles observés sur les vestiges et sur la correspondance avec les flancs redressés, devait permettre de retrouver l'ensemble des profils transversaux du chaland.
- Enfin, en ce qui concerne la restitution en plan, on notera que seul un travail de correction de la vrille de la sole s'est révélé nécessaire, en s'appuyant tout à la fois sur le profil longitudinal retrouvé à partir de la courbure des flancs et sur un redressement à l'horizontal de l'ensemble des varangues.

## Processus

L'informatisation des relevés effectués sur l'épave (*supra*, p. 55-56) ainsi que la possibilité de manier aisément et avec une grande précision cette quantité importante de données, nous ont très vite amené à considérer l'utilisation d'un modèle virtuel en 3D de l'épave comme la base logique d'une étude de redressement des formes. De fait, à partir du modèle filaire des vestiges (fig. 29), nous avons tout d'abord procédé à la modélisation d'un certain nombre d'éléments distinctifs et utiles dans la recherche des formes originales : flancs, courbes, varangues, sole, éléments du banc de mât, sans oublier les éléments d'assemblage associés à ces divers éléments.

À ce stade, il a été tenu compte, lors de la modélisation, de la découpe effectuée lors du relevage afin de disposer en virtuel de tous les éléments constitutifs de l'épave. Par ce biais, il était possible d'envisager le redressement de tous les éléments de proche en proche en tenant particulièrement compte des points de référence remarquables déterminés précédemment. Si le premier travail a consisté à redresser la vrille de la sole, il s'est néanmoins très vite avéré que l'ensemble des recherches sur le redressement devait s'effectuer de manière concomitante sur l'ensemble des points de référence remarquables, aboutissant au final à la production du modèle redressé du chaland que nous proposons ici (fig. 287). Le travail de recherche des formes s'est ainsi essentiellement concentré sur un modèle tridimensionnel virtuel combinant à la fois les relevés bruts, sous la forme d'un modèle filaire<sup>119</sup>, et un certain nombre d'éléments modélisés, sous la forme de volumes 3D<sup>120</sup>. Sans rentrer dans le détail du redressement dans toutes les parties du chaland, on notera toutefois l'importance accordée aux vérifications effectuées à chaque étape du redressement, grâce à une comparaison simultanée de données brutes provenant du relevé avec celles de la modélisation de restitution.

## RESTITUTION DES FORMES ET DU SYSTÈME MÉCANIQUE

Nous avons pu calculer que 93 % de la coque du bateau originel ont été conservés. Étant donné l'importance qualitative et quantitative des parties préservées du chaland<sup>121</sup>, le résultat final du redressement des déformations et de la restitution des parties disparues sur l'arrière ne se révèle pas véritablement différent de ce que l'on pouvait observer de l'épave dans son état de découverte. Il n'en demeure pas moins que certains points de la restitution demeurent suffisamment incertains pour que l'on considère encore la restitution

119. Ce que nous désignons par « modèle filaire » correspond à une représentation où l'objet modélisé n'est constitué que par une armature composée d'une multitude de lignes représentant généralement les lignes caractéristiques de cet objet (arêtes et sections transversales et longitudinales dans la plupart des cas) (fig. 29).

120. Dans le cas d'un « modèle volumique », les objets ont été redessinés en trois dimensions à partir de leurs lignes caractéristiques. Ce sont dès lors des volumes fermés composés d'une multitude de surfaces formant leur enveloppe (fig. 287).

121. On notera qu'au sein des éléments très significatifs de la construction qui permettent d'établir l'hypothèse de restitution, seule manque la partie arrière du chaland (*supra*, p. 77) où un élément particulier devait permettre de fermer les formes du chaland et supporter la pelle de gouverne.

proposée ici comme une hypothèse ouverte, pouvant faire l'objet de modifications et de réinterprétations éventuelles. Dans la dernière hypothèse de travail que nous présentons ici, le chaland présente donc une longueur hors-tout (pelle de gouverne exclue) de 31,12 m pour une largeur maximale de 2,90 m. La hauteur maximale entre le fond de la sole et le point le plus élevé des flancs est de 0,99 m ; toutefois si l'on prend en compte la hauteur du mât de halage, le tirant d'air du chaland s'élève alors à 3,79 m.

## Un chaland dissymétrique ?

À l'échelle du bateau on notera la très grande disparité de formes entre certaines pièces théoriquement identiques et les fréquentes dissymétries observables au sein du chaland, phénomène inhabituel qui n'a pas été sans poser problème lors du redressement des formes. Si quelques légères dissymétries, comme celles observables au niveau de la hauteur des deux flancs, peuvent s'interpréter aisément comme des approximations raisonnables pouvant provenir de la forme et des défauts originaux de l'arbre, une dissymétrie particulière et d'importance pose cependant question. En effet, si on observe le bateau en plan, on note une différence très sensible de forme, entre bâbord et tribord, au niveau des extrémités et particulièrement sur l'arrière. Le chaland présente de fait une courbure qui tend à décaler ses deux extrémités vers tribord.

Le long de son axe longitudinal, on observe que le chaland s'avère parfaitement symétrique entre les varangues M104 et M134. Toutefois, à la proue, cet axe se retrouve décalé de 12 cm sur bâbord par rapport au milieu de la proue, tandis qu'à l'arrière le phénomène est d'autant plus marqué puisque l'axe est alors décalé de près de 26 cm par rapport au milieu de la poupe. Il est difficile de juger du caractère intentionnel d'une telle forme : s'agit-il d'une conception dissymétrique affirmée du bateau ou bien simplement de la conséquence, lors de la construction, d'une erreur ou d'un impératif induit par le matériau bois disponible ? S'il est difficile de trancher et de répondre clairement à cette question, quelques éléments de réflexion méritent néanmoins d'être soulevés. Tout d'abord, la principale conséquence d'une telle forme est bien évidemment à percevoir dans le comportement du bateau en navigation. Étant donné la courbure de la carène, le chaland a donc naturellement tendance à virer sur tribord. Une telle dissymétrie pourrait donc s'expliquer par la volonté manifeste, lors de la conception, d'équilibrer, via la forme du bateau, un déséquilibre de route induit par le mode de propulsion. L'exemple le plus connu d'une telle conception étant très certainement la gondole vénitienne qui contrebalance, par sa forme asymétrique, à la fois la position décentrée du gondolier et le fait qu'il n'y ait qu'une rame de propulsion sur tribord. Pour *Arles-Rhône 3*, cette forme particulière ainsi que le mouvement qui en résulte pourraient très bien être interprétés comme une volonté manifeste de corriger le déséquilibre produit par le halage du chaland depuis son côté bâbord, soit du côté rive droite du fleuve<sup>122</sup>. Une telle hypothèse suppose néanmoins que le halage de ce bateau se soit toujours exercé depuis cette rive du Rhône et que les aménagements particuliers nécessaires à la remontée (chemin de halage en relation avec un chenal suffisamment profond...) devaient donc s'y trouver. Bien que le Rhône soit, entre Arles et Lyon, un fleuve rectiligne qui pourrait permettre d'imaginer que le halage ait pu être pratiqué, tout au long du parcours d'une embarcation, depuis la même rive<sup>123</sup>, les recherches conduites par Jacques Rossiaud sur le Rhône au Moyen Âge révèlent que le halage était pratiqué alternativement depuis la rive droite et la rive gauche du fleuve, en fonction de la praticabilité des berges rencontrées le long du parcours (Rossiaud 1978, p. 284-285)<sup>124</sup>.

A cela s'ajoute que la position du mât de halage, au point de résistance latérale<sup>125</sup> du chaland, devait permettre de maintenir facilement le chaland écarté de la berge lors des phases de halage (Mc Kee 1998, p. 132). Enfin, on notera que si une asymétrie de forme adéquate représente un atout certain lors de la remontée du fleuve par halage depuis une même rive, cela entraîne inévitablement une instabilité de route du chaland à la descente, en l'occurrence avec une tendance à virer sur tribord, qui se doit d'être compensée en permanence par le barreur. Si on peut s'interroger sur la vraisemblance d'une telle pratique, l'asymétrie de forme effective du chaland, qu'elle ait été volontairement posée au moment de la conception ou qu'elle ait été introduite fortuitement lors de la construction, devait nécessairement entraîner le redressement de la course du chaland par le barreur à la descente.

Au vu de ces éléments, une autre hypothèse peut être proposée pour l'interprétation de cette importante dissymétrie : celle d'une forme de coque induite directement par la forme des bois disponibles pour la construction. Dans ce cas, ce n'est pas tant le sapin nécessaire pour le façonnage des flancs qui va déterminer la forme en plan du chaland mais celle des chênes dans lesquels ont été sculptés les bouchains monoxyles, dont la forme générale a bien évidemment été contrainte par la forme de l'arbre originel. La possibilité

122. À titre d'information, on soulignera que si un tel choix architectural n'est pas connu pour la batellerie rhodanienne plus récente, on a pu cependant l'observer dans d'autres parties du monde comme pour les jonques chinoises du *Wou-Kiang*, étudiées par L. Audemard le long des rapides du *Yang-Tsé*, et dont l'arrière est volontairement courbé. Dans ce cas, la courbure volontaire de la coque n'est pas à mettre en relation avec le halage mais est destinée à permettre l'utilisation synchronique des deux rames-gouvernails qui ne sont pas de même longueur ni disposées du même côté (Rieth (dir.) 2010, p. 108).

123. Contrairement aux fleuves de type méandri-forme qui présentent une rive plus favorable à l'autre pour la pratique du halage. Ainsi, la rive concave, qui correspond souvent à une berge élevée et à l'abri des crues, est longée par un chenal profond favorable à la navigation. La rive convexe, au contraire, présente l'aspect d'une grève sédimentaire, basse, parsemée de haut-fonds et peu propice à la navigation (Rieth 1998, p. 22-23).

124. Ce qui conduisait les équipages à pratiquer des « culissages » réguliers, c'est-à-dire des opérations de traversée du fleuve pour passer en rive opposée lorsque le halage n'était plus possible depuis la rive sur laquelle se trouvaient les barques en cours de remonte.

125. Le centre de résistance latérale (CLR) est le centre de la surface immergée vue de côté.

que l'un des deux chênes utilisés pour la formation des bordés monoxyles de transition, dont les longueurs sont supérieures à 19 m, ait été trop courbé par rapport à son jumeau de l'autre bord est à considérer pour expliquer la divergence à la poupe à partir du couple M102. En revanche, les bouchains de la proue étant composés de plusieurs pièces (*supra*, p. 86-89), cette explication ne peut être retenue pour expliquer la dissymétrie observée sur l'avant. Dans ce cas, on serait tenté d'avancer l'hypothèse d'une erreur dans le processus de construction, ou du moins d'une approximation de la part des charpentiers. Une telle idée apparaît cependant assez peu convaincante au regard du soin relatif apporté à la construction et surtout au fait que dans la majeure partie du chaland (entre les varangues M104 et M134) la symétrie de forme est parfaitement respectée, au point que l'on peut envisager l'usage d'un cordeau afin de bien vérifier la symétrie de forme du bateau<sup>126</sup>.

En définitive, et au regard des divers éléments de réflexion avancés, il apparaît donc bien difficile de trancher entre les deux hypothèses précédemment évoquées : celle d'une forme asymétrique conçue volontairement pour s'adapter au mode de propulsion ou de navigation du chaland, ou celle d'une forme imposée par le bois de construction disponible.

## Restitution des parties disparues et du système mécanique

Compte-tenu du procédé particulier de redressement des formes appliqué ici, il est apparu préférable de présenter les choix de restitution dans le chaland par zone significative (l'arrière, l'espace de chargement, le complexe du banc de mât et la proue) plutôt que de s'intéresser, comme on le ferait habituellement, aux grands ensembles architecturaux tels que le bordé, la membrure, les flancs, *etc.* Ce choix provient essentiellement, nous l'avons vu, de l'interconnexion étroite que nous avons établi entre les différents éléments pour quantifier le redressement adéquat des formes du bateau.

### *La poupe et le système de gouverne*

La zone de l'arrière de l'épave concentre l'essentiel des parties non conservées du chaland. À ce titre, le travail de restitution y est donc naturellement plus important et son caractère d'autant plus hypothétique. Cependant, compte-tenu de l'importante quantité de données significatives conservées, il est permis d'en dresser un plan relativement certain.

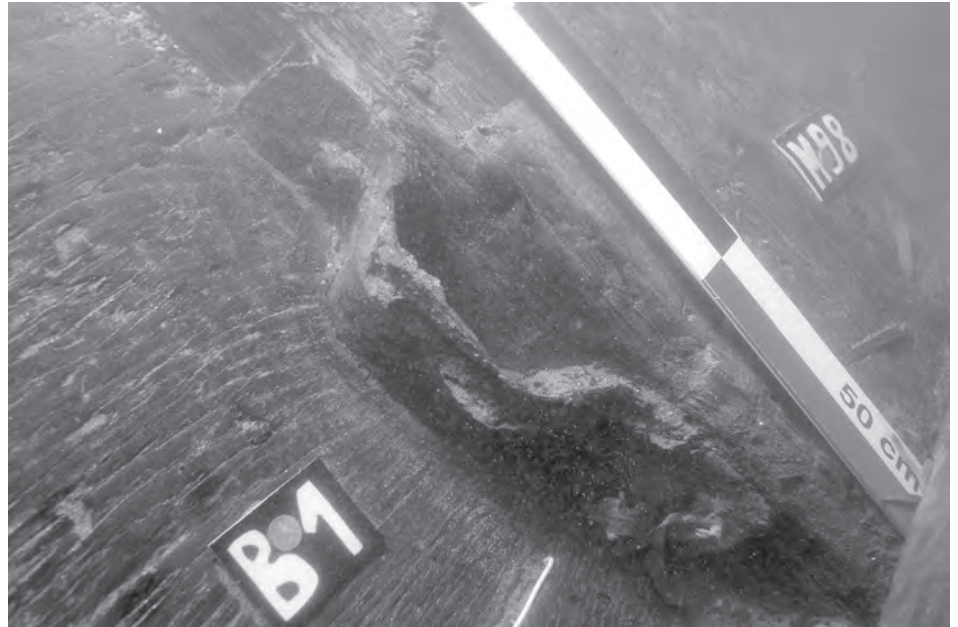
Si la restitution de la plupart des éléments disparus du flanc bâbord peuvent être reproduits par symétrie avec ceux conservés à tribord<sup>127</sup>, il semblait néanmoins difficile de définir avec précision la limite de l'extrémité arrière du chaland. Cependant, les données concernant le gouvernail et la façon dont celui-ci devait être manié par le timonier permettent de déterminer la position et la forme globale de l'extrémité arrière. En s'appuyant sur les encoches situées sur la planche-support longitudinale P1, conservée sur l'arrière du flanc tribord, il était tout d'abord envisageable de restituer la plateforme sur laquelle devait se positionner le barreur. En combinant ce premier élément avec les informations apportées par l'étude de la pelle de gouverne, en particulier sur la mortaise du *clavus*, sur son centre de gravité et sur les deux trous situés au niveau de la pelle servant à sa retenue, il s'avérait dès lors possible de restituer précisément tout à la fois la position, l'inclinaison du gouvernail, mais aussi la position de son point d'attache, correspondant à la zone de fermeture du chaland. À partir de ces éléments, on peut restituer un tableau arrière, positionné très légèrement en retrait de la limite de conservation de la sole, qui devait servir d'appui à la mèche du gouvernail (fig. 287). On notera que la dissymétrie observée sur la partie arrière entraîne *de facto* un décalage nécessaire de la pelle de gouverne vers le côté bâbord de ce tableau arrière afin que la pelle soit alignée avec le milieu de la plateforme où devait se situer le barreur. Cette position correspond alors avec celle de la ferrure fixée sur la face postérieure de la varangue M98 (pl. II et fig. 286) que l'on peut donc associer au fonctionnement de la pelle de gouverne, via notamment une épontille de soutien qui pouvait y être insérée et bloquée afin de soutenir la pelle dans certain cas. À cela devait s'ajouter divers éléments permettant, lors des navigations, le maintien de la pelle dans la bonne inclinaison tels que des étais ou une fourche. Concernant la pelle de gouverne en elle-même, on note que sa surface latérale immergée est moindre puisqu'elle représente environ 4 % de la surface latérale immergée totale du chaland. Ce chiffre peut paraître faible et doit nous amener à nous questionner sur la longueur originale de la pelle. Si les observations réalisées sur la pièce laissent penser qu'elle est complète (*supra*, p. 213-214), les comparaisons dimensionnelles que l'on peut établir avec la pelle découverte sur le chaland de Bevaix (Arnold 1992a, p. 95), ainsi que le pourcentage énoncé précédemment, conduisent à considérer l'hypothèse, proposée par Béat Arnold, d'un raccourcissement involontaire de la pelle à la suite de sa rupture<sup>128</sup>. La pelle, telle qu'elle a été découverte, pouvait certes encore servir de façon acceptable, mais il est probable qu'elle devait être initialement plus longue et cette situation, lors du naufrage du chaland, ne devait être que

126. Cette réflexion est à mettre en relation avec une série de petits clous en fer découverte sur les tronçons de l'épave et que l'on propose d'interpréter comme des aides à la construction pour tendre des fils ou des cordelettes qui permettaient de vérifier l'alignement de certains éléments de construction ou marquer des repères (*supra*, p. 208 ; fig. 262).

127. On notera que la partie conservée du flanc bâbord, au niveau de la varangue M101, n'a cependant pas permis d'observer la présence d'une planche-support longitudinale comme sur tribord, ce qui tend à nuancer la parfaite symétrie structurelle entre les deux bords.

128. Selon B. Arnold, la longueur de manche est en effet trop importante par rapport à la longueur de la pelle immergée. Selon lui, l'extrémité arrière de la pelle a dû être arrachée lors d'un incident et rectifiée à la suite par les bateliers.

Fig. 286 : Ferrure fixée sur le can arrière de la varangue M98 (Ch. Durand, CCJ/CNRS).



temporaire. Si l'on se fonde sur la comparaison entre la surface latérale immergée totale du chaland et celle de la pelle de gouverne, la pelle aurait dû être plus longue de 1,10 m environ afin d'atteindre un rapport de grandeur plus habituel de 8 %. Selon ce calcul, la longueur originelle de la pelle serait alors de 8,30 m.

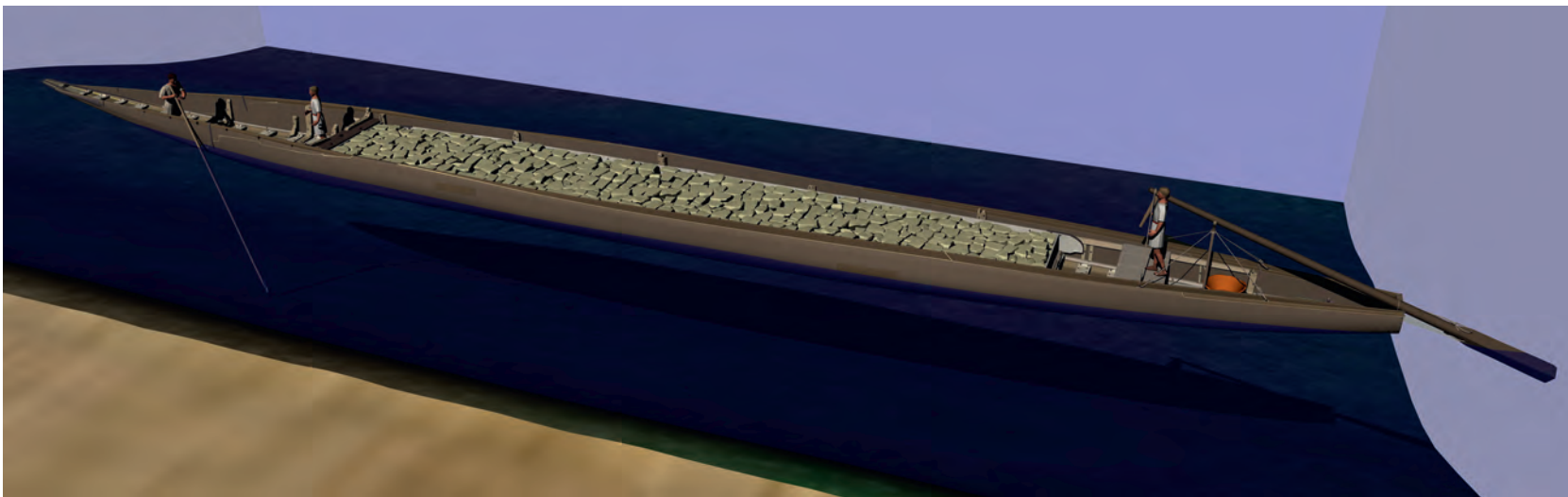
#### *Le caisson et la zone de chargement*

La partie centrale du chaland, particulièrement bien préservée, n'a pas nécessité un travail de restitution très poussé. Et, au regard des données archéologiques, seules deux questions pouvaient se poser : comment envisager la fermeture du caisson sur l'arrière, au niveau de la traverse à ressaut (Tr), et quelle fonction envisager pour les encoches formées par le décroché réalisé sur l'arrière des têtes de courbes transversales (*supra*, p. 94-95) et les flancs ?

Pour la fermeture du caisson sur l'arrière, la présence de la traverse dotée d'un ressaut en face supérieure (pl. III) et posée sur le vaigrage semble marquer l'emplacement d'une planche verticale calée contre ce ressaut et éventuellement fixée aux flancs ou bien encore aux cloisons. On peut toutefois imaginer la présence d'un ou de plusieurs dispositifs différents en fonction de la modulation des éléments mobiles du caisson pour s'adapter aux différentes cargaisons. Dans cet ordre d'idée, l'utilisation qui pouvait être faite des deux cloisons latérales (C11 et C12) semble représentative de la modularité de l'espace de cargaison du chaland. Ainsi, il a été suggéré que les décrochés aménagés sur le sommet des courbes transversales pouvaient être liés à la mise en place de fargues ou de longières<sup>129</sup>. L'étude de restitution a permis de mettre en avant le fait que la disposition de ces encoches ne se prêtait qu'assez difficilement à cette proposition. La solution la plus cohérente, et qui s'inscrit dans l'idée d'un caisson modulable en fonction du type de cargaison, est celle de la mise en place dans ces encoches des cloisons latérales retrouvées en positions basses sur l'épave. Lors d'un transport de pondéreux, comme les pierres transportées lors du dernier voyage du chaland, les cloisons font office de protection des flancs sur l'intérieur. Et lors d'un transport d'une cargaison plus volumineuse, tels que des ballots de laine ou de paille, ces mêmes cloisons pouvaient être disposées en élévation, coincées dans les encoches, et elles servaient alors à contenir le chargement. Dans le cas d'un transport éventuel de caprinés, comme semblent le suggérer les analyses palynologiques (*supra*, p. 134-135), la surélévation du franc-bord par ces longières prend, là aussi, tout son sens afin de contenir le troupeau<sup>130</sup> (fig. 333). Il apparaît malgré tout que les cloisons, une fois enclenchées dans les encoches, devaient être maintenues, soit par un ensemble de liens, soit par l'ajout de simple planches verticales calées entre celles-ci et les flancs.

129. Nous remercions P. Feron pour sa suggestion communiquée à S. Marlier lors d'un séminaire donné dans le cadre du cycle « Archéologie nautique médiévale et moderne » organisé par É. Rieth à l'université de Paris I en février 2013.

130. On notera cependant que dans le cas d'un transport de chèvres, celles-ci pouvaient éventuellement être entravées au niveau de leurs pattes afin d'éviter tout mouvement du troupeau.



CAO DAO P. Poveda



Fig. 287 : Modèle 3D du chaland restitué avec son chargement de pierres, à la descente.

### La zone du mât et la proue

Dans cette zone particulièrement bien préservée, le travail de restitution s'avère minimal. Un premier point de restitution concerne le maintien du mât de halage dans son emplacement. La question de la résistance du mât et de son caractère autoporteur peut bien entendu se poser<sup>131</sup>. Toutefois, une étude attentive des vestiges semble clairement indiquer le passage d'un haubanage transversal dans la ferrure cylindrique située en tête de mât (fig. 267). Il est cependant difficile de définir précisément la méthode de liaison de ces haubans à la structure du chaland. Compte-tenu de l'absence de tout point d'accroche sur les flancs, il est apparu que les seuls éléments symétriques pouvant éventuellement être mis en relation avec le maintien du mât sont les deux mortaises creusées dans l'épaisseur du banc de mât ainsi que les deux petites mortaises aménagées, quasiment en regard des deux précédentes, sur la face supérieure de l'emplanture. Le mât ayant été déposé lors de la dernière navigation du chaland, l'ensemble des éléments du gréement devait être stocké non loin du banc et n'a pas été conservé.

Dans l'hypothèse proposée, les deux haubans sont bloqués par deux pièces de bois (de la forme d'une pyramide tronquée très allongée) enfoncées à travers les mortaises du banc de mât, jusqu'à buter plus bas dans les mortaises de l'emplanture. En dessous du banc de mât, ces deux pièces sont verrouillées par deux chevilles enfoncées horizontalement qui devaient empêcher celles-ci de remonter et de se déloger des mortaises de l'emplanture, entraînant le relâchement de la tension dans le haubanage (fig. 48 et 182). Toutefois, étant donné l'angle d'application des forces de traction sur le mât, le simple positionnement de ces pièces et leur blocage dans les mortaises de l'emplanture devaient éventuellement permettre de les bloquer d'elles-mêmes sous tension sans nécessiter de cheville de blocage. On notera que l'angle dès lors formé par les haubans se révèle très fermé et que ceux-ci sont très peu décalés sur l'arrière par rapport au mât. Au point que l'on peut se questionner sur le besoin d'un autre maintien du mât sur l'arrière. Le crochet métallique fixé à la face postérieure du mât pourrait être interprété en ce sens. Mais ici encore, l'absence de point d'accroche sur les flancs pour la fixation de cette retenue arrière ne permet pas d'être catégorique en ce sens. On notera que la fonction du crochet demeure par conséquent indéterminée et on peut y voir soit la possibilité d'y passer une retenue arrière pour le mât de halage soit l'éventualité d'y frapper un petit mât de charge pivotant autour du mât de halage à l'image de ce que l'on a pu observer pour les périodes plus récentes sur différentes unités de batellerie.

## ÉTUDES HYDROSTATIQUES ET TONNAGE

L'étude de l'hydrostatique et du tonnage du chaland *Arles-Rhône 3* est nécessairement conditionnée par l'espace de navigation fluvial du chaland ainsi que par ses modes particuliers de propulsion dont est exclue la voile. En conséquence, l'étude s'en trouve grandement simplifiée puisque les questions inhérentes à la stabilité du chaland vont se poser de manière marginale, tandis que c'est bien la question du franc-bord qui fera ici l'objet d'une attention particulière.

131. On aurait pu envisager, afin de vérifier la validité d'un mât autoporteur, de comparer le module de résistance du mât de halage avec la force de traction nécessaire pour faire avancer le chaland à une certaine vitesse dans les conditions de navigation envisageables pour le Rhône. Toutefois, le manque de données pour ce qui concerne la vitesse de halage, le type de transmission de la traction et les différentes résistances à l'avancement de la carène en fonction de l'agitation des eaux, nous ont conduit à déléguer une telle recherche dont les résultats nous ont paru pour trop imprécis.

## Déplacement lège

Dans un premier temps, il s'agissait de dresser un devis de masse complet du bateau restitué, en tenant compte à la fois de l'importance et de la répartition des poids. Sur la base du modèle virtuel, nous avons pu effectuer un cubage précis de toutes les pièces de bois et mesurer pour chacune d'elles l'emplacement de leurs centres de gravité. Vérifier le taux réel de dessiccation du bois au moment de sa mise en œuvre s'avérant chose difficile, nous avons pris le parti de tabler sur un taux de séchage correspondant à l'équilibre hygroscopique des bois dits « secs à l'air », soit à 15 % d'humidité<sup>132</sup>. L'ensemble du devis de poids permet de dresser au final un volume total de bois pour le navire restitué de 13,32 m<sup>3</sup>, correspondant à un poids en lège de 8,13 t.m, entraînant un enfoncement du chaland de 12,2 cm. Au regard de ces résultats, quelques éléments de réflexion peuvent être proposés : tout d'abord, on notera que le poids moyen d'un mètre de chaland à vide s'élève à 261 kg, ce qui paraît comme une mesure relativement basse en comparaison des 678 kg.m calculés à partir des données fournies pour la « restitution idéale d'une embarcation de type « groupe I » du Parc Saint-Georges à Lyon (Ep. 2, Ep. 3, Ep. 4, Ep. 5, Ep. 7) »<sup>133</sup>. Enfin, soulignons que le poids de l'ensemble des clous a été estimé à 77 kg et le poids de l'ensemble des ferrures à 160 kg (avec environ 70 kg pour l'armature de la proue), soit un total de 237 kg. Le poids du métal dans la coque représente donc à peine 3 % de l'ensemble, soit une très faible proportion, que l'on peut sans doute relier à la présence de nombreux éléments monoxyles mais aussi, au-delà du nombre restreint de courbes, aux modules des clous utilisés qui se révèlent être deux et demi à cinq fois plus légers que ceux employés sur le chaland de Bevaix<sup>134</sup> (fig. 158).

## Poids de la cargaison de pierres : le tonnage au moment du naufrage

Concernant la cargaison de pierres que transportait le chaland lors de son naufrage, le calcul de la masse de celles-ci s'est effectué encore une fois sur la base du modèle virtuel<sup>135</sup>. Il était tout d'abord envisageable d'effectuer la mesure du volume total du caisson de chargement. Circonscrit par le vaigrage et les cloisons, le volume du caisson demeure cependant ouvert vers le haut. Selon que l'on pose la limite au niveau de la limite supérieure des cloisons ou bien au niveau de la limite supérieure des flancs nous obtenons deux volumes très différents, respectivement de 13,33 m<sup>3</sup> et de 19,20 m<sup>3</sup>. Toutefois les observations durant la fouille permettent d'établir que le niveau de chargement des pierres ne semble pas s'être effectué au-delà, en hauteur, de la limite des cloisons, ce qui nous a conduits à privilégier le chiffre de 13,33 m<sup>3</sup>. À partir de ce chiffre, il était possible d'effectuer un calcul du poids de la cargaison en considérant à la fois la densité des pierres, mesurée par ailleurs (*infra*, p. 253), et le coefficient d'arrimage de la cargaison soit, en d'autres termes, la proportion de vide et de pierres dans le caisson. Toutefois, faute de pouvoir définir convenablement le coefficient d'arrimage adéquat, à partir de ceux référencés pour des usages modernes, nous avons pris le parti de modéliser la cargaison en essayant de reproduire le plus fidèlement possible le rangement ainsi que la densité observés lors de la fouille. De cette manière, le coefficient d'arrimage de la cargaison de pierre transporté dans le chaland peut être estimé à 0,62 m<sup>3</sup>.t, ce qui correspond à un poids de 21,48 t.m dans l'espace du caisson défini précédemment<sup>136</sup>. En définitive on peut donc estimer que le déplacement en charge du chaland au moment de son naufrage devait s'établir aux alentours de 29,60 t.m, entraînant en enfoncement de 51,6 cm. Dans ce cas le franc-bord restant est alors de 23 cm. Si ce chiffre peut sembler faible, au regard des règles de franc-bord contemporaines, les habitudes en milieu fluvial, ainsi que de nombreux exemples ethnographiques, permettent néanmoins de penser qu'il s'agissait là d'une pratique courante et envisageable (fig. 288, 289 et 290).

132. Il est souvent fait état de taux de dessiccation proche de 22 % à 25 % pour les bois de marine (Jensen 1999, p. 80; Krantz 1852, p. 33). Toutefois, par manque de données précises quant à la densité des bois à ce niveau de dessiccation, nous nous en tenons donc au taux de 15 % qui s'en rapproche le plus.

133. Pour une longueur de coque estimée à 28 m (Guyon 2010, p. 94) et un déplacement lège de 19 t. Ces évaluations sont le résultat d'un travail inédit conduit par É. Rieth et M. Ginisty, architecte naval.

134. Ce chaland compte ainsi, par rapport à AR3, trois fois moins de clous pour l'assemblage d'une coque de près de 20 m de longueur (communication personnelle B. Arnold).

135. Afin de mener à bien l'ensemble de nos analyses, la réalisation d'un second modèle numérique s'est révélée essentielle. À ce stade, il était nécessaire d'obtenir un unique volume clos et étanche, représentant uniquement la surface extérieure de l'ensemble de la coque, sur lequel on puisse effectuer les expériences d'enfoncement.

136. On notera que le volume réel de pierres transporté est de 8,66 m<sup>3</sup>.

Fig. 288 : Dimensions restituées du chaland Arles-Rhône 3.

Longueur hors-Tout	Largeur	Hauteur	Hauteur mâté
31,12 m	2,9 m	0,99 m	3,79 m

Fig. 289 : Devis de poids résumé du chaland Arles-Rhône 3.

Ensemble architectural	Poids (t.m)
Sole	2,32
Membrure	1,5
Flancs	2,92
Caisson	1,07
Mât	0,13
Pelle de gouverne	0,19
<b>Total</b>	<b>8,13</b>

Fig. 290 : Hydrostatique résumé du chaland Arles-Rhône 3.

	Hauteur conservée de franc-bord	Déplacement (t.m)	Port-en-Lourd correspondant (t.m)
	0 cm	43,62	35,49
	5 cm	40,45	32,32
	10 cm	35,80	27,67
	20 cm	30,83	22,70
<b>Chargement au moment du naufrage</b>	<b>23 cm</b>	<b>29,61</b>	<b>21,48</b>
	30 cm	24,24	16,11
	40 cm	18,15	10,02
<b>Navigation à Vide</b>	<b>59 cm</b>	<b>8,13</b>	<b>0,00</b>

## Observations

Il paraît difficilement envisageable d'entreprendre sur *Arles-Rhône 3* une étude poussée afin de définir précisément le port en lourd maximal autorisé par le chaland ainsi que les conditions de stabilité qui devait régir son chargement. En effet les conditions de déplacement sur un fleuve, qui plus est par le biais du halage, ou bien encore du perchage, sont telles que les problèmes de stabilité et d'enfoncement ne se posent pas dans les mêmes termes qu'en mer.

En ce sens, il nous est permis de mesurer le déplacement du chaland pour n'importe quel enfoncement. On notera, par exemple, qu'en gardant 10 cm de franc-bord le déplacement passe à 35,8 t.m, soit un port en lourd de 27,67 t.m. Toutefois il nous est difficile d'établir précisément la limite maximum d'usage que devaient se fixer les équipages de l'époque. Il paraît donc plus raisonnable de considérer le déplacement maximum du chaland aux alentours de 30 t.m, ce qui correspond à sa situation au moment de son naufrage. On notera en revanche qu'à partir de la cargaison restituée au moment du naufrage (21,48 t, *supra*) on peut établir que le ratio entre la longueur et le port en lourd est de 0,69, soit un chiffre nettement moindre si on le compare encore une fois aux chalands de Lyon pour lesquels le ratio est de 1,96 (55 tonnes de port en lourd) (*infra*, p. 284)<sup>137</sup>, ratio inhabituel qui est à mettre en relation avec le non moins inhabituel coefficient d'allongement du chaland *Arles-Rhône 3* (10,76).

L'étude hydrostatique permet aussi de répondre précisément à l'une des questions posée par un certain nombre de chalands du bassin rhodanien ayant la particularité commune de présenter des demi-troncs de résineux pour la réalisation de leurs flancs (*Arles-Rhône 3*, *Arles-Rhône 5*, les épaves *Ep. 2*, *Ep. 4*, *Ep. 5* du parc Saint-Georges à Lyon) : la forme des demi-troncs en sapin était-elle destinée à fournir au chaland un surplus de flottabilité ?

Afin de vérifier une telle hypothèse, il s'est avéré nécessaire de produire un modèle 3D du chaland dans lequel les deux demi-troncs de sapin seraient remplacés par des flancs de sapin réguliers de 6 cm d'épaisseur, le but étant alors de comparer, dans le cas d'un déplacement à vide et dans le cas d'un déplacement en charge, les deux tirants d'eau résultant de la modification de la forme des flancs. Dans leur état de découverte, le poids des flancs peut être estimé à 2,92 tonnes, leur volume total s'établissant à 6 m<sup>3</sup>. Dans ce cas, comme vu précédemment, lors d'une navigation en lège (déplacement de 8,13 t.m) le tirant d'eau est de 12,2 cm. Dans une configuration de charge comparable à celle du naufrage (avec un chargement de 21,48 t.m) le tirant d'eau s'élève alors à 51,6 cm. Avec l'hypothèse de flancs réguliers en sapin de 6 cm d'épaisseur, on note tout d'abord une diminution du volume de bois, établi à 2,7 m<sup>3</sup>, qui s'accompagne d'une part d'un allègement du poids total des flancs, qui s'élève alors à 1,53 tonne, et de la même manière d'une réduction du déplacement lège à 6,74 t.m. Cependant, du point de vue de l'enfoncement cette situation modifie de manière insignifiante, mais positive, le tirant d'eau puisque celui-ci n'est désormais plus que de 11 cm (variation de -1,2 cm). Pour un déplacement en charge, avec une cargaison toujours de 21,48 t.m, la variation du tirant d'eau est encore minime puisque celui-ci s'établit désormais à 53,7 cm (variation de + 2,1 cm). En définitive, on peut donc réfuter l'hypothèse selon laquelle la convexité des flancs a été volontairement préservée afin de conférer un surplus de flottabilité au chaland, l'étude prouvant que le surplus de poids, ainsi que la répartition des volumes supplémentaires sur cette forme convexe, ne permettait pas un gain substantiel de flottabilité en comparaison avec des flancs formés par des bordés réguliers de 6 cm d'épaisseur. On peut en revanche supposer que l'intérêt de pièces aussi massives était de permettre un renforcement de la rigidité longitudinale de l'embarcation ; elles devaient aussi éventuellement jouer le rôle de pare-battages.

En définitive, une étude de stabilité transversale sur *Arles-Rhône 3* apparaît superflue étant donné le caractère particulier de l'espace de navigation, de la forme et du mode de

137. Ce ratio, s'il est réducteur, permet néanmoins de traduire une réalité architecturale et de faire des comparaisons entre des embarcations similaires sur le plan architectural (cf. Van de Moortel 2011, p. 88 et voir *infra*, p. 284, note 30).



propulsion du bateau. Le chaland ne devait en effet pas rencontrer a priori de force inclinante suffisamment importante (comme le vent dans les voiles ou les vagues pour un bateau de mer) pour que les bateliers se préoccupent de l'arrimage au-delà de ce qu'impose le simple bon sens. Lors du chargement, une répartition la plus homogène des poids, ainsi que le souci de ne pas placer trop de poids dans les hauts, devaient permettre d'éviter tout désagrément en ce qui concerne la stabilité. Ainsi, dans sa configuration de découverte, il apparaît évident que le chaland chargé des pierres bénéficie naturellement d'une stabilité de forme très limitée qui s'accompagne néanmoins d'une stabilité de poids non négligeable. Dans un tel contexte de navigation, l'élément le plus critique n'est pas la stabilité transversale du chaland, mais bien la hauteur de franc-bord très réduite. Au final, il apparaît que seuls de très rares cas de chargement (chargements volumineux dépassant vers le haut, chargements mobiles) ont pu éventuellement amener les bateliers à se préoccuper de la stabilité de leur embarcation. On peut toutefois encore penser que l'expérience et le bon sens devaient, dans la plupart des cas, permettre de demeurer dans des limites relativement sûres concernant la stabilité transversale et que la question de la hauteur de franc-bord conservé pouvait s'avérer généralement bien plus critique.

## LA NAVIGATION DU CHALAND

Sabrina MARLIER

Dans un tableau particulièrement vivant du trafic sur la Moselle au IV<sup>e</sup> s., Ausone évoque précisément la navigation à la descente et à la remonte, soit au fil de l'eau et à contre-courant : « Tu présentes une double voie aux navires, soit qu'en se laissant aller au courant de ton onde, les rames agiles frappent ton sein agité ; soit qu'en remontant tes bords, attachés sans relâche à la remorque, le matelot tire à son cou les câbles des bateaux » (Ausone, *Edyllia X, Mosella*, vers 39-42, traduction Corpet 1887, p. 113). Ce tableau pourrait sans nul doute être aisément transposé à la navigation sur le Rhône à l'époque romaine.

Pour la navigation, la descente se faisait à gré d'eau, le chaland se laissant porter par le courant. Comme l'atteste Ausone, des rames d'appoint pouvaient néanmoins être utilisées soit pour accélérer la descente<sup>138</sup> soit pour assurer la manœuvre dans les courants. Selon l'état du fleuve, si les eaux étaient basses, des perches de sondes pouvaient être utilisées. Maniées par un batelier situé à la proue du bateau, le « prouvier », celui-ci annonçait régulièrement la hauteur d'eau à l'attention du timonier avec la direction à donner au bateau afin de contourner les maigres, les bancs de sable, de graviers ou de galets et éviter ainsi l'engrèvement du bateau. Lorsque le chaland descendait le fleuve au fil de l'eau, porté par le courant, associé parfois au vent (le mistral), avec un port en lourd maximum, les conditions de manœuvre devaient être délicates, notamment dans le cas d'évitement pour un accostage (*supra*, p. 110, note 23). En prenant appui sur une berge, un pilier d'estacade ou une haussière, le rappel provoqué par la manœuvre soumettait alors la structure du quart avant du chaland à un effort important. Cette manœuvre était cependant essentielle afin de faire accoster le bateau proue face au courant. Un appui de la proue sur la berge expliquerait ainsi les renforts métalliques dont a été doté l'avant du chaland *Arles-Rhône 3*.

Pour la remonte, en revanche, il fallait vaincre le fort courant du fleuve et surmonter les obstacles qui se présentaient. La remontée du fleuve s'effectuait par halage<sup>139</sup>, la voile ne pouvant être que très rarement utilisée<sup>140</sup>. Dans l'Antiquité, et jusqu'à la fin du XV<sup>e</sup> s., le halage était assuré par des hommes, il est alors appelé « halage au col »<sup>141</sup>.

Pour l'Antiquité, on ne dispose que de peu de documents sur le halage ; il s'agit de témoignages textuels et iconographiques en relation avec le bassin rhodanien (Rhône, Saône et Durance), la Moselle et le Tibre.

Les quelques auteurs (Martial, au I<sup>er</sup> s., Ausone, au IV<sup>e</sup> s. et Sidoine Apollinaire, au V<sup>e</sup> s.) qui font référence à la pratique du halage évoquent la difficulté de la tâche avec des haleurs courbés en avant par l'effort de la traction, tirant à leur cou les câbles qui les rattachent au mât de la barque (Ausone, *Edyllia X, Mosella* ; Sidoine Apollinaire, *Lettres*, II, 10, 4) et chantant ou criant pour se donner du courage. Sidoine Apollinaire témoigne ainsi, pour une scène qui se déroule sur la Saône, à hauteur de Lyon, du chant des haleurs « courbés en deux » (Sidoine Apollinaire, *Lettres*, II, 10, 4) tandis que Martial, en évoquant le calme des jardins bordant le Janicule, au bord du Tibre, souligne que le sommeil n'y est troublé ni par le fracas des chars, ni par le bruit des bateaux, ni par les cris des haleurs (Martial, *Épigrammes*, IV, 64, 22).

On ne connaît pas le statut ni la condition des haleurs pour l'Antiquité mais, étant donné la rudesse de la tâche<sup>142</sup>, qui exigeait par ailleurs un grand nombre de bras, il est probable que des esclaves aient été employés<sup>143</sup>.

138. De même, une petite voile d'appoint grée sur le mât de halage aurait pu être utilisée en cas de vent favorable pour accélérer la descente.

139. Jusqu'à l'apparition de la navigation à vapeur, le halage a été utilisé pour remonter le fleuve. Le premier bateau à vapeur a été mis en service sur le Rhône en 1829. Dès 1853, les équipes de halage ont à peu près toutes disparu (Chartier 1963, p. 126).

140. Rossiaud 1978, p. 286. La voile est essentiellement utilisée dans la section inférieure du Rhône, de la mer à Beaucaire (Eyrier 1996, p. 11).

141. Selon J. Rossiaud, « jusqu'en 1475 environ, le halage [sur le Rhône] fut exclusivement assumé par les hommes », appelés « *homines trahentes* » (1978, p. 286). La mutation, pour le passage du halage humain au halage animal (par des chevaux, quelquefois des mulets ou des ânes, plus rarement des bœufs), a été particulièrement rapide : elle s'est réalisée en moins de dix ans (1978, p. 296). Si cette transformation peut s'expliquer par le fait qu'un cheval était censé tirer trois fois ce que tirait un homme, c'est surtout, selon J. Rossiaud, le manque d'hommes qui en est la cause essentielle (Rossiaud 2007, p. 216-219).

142. J. Rossiaud décrit très bien la difficulté de ce dur labeur dans son article consacré aux haleurs du Rhône au XV<sup>e</sup> s. : « tirer l'ense avait conservé dans la langue franco-provençale un sens évocateur de la peine des travailleurs du Rhône, celui de marche forcée, de travail inhumain [...] ». Un travail tellement difficile que « le halage humain était dit *halage au sang* » (Rossiaud 1978, p. 295).

143. Au Moyen Âge, les haleurs, haleurs occasionnels ou main-d'œuvre spécialisée, étaient salariés (Rossiaud 1978, p. 288-293). Il s'agissait d'hommes jeunes, en pleine force de l'âge, qui commençaient à tirer vers l'âge de 18 ans et s'arrêtaient vers 40 ans.

Concernant les sources iconographiques, seuls six documents peuvent être recensés. Le bas-relief (II<sup>e</sup> s.) découvert dans le village de Cabrières-d'Aigues (Vaucluse) et conservé au Musée Calvet d'Avignon (Tallah 2004; Cavalier (dir.) 2008); le bas-relief de Colonzelle (époque gallo-romaine), découvert en remploi dans une porte de la chapelle de Saint-Pierre-aux-Liens (Drôme) et pour lequel un moulage est conservé au Musée d'Archéologie tricastine de Saint-Paul-Trois-Châteaux (Blanc 1976); les deux bas-reliefs d'Igel et celui de Neumagen (II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> s.), tous trois conservés au Rheinisches Landesmuseum de Trèves (Allemagne) (Béal 1999; Deyts 2008, p. 49-50); et enfin un bas-relief sur une plinthe, situé à l'arrière de la statue représentant *Le Tibre* (début du II<sup>e</sup> s.), conservée au Musée du Louvre (Le Gall 1953, p. 3-22). Ces six documents présentent des iconographies communes à la Gaule du Sud (halage sur la Durance et le Rhône pour les deux premiers bas-reliefs), la Gaule de l'Est (halage sur la Moselle pour les bas-reliefs d'Igel et de Neumagen) et l'Italie (halage sur le Tibre pour la dernière représentation). Les scènes représentées montrent en effet des bateaux chargés et munis d'un câble de traction, fixé le plus souvent sur un mât court, placé très en avant (bas-reliefs de Cabrières-d'Aigues, de Colonzelle, un des deux bas-reliefs d'Igel et le bas-relief de Neumagen, plinthe de la statue du Tibre), ou directement amarré à la proue (le deuxième bas-relief d'Igel)<sup>144</sup>, qui relie le bateau ainsi tracté à des haleurs. Ceux-ci tirent sur le câble – une simple cordelle – passé sur leur épaule<sup>145</sup> et marchent, légèrement courbés, en s'aidant d'un bâton.

En l'absence de détails, concernant notamment le maintien du mât et le passage des câbles dans celui-ci, l'apport de ces sources, qu'elles soient textuelles ou iconographiques, demeure limité. Elles ont néanmoins le mérite de témoigner sur au moins trois des bassins nautiques du monde romain d'une pratique qui était répandue et devait nécessiter une logistique importante en termes de moyens techniques et humains<sup>146</sup>.

En termes de puissance, et pour avoir une idée du nombre d'hommes qui était nécessaire pour tirer le chaland *Arles-Rhône 3*, Jacques Rossiaud indique comme chiffre de référence, pour le Moyen Âge, un haleur pour 1,5 tonne de charge utile (2007, p. 217). Ainsi, pour un bateau chargé au maximum de ses capacités, avec un déplacement de 30 tonnes environ, il aurait fallu vingt haleurs. Le nombre d'hommes est cependant variable selon la quantité et le poids des « barques » tirées, mais aussi de l'état du Rhône, son cours plus ou moins tumultueux, selon les endroits, et le resserrement des rives ainsi que selon les saisons et la variation des eaux plus ou moins hautes (Eyrier 1996, p. 16).

En termes de vitesse, la durée de la remonte s'effectue également selon le régime du fleuve et la charge du bateau. J. Rossiaud indique une vitesse de remonte, par halage humain, de Peccais (Aigues-Mortes) à Tarascon, de 12,5 km par jour (2007, p. 218) tandis que la remonte du Rhône, d'aval en amont (la section Beaucaire-Lyon), prenait entre trente et quarante jours (Eyrier 1996, p. 14), réduisant ainsi la vitesse de remonte de près de moitié (entre 5,5 et 7,5 km/jour).

En raison des maigres, des crues et autres facteurs physiques liés à l'état naturel du fleuve, des périodes d'interruptions étaient ainsi fréquentes dans la navigation, imposant des contraintes souvent fortes aux bateliers. Bernard Le Sueur explique fort justement que « le temps est un facteur de contrainte et de disparité fluviale. Les respirations naturelles des rivières entre hautes et basses eaux qualifient les saisons de navigation qui rendent instables les mouillages disponibles. Le transport fluvial reste donc une activité intermittente et l'époque des bonnes eaux marchandes bien courtes ! L'étiage, la crue, le gel, le brouillard trop intense... clouent les bateaux à quai et forcent les entrepreneurs à entasser les produits sur les rivages ou dans des entrepôts en attendant les jours meilleurs » (Le Sueur 2004, p. 333).

144. Cette représentation n'est pas une erreur de l'artiste qui a sculpté le bas-relief. J. Rossiaud précise, en effet, dans son *Dictionnaire du Rhône médiéval*, que pour des déplacements sur de courtes distances, lorsque l'itinéraire ne présentait pas de difficulté et que de grandes longueurs de corde ne devaient pas être utilisées pour le halage, les marinières pouvaient se dispenser du mât de halage et accrocher directement les câbles à la proue du bateau (Rossiaud 2002b, p. 22).

145. Ce n'est que vers 1400 que les câbles de halage (« maille ») ont été reliés à un harnais passé en bandoulière autour de la poitrine des haleurs (appelés « ense », ou « bricole », il s'agit d'une large bretelle de chanvre). Ce « collier d'épaule », plus efficace que le système antique, permettait à l'homme penché vers l'avant d'utiliser le poids de son corps et ainsi de diminuer sa peine, tout en augmentant sa puissance (Rossiaud 2007, p. 216-217).

146. Voir, pour le Moyen Âge, Rossiaud 1978; 2007, p. 215.

# CHAPITRE 6. MOBILIER DE BORD ET CARGAISON

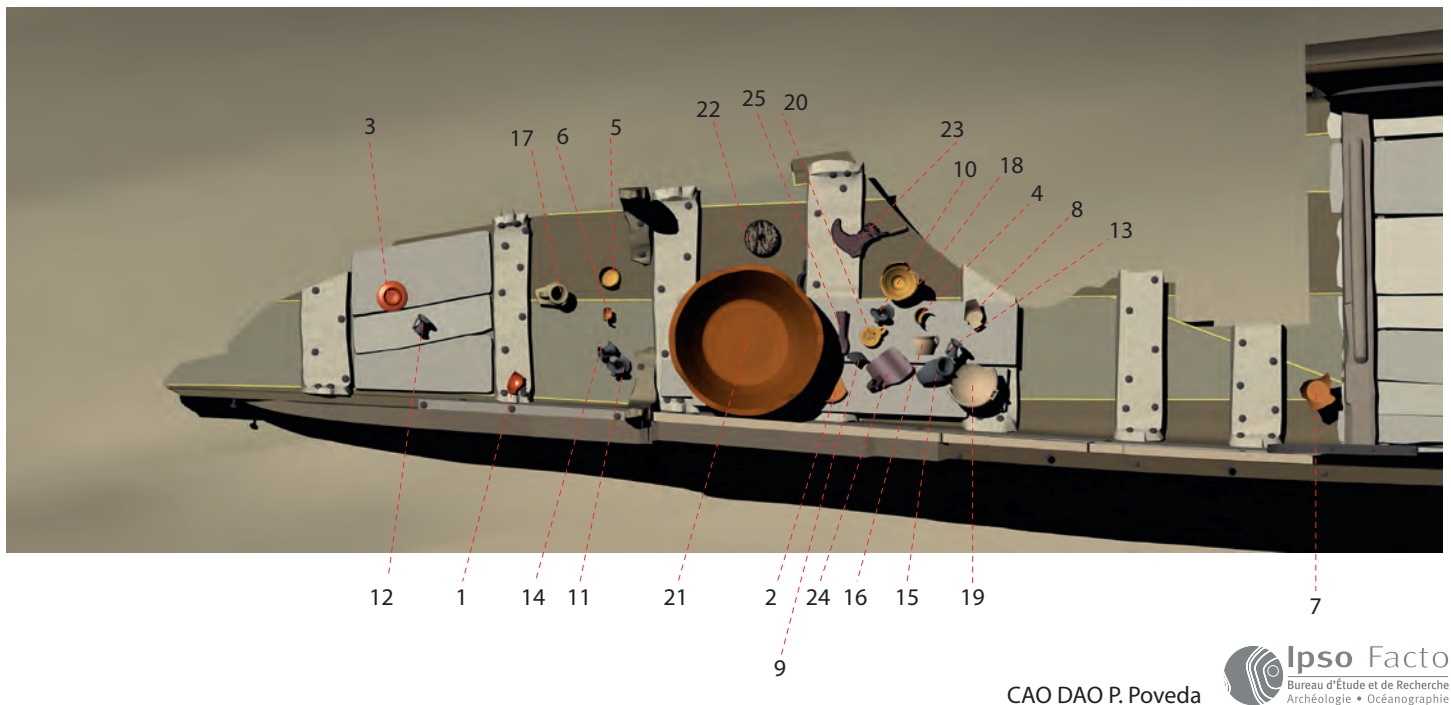


Fig. 291 : Position des éléments du mobilier de bord sur l'arrière de l'épave lors de leur découverte.

## LE MOBILIER DE BORD DU CHALAND ARLES-RHÔNE 3

### L'ÉTUDE DU MOBILIER CÉRAMIQUE: LA VAISSELLE

David DJAOU, Thierry MARTIN

Découverte à la poupe, la vaisselle de bord du chaland *Arles-Rhône 3* était séparée du dépotoir portuaire, qui recouvrait l'épave, par une couche d'argile d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Compte tenu des difficultés de visibilité et d'intervention dans le Rhône, nous avons pris le parti d'éliminer systématiquement le matériel dont l'attribution à la dotation de bord du bateau présentait un doute. Seuls les objets trouvés directement au contact du bois du chaland et scellés par la couche argileuse ont été ici pris en compte (pl. I, fig. 9 et fig. 291).

En plus du fond de *dolium* utilisé comme brasero (n° 21) (fig. 171), le corpus des artefacts relevant de la vaisselle de bord recueillis lors de la fouille de l'épave comprend vingt pièces, dont une lampe présentant des traces d'utilisation (n° 20). Sur ce nombre, seuls six éléments étaient entiers lors de leur découverte : deux assiettes et une coupelle en sigillée de La Graufesenque (n° 1-3), un mortier de type rhodanien (n° 19), une grande coupe engobée d'origine rhodanienne ou provençale (n° 8) et la lampe précédemment citée.

CAO DAO P. Poveda

**Ipsos Facto**  
Bureau d'Étude et de Recherche  
Archéologie • Océanographie

## La vaisselle fine

### Les céramiques sigillées sud-gauloises (NMI = 3)

N° d'inventaire : RH0.2006.PIR.78 (fig. 294).

Identification : coupelle Drag. 27 g, forme complète (n° 1).

Dimensions : Ø max. bord 11,8 cm ; Ø fond 8,2 cm, h. 3,2 cm.

Timbre : estampille OFALBIN, avec ligature «AL». *Albinus* iii de La Graufesenque (Hartley, Dickinson (dir.) 2008a, *Albinus* iii, 5a ; Polak 2000, pl. 1, A31 ; Genin 2007, pl. 155, 17.10).

Ce timbre est attesté sur une douzaine d'exemplaires, dont dix également sur Drag. 27 g, dans un dépotoir du port narbonnais de La Nautique daté des premières années du règne de Néron, antérieur à 61 ap. J.-C. (Fiches, Guy, Poncin 1978, fig. 4 et 20, 7).

Datation : Marinus Polak place l'utilisation de ce timbre au cours des années 50-75 ap. J.-C. (Polak 2000, p. 162). Brian R. Hartley et Brenda M. Dickinson la situent, pour leur part, entre 45 et 65 ap. J.-C. et ne prolongent pas la période d'activité d'*Albinus* iii au-delà de 65 ap. J.-C. (Hartley, Dickinson (dir.) 2008a, p. 127).

N° d'inventaire : RH0.2007.AR3.772 (fig. 294)

Identification : assiette Drag. 18, forme complète (n° 2).

Dimensions : Ø max. bord 17,3 cm ; Ø fond 8,5 cm, h. 3,7 cm.

Timbre : estampille CASTIOF rétrograde, avec point dans le «A». Présence d'une rainure interne bien marquée au niveau de la jonction paroi/fond, caractéristique que l'on retrouve sur un grand nombre d'assiettes réalisées par *Castus* i de La Graufesenque (Hartley, Dickinson (dir.) 2008b, *Castus* i, p. 279). Il s'agit de l'une des multiples variétés d'estampilles utilisées pas ce potier claudio-néronien millavois (Hartley, Dickinson (dir.) 2008b, *Castus* i, 8a ; Marichal 1988, graffites 5, 20, 23).

Datation : si le timbre est peu documenté, ce dernier est néanmoins connu à Orange, Vienne et Lyon. Datation : 40-70 ap. J.-C.

N° d'inventaire : RH0.2006.PIR.4.522 (fig. 294 et 292)

Identification : assiette Drag. 15/17, forme complète (n° 3).

Dimensions : Ø max. bord 15,5 cm ; Ø fond 8,2 cm, h. 3,2 cm.

Timbre : à noter la présence sur le fond externe d'un graffite *post cocturam* «AT». Estampille LICINVSF sans point de séparation entre «S» et «F». *Licinus* de La Graufesenque (Hartley, Dickinson (dir.) 2009, *Licinus*, 43b ; Genin 2007, pl. 184, 238.20). Ce timbre peu documenté, est connu en un exemplaire à La Graufesenque dans la fosse de *Gallicanus* (Genin 2007, p. 215). Il apparaît également sur le fond d'un Drag. 29 de Narbonne (Fiches 1978, fig. 12, 62) et à Boulogne-sur-Mer sur une assiette Drag. 18 (Laporte 1993, n° 36).

Datation : 35-65 ap. J.-C.

### Les céramiques à parois fines (NMI = 3)

N° d'inventaire : RH0.2006.PIR.76 (fig. 293)

Identification : bol de forme Mayet XXXVIIA (n° 4).

Dimensions : Ø max. bord 9 cm ; Ø fond 3,8 cm, h. 5,8 cm.

Caractéristiques/description : bol hémisphérique à bord rentrant et fond légèrement concave, bandeau supérieur lisse et étroit limité par deux rainures horizontales. Pâte ocre claire, engobe orange clair. Le corps de la panse est occupé par un décor végétal disposé obliquement, réalisé à la barbotine et oblitérant en partie la rainure supérieure ; sur le pourtour du vase, alternance d'une grande feuille de fougère et de trois feuilles d'eau à longues tiges rigides que séparent de fines lignes perlées. Présence d'une double rainure en limite inférieure du champ décoratif. Cette structure décorative apparaît notamment sur deux gobelets Mayet XXXVIII, l'un de Carmona, l'autre de Belo (Mayet 1975, pl. 53, 440-441) ; autres parallèles : López Mullor 1990, p. 380, 3 (pl. 244, 1 et pl. 299, 2).

Datation : 40-90 ap. J.-C.

N° d'inventaire : RH0.2006.PIR.80 (fig. 294)

Identification : coupe à deux anses de forme Mayet XXXVII (n° 5).

Dimensions : Ø max. bord 9,9 cm ; Ø fond 4 cm, h. 5,2 cm.

Caractéristiques/description : bol hémisphérique à bord rentrant, bandeau supérieur lisse et étroit compris entre deux rainures horizontales ; amorce d'une anse latérale dans la partie supérieure. Pâte ocre claire, engobe orange clair. Décor à la barbotine sur la panse : une ligne ondulée entre deux rangées de petits mamelons ; rainure double en limite inférieure de panse. Décor non répertorié dans Mayet 1975<sup>1</sup>, ni dans López Mullor 1990 ; même remarque à propos des productions régionales (Rivet 2004).

Datation : 25-60/80 ap. J.-C.

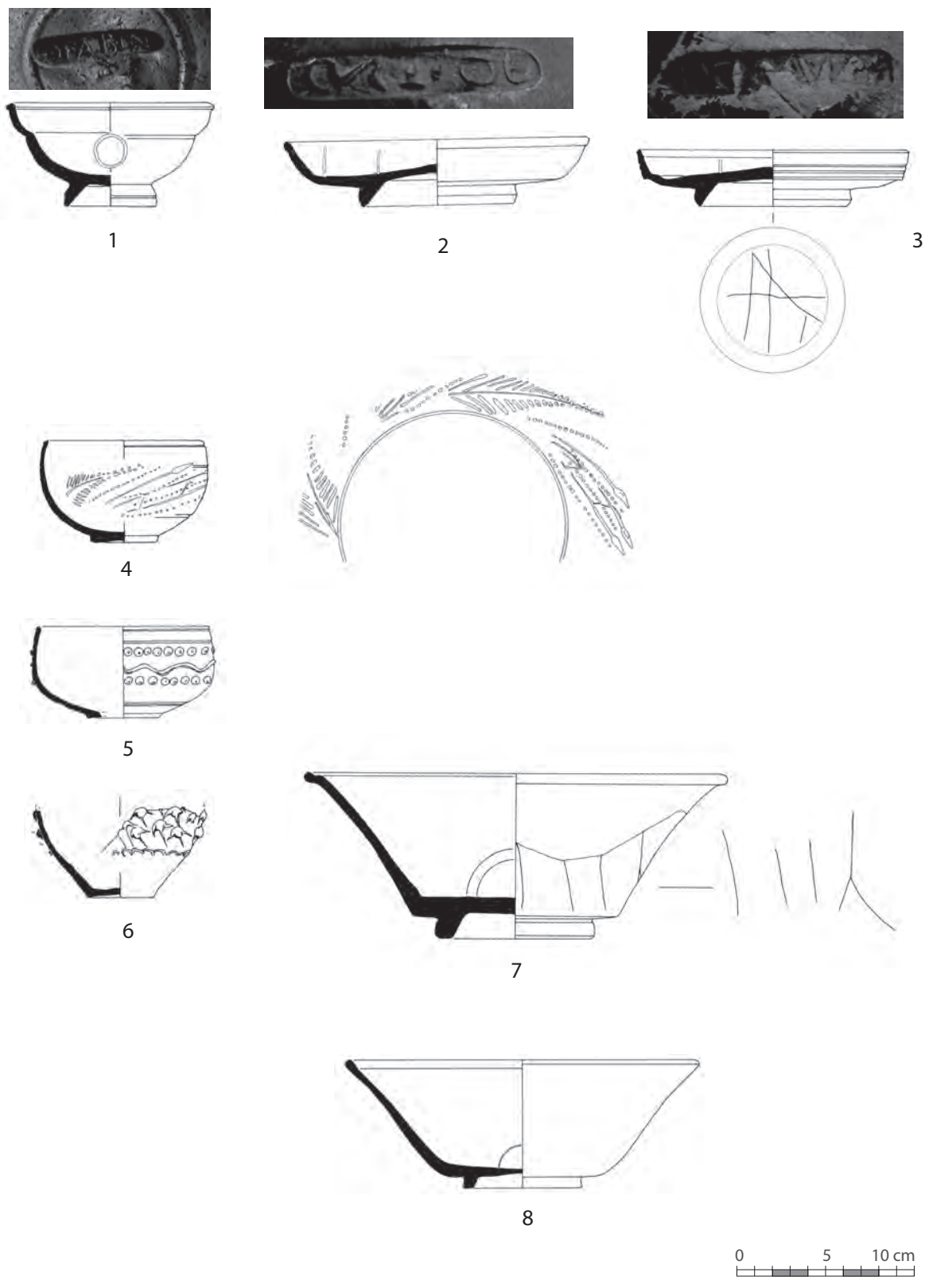


Fig. 292 : Céramique en sigillée sud-gauloise : assiette Drag. 15/17 avec les lettres AT gravées (Ch. Durand, CCJ/CNRS).



Fig. 293 : Céramique à paroi fine : bol de forme Mayet XXXVIIA (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

1. Il existe des coupes Mayet XXXVII avec un décor similaire mais la ligne ondulée médiane est remplacée par un rang de petites perles (Mayet 1975, pl. 42, 352-353).



**Fig. 294:** La vaisselle du mobilier de bord : la vaisselle fine avec des céramiques sigillées sud-gauloises (1-3), des parois fines de Bétique (4-6) et des céramiques communes engobées (7-8).

Dessin A. Véléva, Arkaeos



N° d'inventaire : RH0.2006.PIR.570 (fig. 294)

Identification : gobelet de forme Mayet XLII (n° 6).

Dimensions : Ø fond 3,8 cm, h. cons. 5,7 cm.

Caractéristiques/description : fragment de panse globulaire et fond concave, pâte ocre claire, engobe orange clair. Décor à la barbotine : il subsiste deux rangées d'écaillés de pomme de pin ; frise de petits festons en limite inférieure. Cette composition décorative se retrouve, à l'identique, sur un gobelet Mayet XLII d'Ampurias (Mayet 1975, pl. 58, 479).

Datation : 30-100 ap. J.-C.

Commune engobée (NMI = 2)

N° d'inventaire : RH0.2008.AR3.143 (fig. 294)

Identification et description : coupe à paroi oblique, légèrement concave, terminée par une lèvre à ressaut interne, détachée de la paroi (n° 7). L'engobe de couleur rouge orangé, non grésé, demeure encore bien adhérent. La pâte est beige clair avec quelques inclusions blanches irrégulièrement réparties. La jonction paroi-fond est anguleuse et deux cercles concentriques sont inscrits sur le fond interne. Il pourrait s'agir d'une forme hybride d'origine italique, une sorte d'avatar tardif des types Consp. 7.1 et 8.1, mais cette provenance et cette filiation sont loin d'être assurées. Une coupe au profil et aux dimensions assez similaires figure parmi la vaisselle de bord trouvée à Port-la-Nautique (Sanchez 2011, fig. 93, 4). L'origine de ces deux pièces pourrait être hispanique (production de type Peñaflores?). Sur la panse, un graffiti incomplet : trois barres parallèles suivies d'un « A ».

Dimensions : Ø max. bord 24 cm ; Ø fond 9 cm, h. 9,4 cm.

Datation : indéterminée.

N° d'inventaire : RH0.2007.AR3.773 (fig. 294)

Identification et description : une coupe complète à paroi oblique et lèvre simple présente une pâte jaunâtre et un engobe brun, non grésé et très peu adhérent (n° 8). Cette forme trouve des correspondances avec les rejets d'ateliers, datés du dernier quart du I<sup>er</sup> s., de l'actuelle nécropole de Trinquetaille (Arcelin 1991, p. 219-220). D'autres exemplaires similaires ont été trouvés à Arles sur l'île des Sables (côté Trinquetaille) ainsi que sur la nécropole de l'Odéon dans une chronologie située entre 15 av. J.-C. et 10 ap. J.-C. (Heijmans *et al.* 2012). Patrice Arcelin indique que ces formes sont inspirées des céramiques campaniennes et font partie d'un groupe bien individualisé (Arcelin 1991, p. 218, fig. 13, n° 1) Cette forme dériverait de la coupe en céramique campanienne A tardive de type Lamboglia 8bc. (var. M2865b). Cette forme proche du type 01.01.010 de la typologie de Michel Pasqualini, se retrouve en Basse Provence dans des nécropoles de Marseille datées entre 30 av. J.-C. et 50 ap. J.-C. (Pasqualini 2009, p. 352-353). Dans la moyenne vallée du Rhône, une forme similaire a également été produite à Saint-Romain-en-Gal et couvre une période qui va des années 20-30 av. J.-C. jusque vers 30-40 ap. J.-C. (Desbat, Savay-Guerraz 1986, p. 97, fig. 8-9).

Dimensions : Ø max. bord 20,2 cm ; Ø fond 6,7 cm, h. 7,3 cm.

Datation : 30 av. J.-C. et 50 ap. J.-C.

## Les céramiques communes

Les céramiques à cuisson réductrice (NMI = 8)

N° d'inventaire : RH0.2007.AR3.778 (fig. 297)

Identification et description : bord de pot caréné avec traces de feu (n° 9). Ce pot appartient au groupe générique des « céramiques grises rhodaniennes », lequel rassemble des productions à pâte siliceuse de teinte grise à noire, présentant un dégraissant essentiellement quartzeux et dont la carène lisse est le plus souvent finement micacée<sup>2</sup>. D'un point de vue morphologique, ces pots, connus aussi bien en Ligurie qu'en Espagne, correspondent au type Mellinand 1a de la nécropole de Sainte-Barbe à Marseille avec une carène haute, bien prononcée, un col lissé et une panse rugueuse (Mellinand 1998, p. 309-310, fig. 267).

Dimensions : Ø max. bord 14,8 cm ; h. cons. 7,5 cm.

Datation : avec des centres de production à Lyon (Laroche 1997, p. 61 Pl.16 n° 1), Aoste (Laroche 1987, p. 332, Pl. XX n° 1 et n° 2) et Mâcon (vallée de la Saône) (Barthélemy, Lamoine 2000, p. 204 fig. 6 n° 12), les pots carénés sont attestés en Narbonnaise du I<sup>er</sup> au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C. L'apogée de la production semble toutefois se placer à l'époque tibérienne (Desbat, Laroche, Merigoux 1979 ; Leblanc 2003 ; Prisset, Brissaud, Leblanc 1994, Tab. XV).

2. Au sein de la catégorie des communes réductrices, cette forme est majoritaire dans la zone 3 du Gisement A (Long, Piton, Djaoui 2009, p. 576).



Fig. 295 : Col de pichet avec les lettres AT gravées (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

N° d'inventaire : RH0.2007.AR3.775 ; RH0.2006.PIR.550 ; RH0.2007.AR3.774 ; RH0.2006.PIR.79 ; RH0.2006.PIR.552 (fig. 297)

Identifications et description : cinq cols à bec tréflé de forme Goudineau 1 dont trois présentent des traces de coups de feu (n° 10-14).

Dimensions : n° 10 : Ø max. bord 6,4 cm, h. cons. 7,2 cm ; n° 11 : Ø max. bord 8,1 cm, h. cons. 10,4 cm ; n° 12 : Ø max. bord 7,7 cm, h. cons. 9,2 cm ; n° 13 : h. cons. 10,7 cm ; n° 14 : Ø max. bord 8,6 cm, h. cons. 8,3 cm.

Datation : ces bouilloires<sup>3</sup>, produites entre l'époque augustéenne et le 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. prennent leur essor dès la période tibérienne (Batigne, Desbat 1996, p. 381-394.).

N° d'inventaire : RH0.2006.PIR.74 (fig. 297 et fig. 295)

Identification et description : col de pichet ovoïde à col court et bord déversé présentant une lèvre arrondie (n° 15). Le bord interne aplani, la lèvre non ourlée, pourtant courante sur ce type de pichet et l'anse placée sur le col trouvent peu de comparaison dans les exemplaires rhodaniens (Long, Piton, Djaoui 2009, p. 574, fig. 7) ainsi que sur les différents sites de consommation régionale<sup>4</sup>. Le départ du col et le tiers supérieur de la panse sont marqués par une double rainure entre lesquelles sont gravées les lettres « AT ».

Dimensions : Ø max. bord 7,6 cm ; h. cons. 11,7 cm.

Datation : indéterminée.

### Les céramiques non tournées de la vallée de l'Argens (n° 16)

N° d'inventaire : RH0.2006.PIR.137 (fig. 297)

Identification et description : bord d'une urne à une anse de forme Rivet 17 (Rivet 1982, p. 256), équivalent Bérato 1622 (Bérato 2009, p. 397-398, fig. 41). De couleur brun orangé, la pâte, de nature friable, présente un dégraissant grossier et hétérogène avec de nombreuses paillettes de mica caractéristiques des productions de la vallée de l'Argens.

Dimensions : Ø max. bord 17,4 cm ; h. 8,9 cm.

Datation : ce type d'urne monoansée est attesté dans les couches du site de Villeneuve-Aiguières datées entre le changement d'ère et le milieu du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. (Rivet 1982, p. 245 et p. 246). On retrouve cette forme sur les épaves *Dramont G* (70-75 ap. J.-C.) (Joncheray 1987, p. 52-84), des Roches d'Aurelle, au large des côtes varoises (fin 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C.) (Joncheray 1986, p. 222-223, fig. 9) et *Lardier 4*, à La Croix-Valmer (60-80 ap. J.-C.) (Joncheray, Joncheray 2004, p. 103). On situe habituellement la diffusion de cette forme entre les années 40/50 ap. J.-C. et la fin du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. (Rivet 1982, p. 256).

### Les céramiques communes claires (NMI = 3)

N° d'inventaire : RH0.2006.PIR.75 (fig. 300)

Identification et description : col de cruche rétréci avec une lèvre en bourrelet aplati vers l'extérieur et une anse en ruban quadrifide (n° 17). Dans le détail de la lèvre, cette forme ne correspond pas aux types les plus diffusés dans la vallée du Rhône, lesquels rassemblent ceux pourvus d'une lèvre en bourrelet simple (Marty 2002, p. 201-202, fig. 1-4) ou encore à moulure externe (Marty 2002, p. 202, fig. 5).

Dimensions : Ø max. bord 5,5 cm ; h. 11,2 cm.

Datation : un exemplaire de la nécropole Sainte-Barbe à Marseille, associé à une forme Drag. 18/31 en sigillée, présente un profil absolument identique (Mellinand 1998, p. 311-312, fig. 269.11).

N° d'inventaire : RH0.2007.AR3.776 (fig. 300)

Identification et description : fond de pot ovoïde à pied annulaire présentant au sein de ses parois internes des traces de poix (n° 18).

Dimensions : Ø fond 7,3 cm ; h. 11,4 cm.

Datation : indéterminée.

N° d'inventaire : RH0.2007.AR3.771 (fig. 300 et 296)

Identification et description : mortier complet d'origine rhodanienne de type Oberaden 72 / Haltern 59 (Vilvorder 2010, p. 374-375) ; bandeau vertical surmonté d'un bord arrondi, bec verseur massif en demi-cercle entaillant la lèvre (n° 19). Sa morphologie bien particulière l'apparente à la variante A définie par Odile Leblanc pour la maison des Dieux Océan de Saint-Romain-en-Gal (Leblanc 2007, p. 162, H4 n°71).

Dimensions : Ø max. bord 25,4 cm ; Ø fond 11,5 cm ; h. 8,4 cm.

Datation : cette variante apparaît vers la fin du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C., l'acmé de sa production se situant au milieu du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. (Leblanc 2007, p. 163). Un exemplaire similaire a été retrouvé à Nîmes sur le site de la Carsalade dans un contexte d'époque tibérienne (Barberan 2003, p. 424, fig. 17.3).



Fig. 296 : Mortier d'origine rhodanienne (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

3. La fonction de bouilloire est mise en évidence par les coups de feu répétés et la présence, à l'intérieur, de dépôts calcaires. Ces observations ont été réalisées sur 90 % des 105 individus étudiés en 2006 lors d'une synthèse sur les céramiques communes du Gisement A du Rhône (Long, Piton, Djaoui 2009).

4. Les comparaisons avec les formes KAOL F2 et KAOL F5 du Dicocer ne nous semblent pas satisfaisantes.

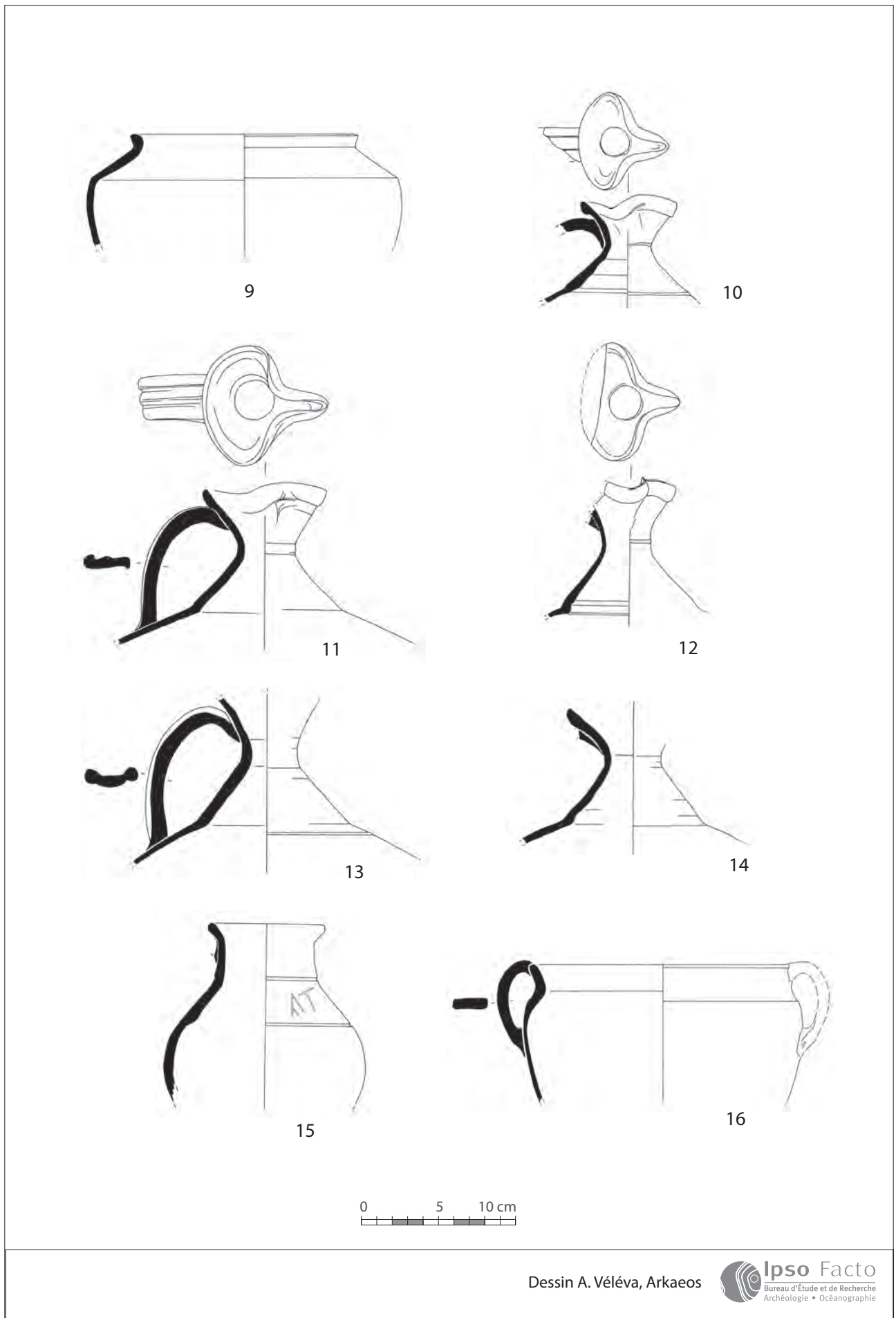


Fig. 297 : La vaisselle du mobilier de bord : une céramique réductrice (9), des céramiques à pâte kaolinitique (10 à 15) et une céramique non tournée de la vallée de l'Argens (16).



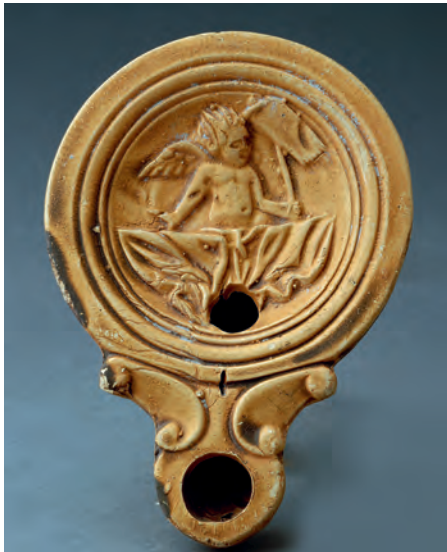


Fig. 298 : Lampe (Ch. Durand, CCJ/CNRS).



Fig. 299 : Fond de dolium réutilisé comme brasero à bord (M. Pradinaud).

### La lampe (NMI=1) (fig. 298 et 300)

*N° d'inventaire* : RH0.2006.PIR.72

*Identification et description* : lampe à bec en ogive à volutes doubles de type Loeschke IV / Deneauve VA. L. = 10,9 cm ; d. = 7,8 cm ; h. = 2,5 cm (n° 20). Absence de bulle de surmoulage. Médaillon : Eros ou génie ailé à droite, sortant des flots et tenant un étendard de la main gauche. Sujet peu documenté, celui-ci est en particulier absent des principaux ouvrages de référence. Néanmoins deux lampes du même type et plus que probablement issues du même moule sont connues en terre provençale, l'une conservée au Musée Calvet d'Avignon (De Brun, Gagnière 1937, pl. 2, 16), l'autre provenant du Golfe de Fos (Rivet 2003, n° 111) et portant sur le fond une marque *in planta pedis* incomplète et difficilement lisible. Lampe d'origine italique probable malgré une facture peu soignée et des parois plutôt épaisses.

*Dimensions* : h. 2,6 cm ; Ø médaillon 7,7 cm ; Ø fond 4 cm ; l. 10,8 cm.

*Datation* : il est permis de supposer que les exemplaires d'Arles, d'Avignon et de Fos-sur-Mer ont fait partie du même lot d'expédition. Datation : 40-70 ap. J.-C.

### Le dolium (NMI= 1) (fig. 299 et 300)

*N° d'inventaire* : RH0.2008.AR3.478

*Identification et description* : fond de *dolium* avec la présence d'un cordon bas (n° 21). Les bords biseautés, marquant la séparation de la panse et du fond du *dolium*, semblent avoir été sciés.

*Fonction* : brasero. L'utilisation des *dolia* remployés comme foyers n'est pas rare. Un fond de *dolium* a été utilisé comme brasero à Marseille, rue Leca (Rothé, Tréziny 2005, p. 504, fig. 602). Deux autres exemples emploient des fragments de fonds, panses et de bords organisés de manière à former un foyer circulaire, dans la villa du clos Saint-Anne à Rougiers (Chapon *et al.* 2010) et dans la villa du Quartier Régine au Puy-Sainte-Réparate (Chapon *et al.* 2007)<sup>5</sup>. On signalera également le commentaire de Joël Le Gall concernant la description d'une scène de batellerie ornant la plinthe figurant derrière la statue représentant *Le Tibre*, conservée au Musée du Louvre (Le Gall 1953). Sur la proue du premier des trois bateaux figurés, Joël Le Gall décrit un homme accroupi qui, selon lui, « souffle sur un feu allumé dans une grande terrine... » (Le Gall 1953, p. 18).

En contexte maritime, les informations sont plus délicates à réunir dans la mesure où seul un prélèvement du contenu du *dolium* peut permettre de déterminer la nature fonctionnelle du conteneur<sup>6</sup>.

*Dimensions* : Ø max. bord 74 cm ; h. cons 29,2 cm ; Ø fond 45 cm.

*Poids* : 60,5 kg.

*Datation* : la pâte rouge à inclusions blanches est majoritairement représentée en Narbonnaise, et les cordons bas deviennent systématiques sur les *dolia* en Gaule à partir de la fin du II<sup>e</sup>-début du I<sup>er</sup> s. av. J.-C. Le diamètre du fond qui avoisine les 45 cm est caractéristique des exemplaires produits à partir de la période augustéenne, et ce, jusqu'au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C.

Au regard de l'étude du mobilier céramique, les trois pièces en sigillée de La Graufesenque permettent de proposer une date du naufrage dans une fourchette chronologique comprise entre les années 50/55 et 65/70 ap. J.-C.

L'étude met par ailleurs en évidence des catégories dont la diffusion s'étend sur un large territoire, comme les sigillées de l'Aveyron ou encore les productions rhodaniennes. Deux autres types de céramiques présentent, en revanche, un intérêt particulier. Il s'agit tout d'abord des parois fines de Bétique (n° 4, 5 et 6) dont l'axe de pénétration commerciale semble être contenu au niveau de la basse vallée du Rhône. On note, en effet, au sein des contextes viennois et lyonnais, une présence anecdotique de ces importations qui se trouvent concurrencées par les productions locales imitant justement les formes de Bétique (Bertrand *et al.* 1997, p. 32 ; Laroche 1987, p. 316-137 et 323 ; Desbat *et al.* 2001, p. 40-42 ; Barreto, Laroche, Lenoble 2005, p. 82). De la même façon, l'urne non tournée de la vallée de l'Argens (n° 16) regroupe une catégorie dont la distribution côtière, par cabotage, apparaît de façon ponctuelle dans plusieurs ports du littoral situés entre Port-Vendres, à l'ouest, et Gênes à l'est (Bérato 2009, p. 375). On remarquera également qu'Arles semble correspondre à la partie la plus septentrionale et occidentale de la diffusion des modelées varoises (Long, Piton, Djaoui 2009, p. 585-586). Ainsi, bien que la provenance du matériel de bord soit variée, la diffusion limitée de ces deux dernières catégories de céramique tend à pointer une aire de circulation du chaland limitée à la basse vallée du Rhône.

5. Nous remercions C. Caratto (Doctorante, Université de Montpellier) pour l'ensemble des renseignements et des références qu'elle nous a livré.

6. Avant de procéder au prélèvement des charbons de bois du fond de *dolium* d'AR3 (*infra*, p. 246), il avait été envisagé que le *dolium* avait été réutilisé comme réserve d'eau douce.

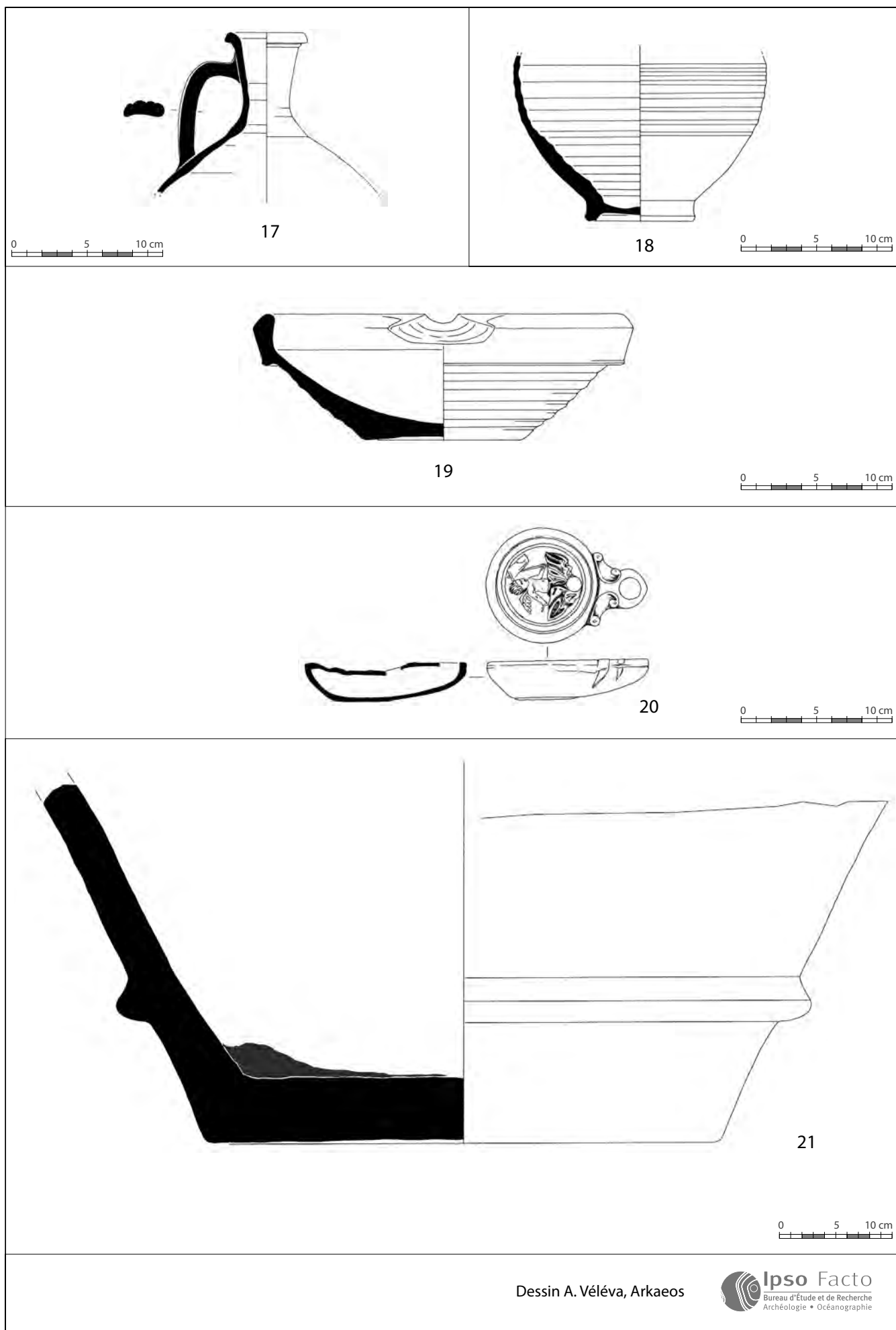


Fig. 300: La vaisselle du mobilier de bord: les céramiques communes claires (17-19), une lampe à huile (20) et un fond de dolium (21).

Dessin A. Véléva, Arkaeos



Le mobilier de bord en métal ou en matériaux composites (bois et métal) découvert sur l'épave *Arles-Rhône 3* provient également de l'arrière du chaland où un rouet de poulie<sup>7</sup> et trois outils en fer munis, pour deux d'entre eux, de manches en bois ont été découverts sur le vaigrage ou sur la sole (fig. 291). Son étude a consisté en une analyse morphologique<sup>7</sup>, accompagnée de relevés graphiques et photographiques, complétée par une recherche bibliographique. Ayant eu pour principal but d'identifier et de définir la fonction de chaque objet au sein du chaland, cette étude contribue à alimenter nos connaissances sur la typologie des objets en bois et leur mode de confection qui définissent la culture matérielle et l'histoire des techniques de façonnage du matériau bois.

### Réa ou rouet de poulie (fig. 301 et 304)

*N° d'inventaire* : RH0.2007.AR3.2135

*Matériau* : bois.

*Dimensions* : diam. max. 16,8 cm ; ép. max. 2,3 cm.

– perforation centrale : diam. 3 cm.

– encoches : larg. 3 mm ; prof. 4 mm.

– gorge : prof. 3 à 5 mm.

#### *Description et identification*

Disque peu épais, traversé en son centre par une perforation cylindrique munie de deux encoches opposées de forme quadrangulaire, dont la jante présente une gorge peu profonde (n° 22).

Cette petite roue entre dans la composition d'une poulie monoxyde simple ou multiple, à essieu mobile (Carre 1983, p. 56-62). Objets d'accastillage de marine ou de batellerie, les poulies sont composées de trois pièces distinctes : la caisse, qui joue essentiellement un rôle d'enveloppe, est traversée par un ou plusieurs essieux fixes ou mobiles destinés à supporter le ou les rouets rotatifs – réa(s) – qui portent eux-mêmes les cordages autour de leur gorge. La forme particulière de la perforation centrale du rouet de poulie découvert sur l'épave indique qu'elle était garnie d'un dé (ou coussinet), petit anneau généralement en métal ou en cuir orné d'ailettes qui venait s'y encastrer en force afin d'assurer une protection contre les frottements de l'essieu (Bonnetoux, Paris 1980, p. 257, 597). Deux autres réas de poulie du même type, en bois de noyer et d'olivier, datés du milieu du 1<sup>er</sup>-II<sup>e</sup> s. ap. J.-C., ont été découverts au sein du dépotoir portuaire. De dimensions plus réduites (6,91 × 2,87 et 7,04 × 2,26 cm), ils étaient encore garnis de leur coussinet métallique (Collection MdAa : RH0.2011.AR3.2004.101 ; RH0.2011.2031.103).

#### *Interprétation*

Le bois de cet objet est très déformé, probablement du fait de son enfouissement subaquatique prolongé. Il présente plusieurs fentes ainsi que des traces d'usure manifeste provenant certainement des frottements constants que subissent les rouets de poulie. Cet objet isolé, comme il en existe souvent parmi le mobilier archéologique découvert sur les épaves, très usé et dépourvu de coussinet, était peut-être mis au rebut, les éléments défectueux devant être changés régulièrement selon les besoins. En l'absence d'autres vestiges liés à ce réa, il est difficile de définir le type de poulie auquel il se rapporte ainsi que sa fonction à bord. La propulsion du chaland n'étant assurée que par le courant ou le halage, il ne s'agissait pas d'un accessoire lié aux manœuvres des voiles. En revanche, les palans, composés de poulies, étaient connus et utilisés à l'époque romaine pour le chargement et le déchargement des navires (Carre 1983, p. 68) ; le réa *Arles-Rhône 3* a donc pu servir à soulever toutes sortes de lourdes charges, voire les éléments formant la cargaison.



**Fig. 301** : Réa de poulie découvert parmi le mobilier de bord (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

7. L'expertise micrographique des outils en bois et métal n'a malheureusement pas été réalisée avant leur traitement de restauration engagé immédiatement après la fin de l'opération de sondage en 2007 et l'essence ligneuse utilisée pour leur confection reste donc inconnue.

## Serpe vigneronne (fig. 302 et 304)

N° d'inventaire : RH0.2007.AR3.2139

Matériaux : bois et fer.

Dimensions : long. totale 36,5 cm.

- lame : long. 22,5 cm ; larg. talon 7 cm, corps 10,5 cm ; ép. 5 mm ; long. taillant convexe 21 cm, huppe 5 cm.
- soie : long. 14 cm ; l 5 à 15 mm ; ép. 6 à 7 mm.
- manche : long. conservée 9 cm ; diam. 2 à 2,8 cm.

### Description et identification

Outil incomplet composé d'une lame de métal en forme de croissant de lune prolongée d'une soie encore pourvue d'une partie de son manche en bois<sup>8</sup> (n° 23). La large lame présente un bec crochu à son extrémité, un large talon à la frontière de la soie et deux taillants opposés. Le taillant concave caractérise la serpe en général ; le taillant convexe présente, à peu près en son centre, une partie saillante et plane appelée huppe qui désigne une variété de serpe dite vigneronne. La soie, de section rectangulaire, s'affine vers l'extrémité en formant un crochet retourné à 360° destiné à maintenir le manche. Celui-ci, conservé au deux tiers de sa base, présente une forme faiblement tronconique, plus épaisse à la base.

### Interprétation

La serpe vigneronne est un type de petite serpe utilisé habituellement pour la taille de la vigne. Le bec crochu sert à rassembler les rameaux, le taillant concave est destiné à couper les branches portant les fruits et la huppe sert de hachette pour débiter le bois mort, plus dur, ou encore appointer les échelas (sorte de tuteur). Il existe une grande variété dans la forme de la lame et particulièrement de la huppe, suivant les régions. Importée en Gaule par les premiers colons grecs dès le VI<sup>e</sup> s. av. J.-C. (Boucard 2006, p. 352, 644, 645), des exemples de serpe vigneronne sont connus pour l'époque gallo-romaine (Hofmann 1964, pl. III). La serpe, de manière plus générale, est l'outil des tailleurs de bois, employé aussi bien à l'émondage des arbres qu'à la coupe rapide du menu bois (Boucard 2006, p. 642). Il n'est donc pas surprenant de compter cet objet parmi le mobilier de bord du chaland *Arles-Rhône 3* à côté d'autres outils et de mobilier en bois taillé. La serpe vigneronne a pu servir, ainsi, à débroussailler les chemins de halage, quand ils étaient en friche, pour le passage des haleurs lors de la remonte du chaland et à récolter le bois nécessaire pour alimenter le foyer. Elle a pu être utile, aussi, pour la taille de certains accessoires, comme les perches découvertes à l'avant du bateau, taillées à leurs extrémités (*supra*, p. 220-221).

## Houe (fig. 303 et 306)

N° d'inventaire : RH0.2007.AR3.2133

Matériaux : bois et fer.

Dimensions : long. totale 67 cm.

- fer plat : 16,7 × 17,5 cm ; long. totale 22,4 cm ; ép. 0,4 à 1,4 cm.
- œil : h. 3,9 cm ; long. 4,9 cm ; larg. externe 4,5 cm ; diam. interne 3,5 à 3,6 cm.
- manche : long. 67 cm ; diam. 3,3 à 3,5 cm.



Fig. 302 : Serpe vigneronne (Ch. Durand, CCJ/CNRS).



Fig. 303 : Houe avec son manche en bois cassé (Ch. Durand, CCJ/CNRS).

8. Encore en place lors de sa découverte, le manche en bois a malheureusement disparu lors de sa phase de conservation.

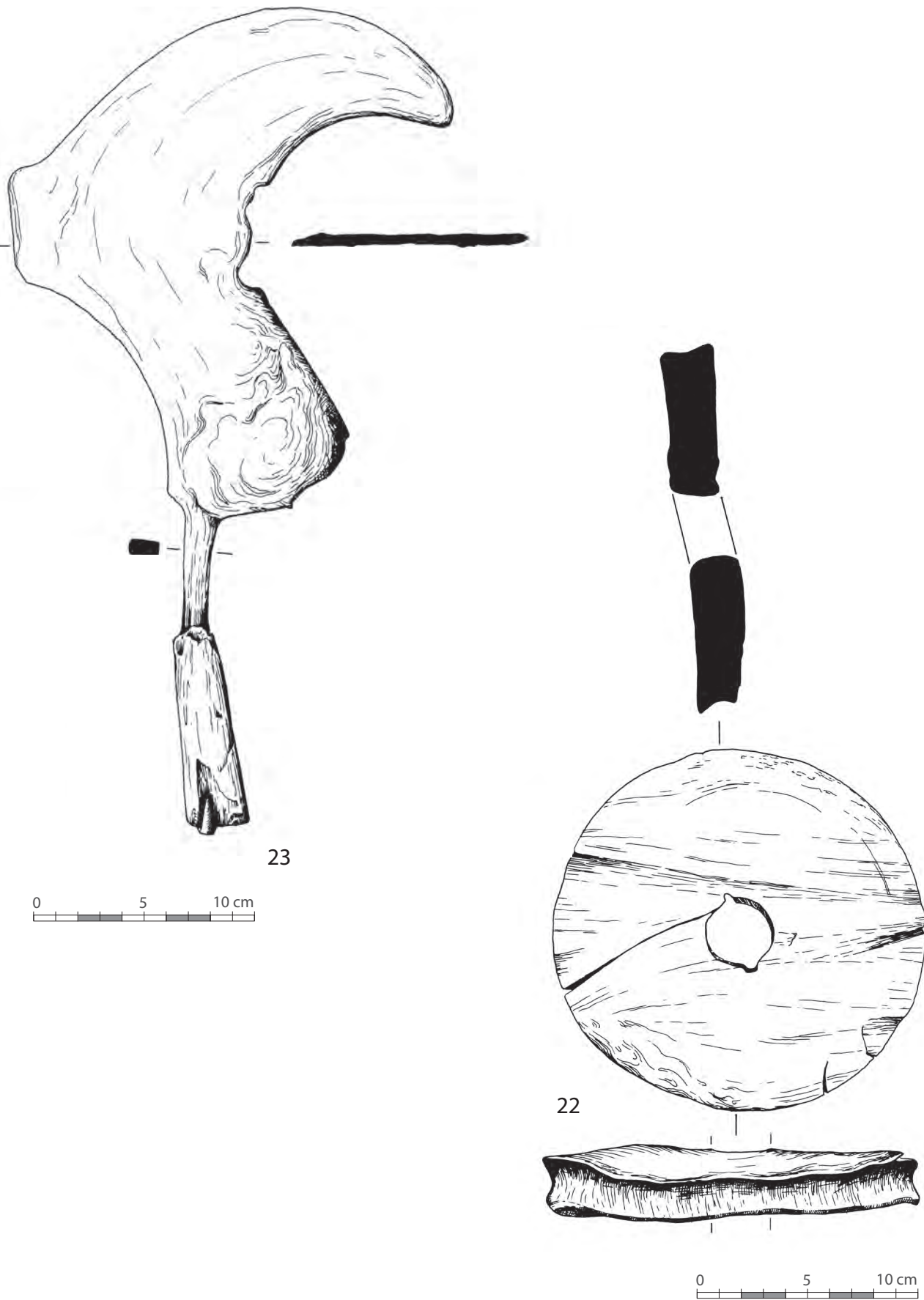


Fig. 304 : Les outils du mobilier de bord : un réa de poulie (22) et une serpe vigneronne (23).

Dessin A. Véléva, Arkaeos



### Description et identification

Outil composé d'un fer plat de forme quadrangulaire terminé en biseau sur toute la largeur d'un côté, prolongé par un œil au centre du côté opposé dans lequel vient s'encastrier, à la perpendiculaire, un long manche en bois cylindrique (n° 24). Le fer plat est légèrement incurvé vers le manche de manière à former un angle aigu de 35°. Il s'agit d'une houe, presque intégrale, en assez bon état de conservation ; le fer est cependant estropié dans un angle et le manche, entier, est fracturé en trois parties.

### Interprétation

La houe est un outil agricole très répandu dont la forme du fer varie selon la région d'origine et son utilisation. Avant l'arrivée de la charrue à traction animale, elle servait majoritairement au défrichement, aux labours et à toutes les opérations de préparation de la terre (Boucard 2006, p. 389-390). Sous le nom occitan d'*aissada*, cet outil agricole figure parmi l'inventaire de l'armement des bateaux à l'époque médiévale et moderne, sans que sa fonction y soit précisée (Fourquin, Rigaud 1994, p. 16). Sur *Arles-Rhône 3*, une houe devait certainement être utile pour des petits travaux d'aménagement des rives lors des haltes le long du Rhône comme, par exemple, pour confectionner des marches sur la berge pour y accéder plus facilement ou pour niveler une place et s'y installer plus confortablement. De nature multifonctionnelle, elle pouvait aussi faciliter la manutention des blocs de pierre calcaire ou tout autre matériau selon la cargaison transportée.

### Fer plat à douille (fig. 305 et 306)

*Inventaire* : RH0.2007.AR3.2136

*Matériau* : fer.

*Dimensions* : long. totale 20,5 cm.

- plat du fer : long. 9 cm ; larg. 2 à 4,5 cm ; ép. 5 à 10 mm.
- douille : long. 11,5 cm ; diam. interne 2,3 à 4 cm ; diam. externe 3 à 5 cm.
- œillets : diam. 7 mm.

### Description et identification

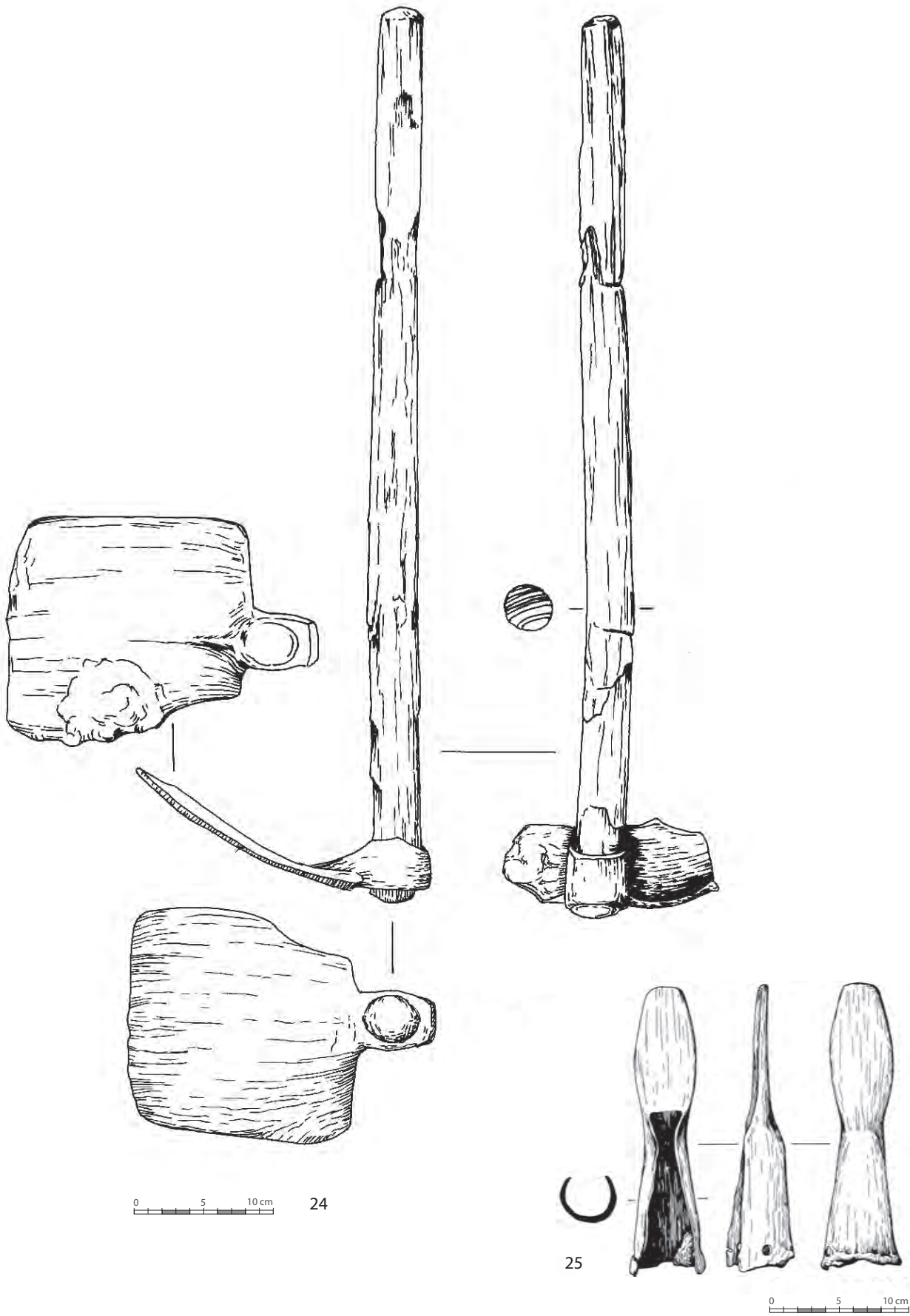
Fer plat et étroit de forme elliptique à bout droit, prolongé, à l'opposé, par une douille où venait s'insérer un manche en bois, non conservé (n° 25). La douille, de forme tronconique, devait accueillir un manche cylindrique d'un diamètre plus ou moins égal à 4 cm et de longueur indéfinie, fixé probablement à l'aide d'un clou traversant et rabattu, comme en témoignent les deux œillets situés face à face à la base de l'ouverture de la douille.

### Interprétation

Si la fonction de cet outil n'a pas encore trouvé de définition certaine, quelques hypothèses peuvent être avancées. Le fer étroit, le bout droit et la douille peuvent éventuellement nous faire penser à un ciseau à douille, courant parmi l'outillage de charpenterie de marine, dont le type d'emmanchement - manche encastré dans la douille - est plus ancien que la soie - dans laquelle on encastre le manche (Boucard 2006, p. 155-156). Mais l'absence de taillant, défini par un biseau en bout du fer, nous conduit à réfuter cette hypothèse. En revanche, il pourrait peut-être s'agir d'un écorçoir ou d'un racloir. Ce type de fer à douille en forme de spatule et à lame non coupante servait à décoller l'écorce des arbres (*ibid.*, p. 254). De tels outils existaient à l'époque gallo-romaine comme, par exemple, un écorçoir à douille de forme trapézoïdale au taillant large et légèrement courbe découvert sur le site d'Alésia (Mercuzot 1997, p. 23). Un autre exemple de fer plat (Long. totale 11 cm) en forme de spatule au bout arrondi (Long. 3,8 cm) à douille (diam. 1,8 cm) a été découvert dans un atelier de potier à Amphoux (Var) daté de la période augustéenne. Bien que la fonction exacte de cet outil soit inconnue, il est avancé qu'il pouvait être utilisé pour le grattage des parois d'un alandier - foyer d'un four de céramiste (Michel 2009, p. 42, 56, fig. 20, 71). Le fer plat découvert parmi le mobilier de bord d'*Arles-Rhône 3*, de forme toutefois différente et de dimensions plus importantes, peut néanmoins s'en rapprocher par le plat du fer et l'absence de taillant. Ainsi, découvert près du foyer auquel sa fonction peut être associée, il a pu contribuer à se procurer de l'écorce pour allumer le feu et préparer le repas ou, aussi, avoir servi à racler le fond du *dolium* pour le nettoyer des résidus de matière calcinée encore collés sur le fond et les parois lors de sa découverte.



**Fig. 305** : Fer plat à douille dont le manche a disparu (Ch. Durand, CCJ/CNRS).



0 5 10 cm 24

25

0 5 10 cm

Dessin A. Véléva, Arkaeos

**Ipsos Facto**  
Bureau d'Étude et de Recherche  
Archéologie • Océanographie

Fig. 306 : Les outils du mobilier de bord : une houe (24) et un fer plat à douille (25).

En relation avec le fond de *dolium* remployé comme braséro à bord (*supra*, p. 239), des fragments de charbon de bois ont été découverts à l'intérieur du foyer mais aussi sur le fond de la coque, à proximité. À l'avant, c'est directement du bois de chauffage qui a été retrouvé, stocké dans le fond du chaland (pl. I).

Les charbons de bois du *dolium* ont fait l'objet d'une analyse anthracologique, tandis que les bois carbonisés découverts sur le fond de la coque et les bois de chauffage de l'avant ont fait l'objet d'une analyse morphologique, tracéologique et xylogologique<sup>9</sup>.

### Étude anthracologique des charbons de bois du fond de *dolium*

Carine CENZON-SALVAYRE

Parmi les charbons de bois découverts dans le fond du *dolium*, deux échantillons ont été individualisés et l'analyse a porté au total sur soixante-quatre fragments de charbons de bois (Cenzon-Salvayre 2011). Étant donné le contexte archéologique et les modes d'échantillonnage, l'analyse proposée se veut ethnobotanique. Elle tente de répondre aux questions suivantes : quelles sont les essences utilisées ? D'où proviennent-elles ?

Au total, cinq taxons parmi lesquels trois résineux et deux feuillus ont été identifiés (fig. 307). Le taxon présent en majorité est le sapin (*Abies alba* Mill.) (fig. 308) (43,8 %) suivi du binôme mélèze/épicéa<sup>10</sup> (*Larix decidua* Mill./*Picea abies* (L.) Karst.) (14,1 %) et enfin le frêne (*Fraxinus cf. excelsior*) (fig. 309) (10,9 %) et les filaires/nerprun (*Phillyrea/Rhamnus alaternus*) (3,9 %).

Fig. 307 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés au sein du fond de *dolium*.

Taxons-latin	Taxons-français	Nb de fragments	%
<i>Abies alba</i> .	Sapin blanc	28	43,8%
<i>cf. Abies</i>	Sapin	2	3,1%
<i>Larix/Picea abies</i>	Mélèze/épicéa	9	14,1%
<i>Fraxinus cf. excelsior</i>	Frêne cf. commun	7	10,9%
<i>Pinus</i>	Pin	3	4,7%
<i>Phillyrea/Rhamnus alaternus</i>	Filaire/Nerprun	2	3,1%
Gymnosperme		8	12,5%
Indéterminé		4	6,3%
Indéterminable		1	1,6%
<b>Total</b>		<b>64</b>	<b>100%</b>

La filaire et le nerprun sont à associer à la présence de branches de chêne vert/kermès non écorcées (*Quercus coccifera/ilex*) et stockées sur le bateau comme combustible (*infra*). Ces essences, typiques de la végétation méditerranéenne, ont très probablement été récoltées dans la section inférieure du Rhône ; cette récolte pourrait être liée à la pratique connue du nettoyage des berges pour faciliter le halage des bateaux.

En revanche, les résultats révèlent l'utilisation, dans le foyer, de deux taxons exogènes, caractéristiques de l'environnement montagnard et alpin : le sapin et le mélèze/épicéa. Ces deux identifications impliquent obligatoirement un approvisionnement extérieur à la Basse-Provence. Les résidus carbonisés du *dolium* peuvent provenir d'une récolte opportuniste sur les berges du fleuve consécutive au flottage naturel ou à dessein des bois depuis les Alpes du sud dans la basse plaine rhodanienne. Une autre hypothèse peut être avancée. Elle paraît plus probable car plus étroitement liée au chaland. En effet, les taxons sud-alpins ont été identifiés dans le bois des planches de vaigrage (fig. 197), correspondant aux aménagements internes du bateau qui pouvaient être régulièrement remplacés, comme en attestent les remplois mis en évidence au sein du caisson. Les planches abîmées pourraient ainsi avoir été réutilisées sous forme de combustible domestique. Mais il pourrait tout aussi bien s'agir d'une récupération des chutes de bois des chantiers navals. De nombreux chantiers étaient certainement présents le long du Rhône, notamment à Arles, et le sapin comme le mélèze/épicéa sont des essences utilisées en construction navale. Le transport de résineux, par voie d'eau, est par ailleurs attesté très tôt et Vitruve (*De Archi.*, 2, 9, 14) fait notamment mention du transport du mélèze sur le Pô. Pour le Rhône, la géographie s'y prête très bien et, à partir du XII<sup>e</sup> s., les chartes attestent de ce type de transport.

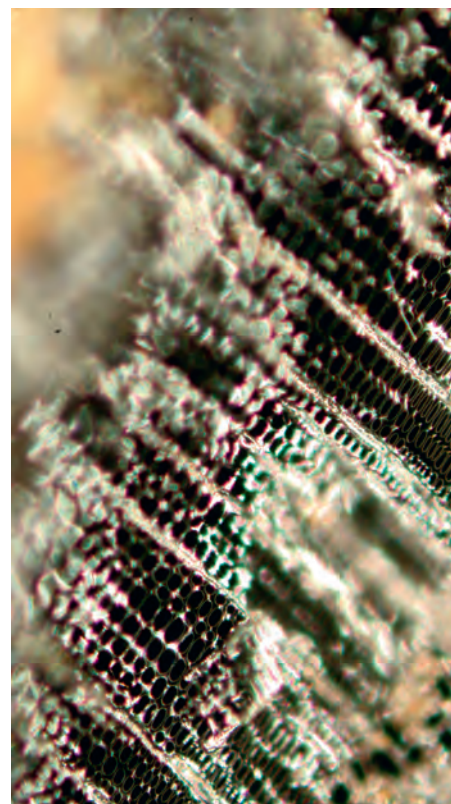


Fig. 308 : Coupe transversale d'*Abies alba* Mill. (Sapin) (X100) (C. Cenzon Salvayre).

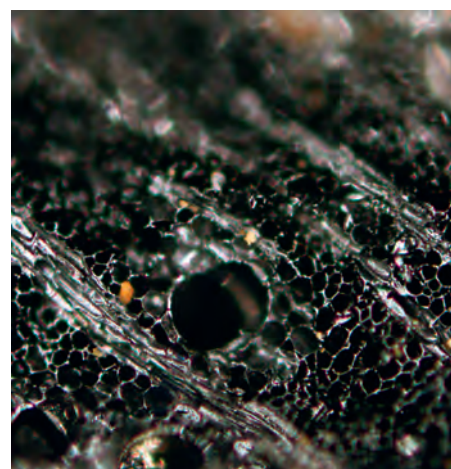


Fig. 309 : Coupe transversale de *Fraxinus cf. excelsior* (Frêne) (X200) (C. Cenzon Salvayre).

9. Pour les méthodes et les objectifs d'analyse, *supra*, p. 58-59.

10. Nommé ainsi en raison de la difficulté à distinguer les deux essences d'un point de vue anatomique, distinction décrite par Anagnost, Meyer, De Zeeuw 1994 et Talon 1997. Dans notre cas, l'état avancé de déformation du charbon n'a pas permis de préciser.



Conformément à leurs qualités de combustible, le chêne vert et le hêtre, découverts respectivement sous forme de charbon de bois à la poupe du chaland et de réserve de bois sec à la proue étaient utilisés comme bois de chauffage à bord. L'identification de ces bois, associée à celle du mobilier céramique (*supra*, p. 233-240), a conduit à localiser, à l'arrière du bateau, l'espace réservé à la cuisine de bord.

### Charbon de bois

*N° de prélèvement* : AR3 #7 (2006) (M96) (fig. 20 et 21)

*Matériau* : bois carbonisé, hêtre (*Fagus sylvatica* L.).

*Dimensions* : fragments de 2,5 à 40 cm<sup>3</sup>.

#### *Description et identification*

Des fragments de charbon de bois, dont six ont été prélevés pour analyse, ont été découverts sur le fond du chaland dans la zone de cuisine. Ils proviennent de tiges de bois de hêtre debout et/ou fendues.

#### *Interprétation*

Il s'agit, de toute évidence, de menu bois destiné à garnir un foyer, ce qui coïncide parfaitement avec le reste du mobilier découvert dans cette zone (le fond de *dolium* et les fragments de bouilloires à associer aux traces de brûlures sur le fond du bateau). Excellent combustible, le bois de hêtre était très estimé et consommé autrefois, notamment pour le chauffage domestique (Lieutaghi 2004, p. 742 ; Rameau, Mansion, Dume 1989, p. 453). Les bateliers d'Arles-Rhône 3 n'ont donc pas choisi ce bois par hasard. En plus d'un approvisionnement en bois d'origine méditerranéenne ou typique des cours d'eau (*supra*), c'est l'exploitation d'une région plus septentrionale de la vallée du Rhône que révèle la présence du hêtre comme combustible à bord (de même que les perches non écorcées, sans doute utilisée pour sonder le fond du Rhône ; *supra*, p. 212). Mais rien ne nous permet de savoir de quelle manière il a été récolté par les bateliers. Ainsi, s'il a pu être coupé selon les besoins, lors des haltes du chaland, au gré de la navigation et de la végétation disponible à proximité des berges, ne sachant pas s'il était encore pourvu de son écorce avant d'être brûlé, il pourrait s'agir tout aussi bien de bois flotté récupéré sur les bords du fleuve que de bois de chauffage marchandé sur un chantier naval, un quai ou une autre embarcation provenant du Nord et naviguant dans la section inférieure du Rhône.

### Bois de chauffage (fig. 310)

*N° de fouille* : AR3 2011 US 3016.5-1 à 5

*N° d'inventaire Musée* : RHO.2011.3016.5

*Matériau* : bois, chêne vert (*Quercus coccifera/ilex*<sup>11</sup>).

*Dimensions* :

- US 3016.5-1/5 : long. 106,5 cm ; diam. 8,8 cm ;
- US 3016.5-2 : long. 116,5 cm ; diam. max. 9,4 cm ;
- US 3016.5-3 : long. 80 cm ; diam. max. 7,2 cm ;
- US 3016.5-4 : long. 142 cm ; diam. max. 8,5 cm.

**Fig. 310** : Branches de chêne vert non écorcées stockées comme combustible à la proue du chaland (L. Roux, O'Can-Ipsa Facto, MdAa/CG13).



11. Les bois de ces deux espèces de chêne à feuillage persistant ne peuvent pas se différencier sur la base de leur étude anatomique (Schweingruber 1990). Cependant, étant donné la grosseur des branches et du fait que le chêne kermès (*Quercus coccifera* L.) est un arbrisseau n'atteignant au mieux que 2 m de hauteur (Rameau *et al.* 2008, p. 839), le type de bois analysé peut raisonnablement être attribué au chêne vert (*Quercus ilex* L.).

#### *Description et identification*

Il s'agit de quatre branches de bois de chêne vert non écorcées, grossièrement élaguées et aux extrémités taillées à la hache, en biseaux plus ou moins aigus et rapidement ébauchés.

Seule l'une d'elles présente une pointe à plusieurs pans (US 3016.5-1/5) toute aussi rustique. Elles étaient réunies et stockées, côte à côte, à la proue, disposées transversalement au bateau sur une partie de la varangue M130, en avant de l'emplanture de mât (pl. I).

### Interprétation

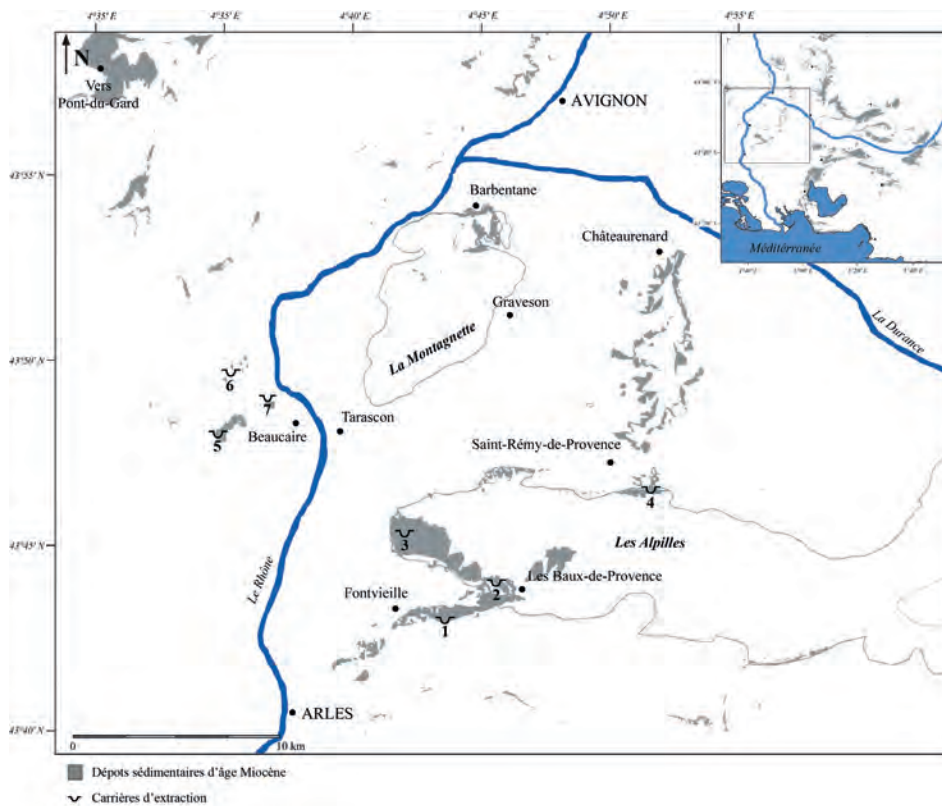
Compte tenu de ces paramètres grossiers, ce lot de bois était employé très certainement comme combustible pour alimenter le foyer du bateau. Le grand pouvoir calorifique du bois de chêne vert, considéré pendant longtemps comme un excellent combustible et un très bon charbon de bois (Lieutaghi 2004, p. 414; Rameau *et al.* 2008, p. 843), vient renforcer cette hypothèse. Encore pourvu de son écorce, il ne peut pas s'agir de bois flotté récupéré sur les bords du Rhône par les bateliers mais de bois sélectionné sciemment parmi la végétation locale disponible, la qualité de ce combustible ne leur étant sans doute pas inconnue. On peut remarquer, cependant, que ces bois ne sont pas de la même espèce que celles, très diversifiées, identifiées parmi les fragments de charbon de bois retrouvés à la poupe à l'intérieur et à l'extérieur du fond de *dolium* servant de foyer sur le chaland (*supra*). Si l'on écarte les essences résineuses qui pouvaient provenir des planches de vaigrage du bateau remployées de manière opportuniste ainsi que le bois de hêtre, essence exogène, le bois de chêne vert, associé aux essences de filaire/nerprun, caractéristiques de la végétation méditerranéenne, et le bois de frêne, typique des formations forestières alluviales, mettent en évidence un approvisionnement en bois local sélectionné au gré de la navigation et de la végétation disponible sur les berges du Rhône.

## LA CARGAISON DU CHALAND ARLES-RHÔNE 3: UN CHARGEMENT DE PIERRES DE CONSTRUCTION

### ÉTUDE GÉOLOGIQUE: NATURE ET PROVENANCE DES BLOCS DE PIERRE DE LA CARGAISON

Philippe BROMBLET, Jérémie BERTHONNEAU, Lise LEROUX,  
Pierre GAUDON, Vincent MERCURIO

Les pierres trouvées dans le chaland constituent un lot homogène (fig. 325). Le matériau est une roche sédimentaire carbonatée, un calcaire que l'on peut rattacher à la grande famille



**Fig. 311:** Carte des affleurements de molasse burdigalienne (Miocène) et localisation des principaux sites d'extraction en amont d'Arles. 1: Fontvieille, 2: Baux de Provence, 3: Saint-Gabriel, 4: Saint-Rémy-de-Provence, 5: Roc des Mourgues, Saint-Sixte, Roquepartide, 6: Haut des Gaudons, 7: Abbaye Saint-Roman (support Infoterre) (J. Berthonneau, CICRP).

des molasses ou «pierres du midi». Ces roches se sont formées à partir de sédiments déposés dans une mer chaude et peu profonde qui recouvrait le sud de la France jusque dans la vallée du Rhône au Burdigalien, période du Miocène située entre -20 et -16 millions d'années. On les trouve à l'affleurement dans toute la Provence (fig. 311) sous la forme de bancs plus ou moins coquilliers, fins ou grossiers, et de coloration variée. Durant l'Antiquité, elles ont été largement exploitées et diffusées le long du Rhône pour la construction de nombreux édifices et de villes antiques : le pont du Gard, l'amphithéâtre d'Arles, Vaison, Glanum...

L'étude géologique vise dans un premier temps à préciser la nature et les propriétés du matériau afin d'en déterminer la provenance en le comparant à des pierres de construction régionales connues pour avoir été utilisées durant l'Antiquité. Dans un second temps, quelques sites romains situés à l'aval d'Arles, dans la région du delta du Rhône, ont été rapidement explorés pour retrouver des preuves de l'utilisation de cette pierre dans les constructions contemporaines du chaland.

## Matériaux et méthodes

Une quinzaine de blocs de la cargaison sortis du Rhône a été examinée. Des éclats ont été prélevés sur les blocs P1, P2, P3 et P6. Des lames minces ont été confectionnées pour déterminer le microfaciès de la pierre par une étude pétrographique au microscope optique en lumière polarisée (lp) et polarisée et analysée (lpa).

Sur une sélection de quatre blocs (P2, P3, P6, P7) ramenés au laboratoire, trois carottes (diam. 4 cm ; h. 8 cm) ont été prélevées pour permettre la réalisation d'une série d'essais pétrophysiques standards qui caractérisent la pierre par ses propriétés physiques (masse volumique apparente, cohésion évaluée par la mesure de la vitesse du son à travers le matériau) et ses capacités de stockage (porosité ouverte totale...) et de transfert de l'eau (coefficient de capillarité).

Pour déterminer la provenance des blocs de la cargaison, une campagne de terrain a été menée sur quelques carrières anciennes situées en amont d'Arles et susceptibles d'avoir fourni les pierres transportées. Plusieurs gisements de molasses sont connus autour d'Arles et sa région : pierre de Fontvieille, pierre des Baux, pierre de Saint-Rémy... La plupart se différencient aisément à l'œil nu des pierres de la cargaison par leur grain plus fin, leur couleur plus jaune et/ou leurs propriétés physiques (plus tendre, plus poreux...). Si l'on passe en revue les carrières de molasse susceptibles d'avoir été exploitées durant l'Antiquité, il s'avère que deux sites seulement auraient pu fournir un matériau comparable par la taille, la nature des grains, la compacité et la couleur de la pierre : les carrières de Saint-Gabriel situées sur le site antique d'*Ernaginum*, à proximité de Tarascon, et les carrières de Beaucaire (*Ugernum* antique). Elles sont situées en amont et à proximité d'Arles (fig. 311), en bordure du Rhône ou desservies par une voie romaine (*via Domitia*).

Les carrières de Saint-Gabriel exploitent un flanc de colline à une dizaine de kilomètres tout au plus de la rive est du Rhône, à l'extrémité de la chaîne des Alpilles. Actuellement à l'abandon, des fronts de taille étaient encore exploités au xx<sup>e</sup> s. pour fournir un matériau de construction appelé alors pierre de Tarascon. Le «Répertoire des carrières de pierre de taille françaises exploitées en 1889» publié par le Ministère des Travaux publics en 1890 et qui recense une grande partie des pierres extraites en France pour la construction à cette période, qualifie la pierre de Tarascon de calcaire un peu crayeux blanc ou gris jaunâtre, à grain fin qui a servi par exemple à la construction du château de Tarascon. En 1976, trois exploitations de pierre de Saint-Gabriel, dont il est précisé qu'elles utilisent les blocs extraits dans le passé, sont encore référencées (Anonyme 1976). Sur le terrain, s'il est facile de repérer les fronts de tailles les plus récents, la zone d'exploitation antique est difficile à localiser avec précision. Le choix des carrières à visiter a largement bénéficié des connaissances d'Otello Badan (*supra*, p. 28, note 6). Des vestiges de fronts anciens, présentant des marques d'extraction caractéristiques (coins, taillant, tracé gravé) affleurent encore dans la pinède autour de la tour Saint-Gabriel (fig. 312) et le long de la route départementale n° 33. La molasse plus ou moins blanche et compacte offre beaucoup de similarités avec la pierre transportée par le chaland.

Les carrières de Beaucaire également abandonnées figurent aussi dans le répertoire des carrières exploitées en 1889. La pierre qui y était extraite est décrite comme un calcaire coquillier ou molasse, à grain fin ou moyen, roux, jaune, blanc ou grisâtre. L'exploitation remonte à l'Antiquité (Gasco, Reboul 1996). L'abandon des carrières est plus ancien que pour la pierre de Saint-Gabriel, et aucune carrière de pierre de taille n'est recensée à Beaucaire dans le catalogue de 1976 qui signale que le matériau n'est plus exploité que pour la fabrication de chaux et de ciment depuis 1960. Les carrières se répartissent en trois zones. À l'ouest de la ville, plusieurs fronts de taille parmi les plus récents sont situés le long de la voie ferrée (Roc des Mourgues, Saint Sixte, Roquepartide). La hauteur des fronts y est considérable. Si le matériau exploité est le plus souvent une molasse colorée, plus ou moins



Fig. 312 : Ancien front de taille à proximité de la tour de Saint-Gabriel (P. Excoffon).

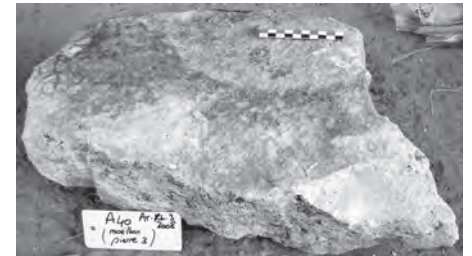


**Fig. 313:** Vestige d'un front de taille sur le chemin Haut des Gaudons, au nord de Beaucaire (Ph. Bromblet, CICRP).

jaune à orangée et d'aspect très poreux, on trouve en zone médiane un matériau plus compact et blanchâtre qui ressemble plus aux pierres du chaland. Des carrières plus anciennes sont localisées au nord de l'agglomération et à proximité de la rive ouest du Rhône, d'une part sur le chemin Haut des Gaudons (fig. 313), d'autre part autour du promontoire constitué par l'abbaye Saint-Roman. Ces fronts de taille exploitaient une molasse blanchâtre et compacte très proche macroscopiquement des pierres de la cargaison du chaland.

Plusieurs blocs et éclats provenant de ces différents sites ont été rapportés au laboratoire (fig. 314) pour y confectionner des lames minces ainsi que des carottes destinées aux mêmes essais pétrographiques et pétrophysiques que les blocs du chargement.

Enfin, quelques blocs ou moellons d'aspect comparable aux pierres de la cargaison ont été collectés par Sabrina Marlier, Pierre Excoffon et Otello Badan au cours d'une prospection en Camargue sur trois sites romains répertoriés dans le delta du Rhône. Il s'agit de villas (Petite Antonelle, Cabassole, Fielouse) situées le long de l'ancien bras du Rhône d'Ulmét, qui ont été repérées lors de prospections au sol et datées par leur matériel archéologique du I<sup>er</sup> au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C. (Landuré, Martin, Pasqualini 2004). La même méthodologie d'étude a été appliquée à ces blocs dans le but de confirmer l'existence d'un circuit d'approvisionnement en matériau de construction en provenance d'Arles et ses environs et en direction de la plaine qui s'étend entre les deux bras du Rhône, dans laquelle les ressources en pierre pour la construction sont inexistantes.



**Fig. 315:** Bloc (P3) de la cargaison du chaland après prélèvement d'un éclat (Ph. Bromblet, CICRP).

**Fig. 314:** Localisation et référencement des prélèvements en carrière.

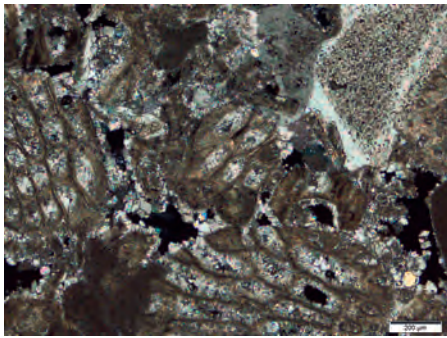
Pierre	Localisation	Référence
Pierre de St-Gabriel	1 bloc sur le front de taille face à la tour médiévale St-Gabriel	SGCA
Site d'extraction 3 (Fig. 311-carte)	1 bloc au sud de la tour dans la forêt	STGA
	8 petits éclats sur affleurements	STG1 à STG8
Pierre de Beaucaire	2 blocs sur un front de taille chemin Haut des Gaudons	BcG3, BcG4
Sites d'extraction 5, 6 et 7 (Fig. 311-carte)	1 bloc au pied de la butte de l'abbaye St-Roman (paléochrétien et médiéval), côté est	STR
	2 blocs Roc des Mourgues	Be2, CRM
	9 petits éclats sur affleurements	BGR1, BGB1, BGB2, BVF1, BVF2, BVF3, BVF4, BSR1, BSR2



**Fig. 316:** Vue macroscopique de la texture de la molasse qui constitue les blocs de la cargaison sur la face sciée d'une carotte (P6, hauteur 3 cm) (J. Berthonneau, CICRP).

## Étude des pierres de la cargaison

La molasse qui constitue les pierres de la cargaison est un calcaire grisâtre à blanchâtre (fig. 315 et 316), compact, à grain moyen à grossier (1 à 3 mm), riche en débris d'organismes marins (bioclastes) parfois associés à quelques rares petits galets calcaires plurimillimétriques.



**Fig. 317:** Microfaciès d'une pierre de la cargaison (P6) au microscope pétrographique (x40, lpa) (Ph. Bromblet, CICRP).

### Étude pétrographique du microfaciès

En lame mince (fig. 317), le matériau est caractérisé par une faible proportion de ciment à cristaux visibles (>20 µm) de calcite (sparite). Les cristaux granulaires sont d'abord de taille réduite contre les parois puis de grande taille. La cimentation est incomplète et ménage une porosité intragranulaire à l'intérieur des loges de certains fossiles. Le ciment sparitique lie de nombreux débris fossiles (bioclastes) jointifs. Les fragments de coraux (polypiers et bryozoaires) et les plaques et radioles d'échinodermes dominent. Ces derniers sont entourés de calcite syntaxiale. On observe aussi quelques tests de gastéropodes, lamellibranches, brachiopodes et de foraminifères benthiques (nummulites) et enfin quelques rares grains de quartz (environ 1 %). La taille des bioclastes varie entre quelques centaines de microns à plusieurs millimètres. La taille des grains de quartz est généralement comprise entre 300 et 500 microns mais quelques grains polycristallins atteignent 800 microns. La roche est parsemée de vacuoles de forme plus ou moins arrondie, de quelques centaines de microns à plusieurs millimètres de diamètre, bordées de cristaux de calcite granulaire.

La texture et les constituants de cette roche correspondent au microfaciès d'un calcaire bioclastique de type *grainstone* (classification de Dunham 1962) ou biosparite (classification de Folk 1959) périrécifal. Aucune marque de dissolution ou recristallisation qui aurait pu avoir été causée par le long séjour de ces blocs dans le Rhône n'a été observée.

### Essais pétrophysiques

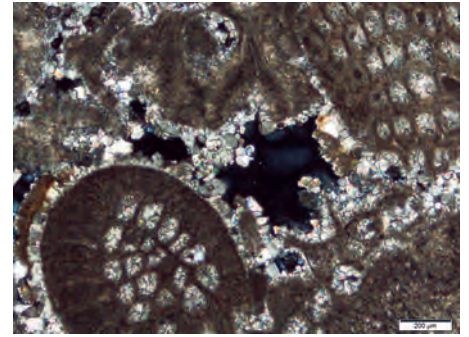
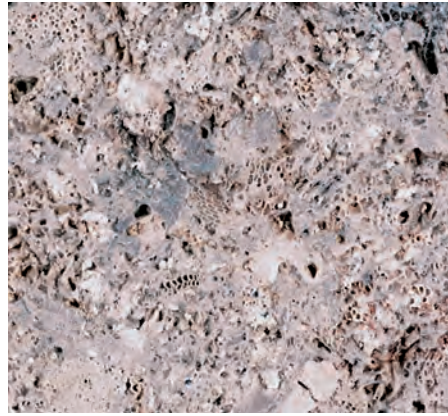
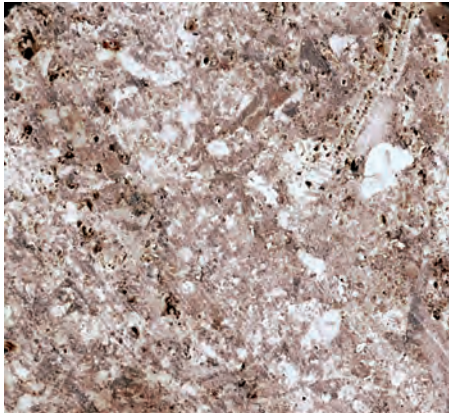
Les résultats des essais réalisés sur les quatre blocs et sur trois carottes par bloc sont homogènes (fig. 318). Les valeurs de vitesse du son sont élevées, indiquant que la porosité est faible et la cimentation (contacts intergranulaires) de bonne qualité, ce que confirment les autres essais : la masse volumique apparente est importante et la porosité ouverte et le coefficient de capillarité sont relativement faibles. Par ces propriétés physiques et selon les critères d'identification des pierres calcaires, cette pierre se situerait à la frontière entre les catégories des pierres calcaires fermes à dures (Bigas, Martinet (dir.) 2009). Elle constitue un matériau de construction de qualité, l'un des meilleurs parmi les molasses de la Provence.

**Fig. 318:** Résultats des essais pétrophysiques réalisés sur quatre blocs de la cargaison et sur des blocs pris sur les fronts de taille des pierres de Beaucaire et de Saint-Gabriel.

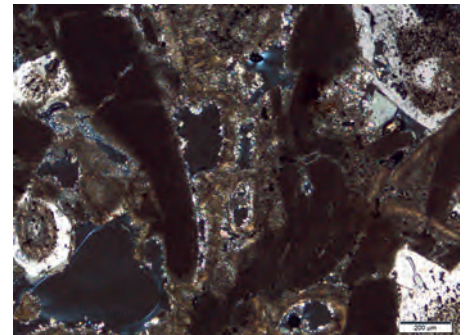
Propriétés	Dimensions	Cargaison	Pierre	Pierre
		Arlès-Rhône 3	de Beaucaire	de Saint-Gabriel
		P2 P3 P6 P7	BcG3, BcG4 STR Be2, CRM	SGCA STGA
Vitesse du son	m/s	4250 3950 4000 3800	3700 - 3450 4205 3150 - 3650	4650 3960
Porosité libre	%	12,6 13 18,6 19	26 - 30 17,9 29,2 - 26,9	12,2 14
Masse volumique apparente	(kg/m <sup>3</sup> )	2290 2220 2210 2200	1880 - 1880 2180 1920 - 1940	2380 2335
Coefficient de capillarité	(g/m <sup>2</sup> /s <sup>0.5</sup> )	31 41 39 40	113 - 100 100 151 - 100	11 23

### Provenance des blocs: comparaison avec les pierres de Saint-Gabriel et de Beaucaire

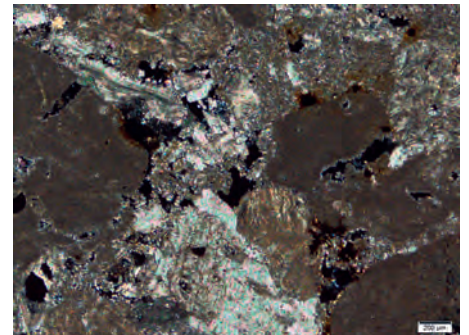
Les échantillons de pierre de Saint-Gabriel et de Beaucaire sélectionnés ont des aspects macroscopiques très proches (fig. 319a et 319b). Ce sont des calcaires bioclastiques à grain moyen à grossier (1-3 mm). La pierre de Saint-Gabriel est plus compacte, de couleur gris-jaune clair, avec une macroporosité peu abondante. La pierre de Beaucaire montre une teinte blanc-jaune et une macroporosité plus importante.



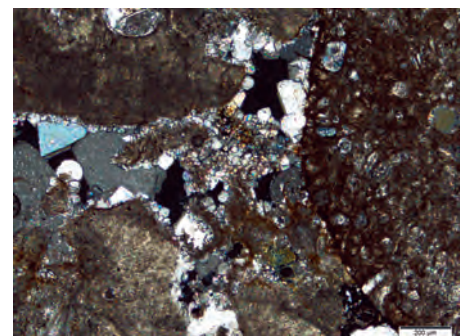
**Fig. 320 :** Microfaciès d'une pierre de Saint-Gabriel (SG7) au microscope pétrographique (x40, lpa) (Ph. Bromblet, CICRP).



**Fig. 321 :** Microfaciès de la pierre de Beaucaire, sous l'abbaye Saint-Roman (BSR1) au microscope pétrographique (x40, lpa) (Ph. Bromblet, CICRP).



**Fig. 322 :** Microfaciès de la pierre de Beaucaire du chemin Haut des Gaudons (BGR1) au microscope pétrographique (x40, lpa) (Ph. Bromblet, CICRP).



**Fig. 323 :** Microfaciès d'une pierre (1B) prélevée sur le site Petite Antonelle au microscope pétrographique (x40, lpa) (Ph. Bromblet, CICRP).

**Fig. 319a et 319b :** Vue macroscopique de la texture de la pierre de Saint-Gabriel (à gauche) et de la pierre de Beaucaire (à droite) – faces sciées de carottes (SGCA et Be2, hauteur 3 cm) (J. Berthonneau, CICRP).

### Étude pétrographique : microfaciès

Le microfaciès des pierres de Saint-Gabriel correspond à un calcaire bioclastique de type *grainstone* (classification de Dunham) ou biosparite (classification de Folk) qui présente de grandes similitudes avec celui des pierres de la cargaison. La cimentation est assurée par une calcite sparitique granulaire et elle est souvent incomplète (fig. 320). La roche est riche en fragments de polypiers, bryozoaires et échinodermes et contient quelques fragments de gastéropodes, lamellibranche, brachiopode, des foraminifères benthiques (nummulites). Quelques rares grains de quartz, dont certains polycristallins (<1 mm), parsèment le matériau.

À la différence de la pierre de Saint-Gabriel, la phase liante de la pierre de Beaucaire est très généralement une matrice carbonatée très fine (micrite) et parfois une microsparite (<20 µm). Les bioclastes sont abondants et jointifs (fig. 321 et 322), avec une forte proportion de lithoclastes de micrite sans fossiles, associés à des débris de coraux (bryozoaires et polypiers), d'algues (rhodophycées...) et quelques plaques d'échinodermes à cristallisations syntaxiales de calcite, des fragments de bivalves et de rares foraminifères benthiques (nummulites). Quelques grains de glauconie jaunâtres ou verdâtres remplissent les loges de certains fossiles. Aucun grain de quartz n'a été observé. Ces calcaires bioclastiques sont du type *packstone* (classification de Dunham) ou biomicrite (classification de Folk).

### Essais pétrophysiques

Si l'on examine les propriétés physiques de la pierre de Beaucaire et de la pierre de Saint-Gabriel (fig. 318), on constate une certaine dispersion des résultats qui traduit dans les deux cas une grande variabilité dans la qualité des matériaux naturels extraits dans une même carrière, ou dans des carrières voisines qui exploitent pourtant la même formation sur des affleurements situés tout au plus à quelques kilomètres de distance. Les résultats permettent néanmoins de distinguer nettement les deux matériaux. La pierre de Beaucaire a des vitesses du son et des masses volumiques plus faibles, des porosités plus importantes et des coefficients de capillarité dix fois plus élevés. Les propriétés de la pierre de Saint-Gabriel sont bien plus proches de celles des pierres de cargaison analysées. Ainsi, pour toutes les propriétés mesurées, même si les deux matériaux ne sont pas rigoureusement identiques, les quatre pierres de la cargaison échantillonnées sont comparables à la pierre de Saint-Gabriel. Les différences peuvent être imputées à la grande variabilité des propriétés de ces matériaux naturels et au fait que nous n'avons certainement pas eu accès aux fronts de taille antiques détruits par les exploitations postérieures.

### Nature des pierres de construction des sites antiques camarguais

Dans les trois sites antiques camarguais, l'analyse pétrographique des blocs collectés indique qu'il s'agit de calcaires bioclastiques (fig. 323) avec la même cimentation et texture (*grainstone* ou biosparite) et la même faune de fossiles et donc similaires à la pierre de Saint-Gabriel et aux blocs de la cargaison du chaland.

Les blocs collectés sur les sites à l'aval d'Arles (fig. 324) ont des propriétés physiques comparables aux moellons de la cargaison et à la pierre des carrières de Saint-Gabriel tandis qu'ils se distinguent nettement des pierres des carrières de Beaucaire.

**Fig. 324 :** Résultats des essais pétrophysiques réalisés sur les blocs collectés sur les sites antiques de Camargue.

Site	Petite Antonelle		Cabassole	Fielouse	
Blocs	1A	1B	2A	5A	5B
Vitesse du son (m/s)	3947	4234	4030	4355	4055
Porosité libre (%)	18.7	10.4	17.7	9.8	15
Masse volumique apparente (kg/m <sup>3</sup> )	2202	2425	2224	2439	2300
Coefficient de capillarité (g/m <sup>2</sup> /s <sup>0.5</sup> )	15	11	26	10	14

## Conclusions

L'étude géologique des pierres de la cargaison permet d'identifier le matériau et de déterminer sa provenance. Il s'agit d'un calcaire bioclastique de type *grainstone* ou biosparite vraisemblablement extrait dans les carrières de Saint-Gabriel. Les caractérisations pétrophysiques montrent que dans la vaste gamme des molasses burdigaliennes de Provence, cette pierre se classe parmi les plus compactes et constitue un matériau de construction de très bonne qualité. Des blocs du même type de pierre ont été utilisés sur plusieurs sites d'occupation romaine contemporains de la période de construction et d'activité du chaland en Camargue.

D'un point de vue méthodologique, on notera que les essais pétrophysiques, très usuels dans le domaine de la construction et de la conservation de la pierre, sont rarement réalisés dans le cadre des problématiques archéologiques. Cette étude montre qu'ils sont pourtant susceptibles de fournir des éléments de caractérisation et de comparaison complémentaires à la description traditionnelle de la pierre et de son microfaciès au microscope.

## ÉTUDE ARCHÉOLOGIQUE

Pierre EXCOFFON

### Nature du chargement

#### *Le chargement : données de fouilles*

L'épave ayant été découverte avec une gîte de 30° de bâbord vers tribord, les pierres constituant la cargaison ont glissé en partie du côté de ce dernier bord. Lors des opérations de fouille, un prélèvement d'une partie du chargement de pierres ainsi que plusieurs observations sur son organisation ont été effectués. Les blocs étaient disposés à plat, sur trois à quatre niveaux successifs, à l'intérieur d'un caisson de 40 cm de hauteur offrant un volume disponible calculé (*supra*, p. 229) entre 13,33 m<sup>3</sup> et de 19,20 m<sup>3</sup>. La relative horizontalité de la surface des blocs a permis un agencement simple, par imbrication et empilement, permettant d'exploiter au mieux la contenance disponible, en limitant le volume perdu. Le poids total du chargement lapidaire a été évalué à 21,48 tonnes (*supra*, p. 229).

#### *Méthode de prélèvement et fiabilité de l'échantillonnage*

Les blocs extraits sont majoritairement issus de la partie centrale du chargement, partiellement renversé, sans qu'une sélection particulière n'ait été réalisée. Au total, une soixantaine de pierres, de modules variables, a été prélevée, soit une masse totale estimable de 1 200 kg, représentant environ 5 % de l'ensemble du chargement. Bien que ce pourcentage soit peu élevé, la méthode de prélèvement « libre » permet d'envisager que celui-ci est néanmoins caractéristique de l'ensemble et peut, à ce titre, être considéré comme un lot représentatif.

#### *Le chargement*

Les pierres transportées par le chaland sont de dimensions et de formes diverses, mais chacune est transportable par un ou deux hommes. Les dimensions varient de 20 × 13 × 6 cm à 55 × 36 × 17 cm pour un poids de 4 à 90 kg (fig. 325). Aucune ne porte de traces d'extraction, ni de taille, aucun module précis ne peut être isolé, et leur morphologie varie du moellon au bloc, en passant par la lauze (fig. 326a et 326b). Une certaine régularité est toutefois perceptible dans les épaisseurs des éléments, dont les dimensions les plus fréquentes sont de 11 cm (plus de 35 %), 17 cm (20 %), 7 cm (20 %) et 15 cm (10 %). Cette apparente régularité, associée à la nature des surfaces de chaque bloc, permet de restituer l'épaisseur des bancs de la carrière d'origine. Certaines de ces pierres comportent par ailleurs de petits galets ou gravillons de quartz roulés caractéristiques des niveaux de stratification et justifiant de leur séparation, ou fissuration du socle, en utilisant uniquement une pince de carrier. Sur certains blocs, des surfaces, ou sols de carrière, qui ont séjourné à l'évidence durant une longue période à l'air libre, sont nettement identifiables. C'est précisément l'existence de ces surfaces planes qui a permis l'empilement des blocs dans le caisson du chaland avec un minimum de perte de volume.



Fig. 325 : Ensemble représentatif des pierres composant la cargaison (P. Excoffon).



Fig. 326a et 326b : Moellon et lauze découverts au sein du chargement (L. Damelet, CCJ/CNRS).

## La provenance

L'étude géologique a permis d'identifier les carrières de Saint-Gabriel comme lieu de provenance des pierres de chargement (*supra*).

### La station routière d'Ernaginum

Le lieu-dit Saint-Gabriel, situé sur la commune de Tarascon, est identifié à la station routière d'*Ernaginum* mentionnée par Ptolémée (II, 10, 8) et la Table de Peutinger. Située sur un carrefour routier important (voies Aurélienne, Domitienne et d'Agrippa), à environ 5 km de Tarascon et du Rhône, son occupation remonte au premier âge du Fer et dure jusqu'à l'Antiquité tardive (Allinne, Verdin 2002, p. 140) (fig. 327). Depuis le XIX<sup>e</sup> s., on s'accorde à penser que le *vicus* d'*Ernaginum* était, durant l'Antiquité et le Haut Moyen Âge, une agglomération portuaire en lien avec un présumé cours d'eau navigable : la Duransole (De Villeneuve 1824, p. 745 ; Colin 1904). Cette interprétation repose en partie sur la découverte du cippe funéraire de *Marcus Frontonius Euporus* (*CIL.*, XII, 982), « patron des nautes de la Durance et des utriculaires d'*Ernaginum* » (Benoît 1936, p. 221-222, n° 577), faisant ainsi du *vicus* un port de transbordement des utriculaires (Gateau, Gazenbeek (dir.) 1999, p. 412, n° 34). Toutefois, l'identification des utriculaires comme des bateliers naviguant sur des rivières ou des étangs, plutôt qu'affectés aux transports routiers par charrettes, a été, depuis, largement discutée (Demant 2002) et, selon des études récentes (Verdin 2005, p. 278 ; Leveau 2008, p. 126), le carrefour routier que constituait *Ernaginum* aurait surtout été propice à la circulation de muletiers<sup>12</sup>. Néanmoins, même si les utriculaires n'étaient pas des bateliers, la référence aux nautes de la Durance confirme le lien avec le transport fluvial.

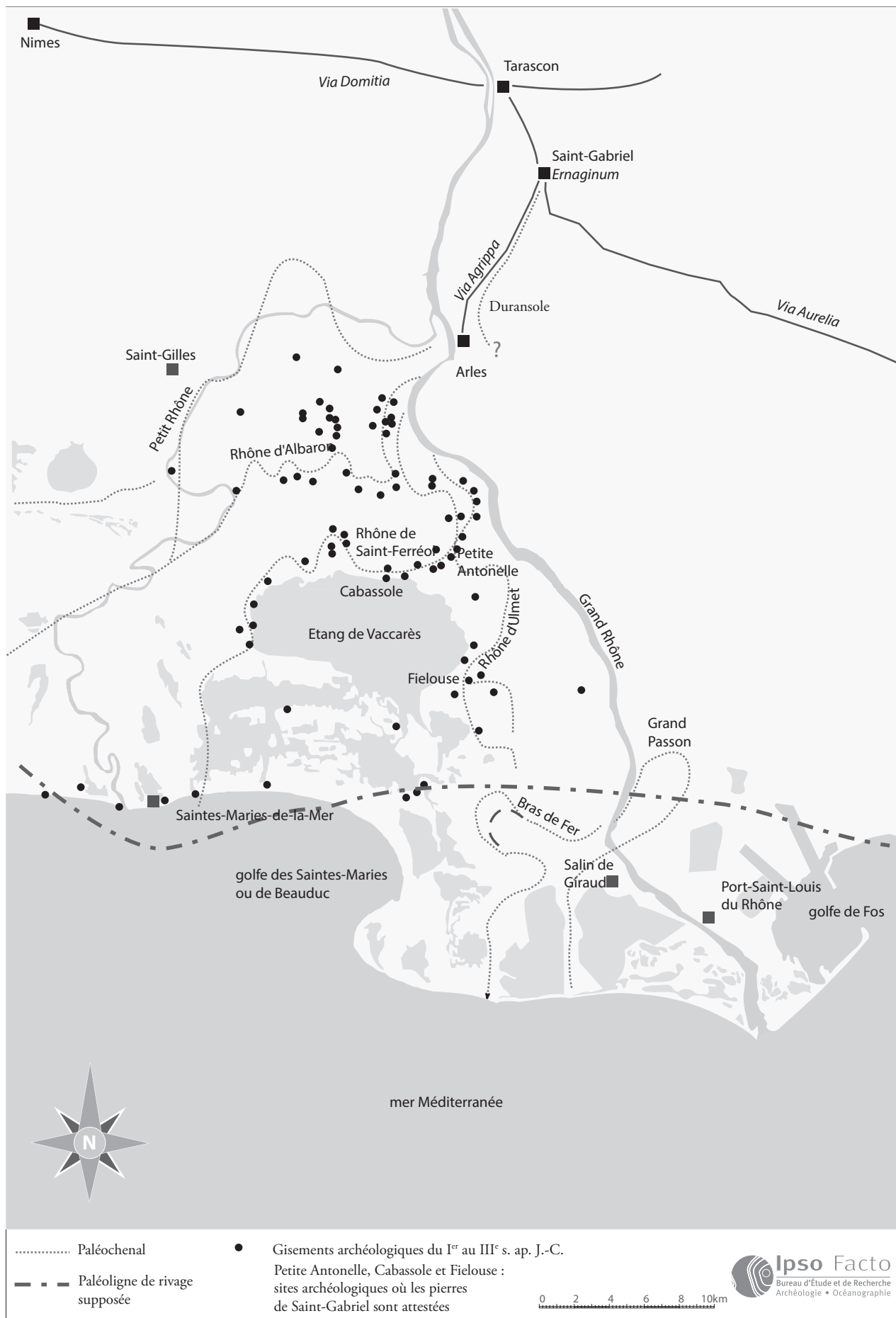
### Les carrières et la pierre de Saint-Gabriel

Jusqu'à présent, on connaît peu de témoignages de carrières antiques sur le territoire en rive droite de la Duransole (Gateau, Gazenbeek (dir.) 1999, p. 414, n° 37). Lors des prospections de terrain menées en 2000 et 2001 (Allinne, Verdin 2002, p. 144), des traces d'extraction ont également été découvertes à proximité de la chapelle Saint-Gabriel qui donne son nom au site. La grande excavation à ciel ouvert située en arrière de la chapelle et au contact de l'antique *Ernaginum* est moderne, comme l'attestent quelques marques de barre à mine (fig. 312). Toutefois, rien ne permet d'exclure que son origine puisse être en réalité plus ancienne et qu'elle ait été destinée, notamment, à l'édification du *vicus* et des *villae* environnantes<sup>13</sup>. Plus à l'est, seules quelques traces d'extraction visibles sur des niveaux supérieurs affleurant pourraient être considérées comme la résultante d'une exploitation antique. Toutefois, l'épaisseur des blocs retrouvés dans le chaland, qui correspond à un délitement naturel des bancs calcaires sans trace d'outils, peut être comparée aux bancs les moins épais du secteur, ceux nécessitant le moins de moyens pour l'extraction.

12. Dans le cas d'une identification des utriculaires comme bateliers, les outres gonflées d'air auraient servi de flotteurs aux embarcations. Et dans le cas d'un transport routier, les outres auraient servi à transporter des liquides. Pour plus de détails sur les utriculaires (*infra*, p. 276, note 42).

13. L'absence d'études sur l'utilisation de la pierre de Saint-Gabriel interdit de proposer une restitution du circuit de diffusion à partir des sites d'essaiage.





**Fig. 327 :** Carte de localisation des principaux sites archéologiques et des cours d'eau cités, entre Tarascon et la mer (d'après une compilation des cartes publiées dans la CAG 13/5 et dans Allinne 2005, avec son aimable autorisation).



**Fig. 328 :** Épaisseurs des bancs de calcaire de la carrière de Saint-Gabriel. En partie haute les bancs les plus fins (la découverte) et au dessous les bancs plus épais (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).

Ainsi, les pierres de chargement du chaland pourraient provenir soit d'une extraction ponctuelle et localisée, voire de déchets d'un terrassement ou d'un aplanissement de terrain, soit de la partie sommitale et non exploitable en pierre de taille d'une carrière (la découverte) et ne nécessitant pas l'usage d'un outillage très spécialisé outre la pince de carrier servant de levier (fig. 328).

## Le circuit de la pierre

*De la carrière au chaland : le lieu de chargement et la question de la navigabilité de la Duransole*

Le circuit de la pierre, des carrières de Saint-Gabriel au fond du Rhône, s'il a nécessairement suivi la voie fluviale, pose la question de l'acheminement depuis le lieu d'extraction jusqu'au chaland. Deux hypothèses sont envisageables, soit par la voie terrestre, depuis les carrières jusqu'au bord du Rhône, soit directement par la voie d'eau, avec la Duransole.

### L'hypothèse d'un transport terrestre...

Actuellement, les sites d'extraction potentiels de Saint-Gabriel sont situés à environ 5 km du Rhône. Selon l'hypothèse d'un transport terrestre, les pierres ont donc dû être acheminées sur une distance au moins équivalente. En suivant les voies romaines existantes, on peut rejoindre soit Tarascon par la voie Domitienne (un peu plus de 5 km), soit directement Arles par la voie d'Agrippa (environ 10 km)<sup>14</sup> (fig. 327). Si le transport d'éléments lapidaires depuis des carrières par voie terrestre est largement attesté en Gaule pour l'Antiquité (Raepsaet 1984 ; Bedon 1984, p. 138-139 ; Bessac 1996, p. 69-79), les contraintes techniques liées au transport de matériaux pondéreux impactent fortement l'organisation du chantier et son économie. En effet, si l'on considère un transport par attelage, on ne peut raisonnablement pas envisager de charges supérieures à 0,8 tonne en supposant que des paires de bœufs aient été employées<sup>15</sup>. Ainsi, pour transporter le chargement du chaland, estimé à 21 tonnes de pierres en vrac, c'est au moins une procession de vingt-six chariots tractés par des paires de bœufs qu'il faut envisager<sup>16</sup>. Si des chargements bien plus importants sont connus par ailleurs<sup>17</sup>, c'est surtout la nature très ordinaire du matériau qui apparaît ici en décalage avec l'ampleur de l'organisation du transport terrestre à mettre en place. Cela nous incite à nous interroger sur la viabilité économique d'un tel trafic par voie terrestre. En effet, il est établi que plus une marchandise à transporter est pondéreuse, plus il est rentable d'utiliser la voie d'eau, lorsque cela est possible, par rapport à la voie terrestre<sup>18</sup>. Bien que cette réalité soit à relativiser en fonction de la valeur intrinsèque de la marchandise transportée (Jacobsen 1995, p. 14-24 ; Christol, Fiches 1999, p. 143-144), elle reste vérifiable dans le cas d'une marchandise ordinaire, très pondéreuse et encombrante tels que les blocs composant le chargement du chaland *Arles-Rhône 3*. Ainsi, dans l'éventualité d'un premier transport de ce chargement par charrettes, il en ressortirait une certaine disproportion entre le coût relatif

14. À titre de comparaison, une partie de la pierre exploitée à la carrière du Bois des Lens (Gard) était acheminée jusqu'au port d'embarquement de Beaucaire par la voie Domitienne (Bessac 1996, p. 71).

15. Le chiffre de 0,8 t correspond à la charge supposée par R. Bedon pour un chariot à quatre roues (*angaria*) (Bedon 1984, p. 138). Les estimations de G. Raepsaet pour le transport des colonnes en marbre du Pentélique pour le temple d'Éleusis sont environ de 0,5 à 0,7 t par paire de bœufs (Raepsaet 1984, p. 132). Pour l'attelage antique qui fait usage du joug, il est à noter que c'est essentiellement l'utilisation d'essieux en bois qui contraint fortement la charge supportée, contrairement aux époques modernes. En outre, c'est aussi l'état des structures routières et l'évolution morphologique des races de bœuf qui contribuent à l'augmentation des poids transportables (sur ces sujets, voir notamment : Raepsaet 1997 ; Rommelaere, Raepsaet 2001 ou, en dernier lieu, Molin 2007).

16. Il s'agit là d'une moyenne, en multipliant le nombre de bœufs par attelage on diminue naturellement le nombre de chariots nécessaires.

17. Par exemple, le transport des tambours de colonnes du temple d'Éleusis provenant des carrières de marbre du Pentélique et pesant près de 8 t pour un peu moins de 2 m de diamètre (Raepsaet 1984).

18. L'Édit du Maximum de 301 montre que le rapport entre le coût d'un transport de pierres par route et celui par voie d'eau serait de 1 pour 20 (Christol, Fiches 1999, p. 150).

de l'opération d'acheminement par voie terrestre et le coût réel du matériau qui rendrait, a priori, l'opération peu rentable. Par conséquent, la question d'un transport exclusif de ce chargement par voie d'eau se pose.

### ... et celle d'un transport par voie d'eau

En reprenant les hypothèses émises par Cécile Allinne et Florence Verdin sur l'agglomération d'*Ernaginum* et le tracé supposé de la Duransole (Allinne, Verdin 2004), la possibilité d'un transport direct de la pierre par voie d'eau depuis la carrière pourrait être envisagée. En effet, à partir de sondages et d'observations géomorphologiques, le tracé supposé de la Duransole a été reconnu à proximité des affleurements calcaires de Saint-Gabriel. Proche du tracé de l'actuel canal du Viguiérat, le tracé de la Duransole a été repéré aux abords de l'agglomération antique, entre la *villa* de Saint-Clément et le carrefour de Lansac (Allinne, Verdin 2002, p. 139, fig. 2). Dans sa partie sud, si le tracé est mal connu, celui-ci devait se situer entre la voie d'Agrippa et l'actuel canal du Viguiérat, en direction du Rhône et d'Arles<sup>19</sup> (*ibid.*, p. 415). La connexion directe avec le Rhône reste toutefois hypothétique, mais les marais localisés au nord d'Arles, dans lesquels pourrait s'être jetée la Duransole, n'empêchent pas cette liaison en période de hautes eaux (automne et printemps au moins) ou au moyen d'un canal aménagé<sup>20</sup>.

Au carrefour de Lansac, quelques blocs de calcaires ébauchés, associés à la découverte, lors d'un sondage réalisé en 2001, d'un brasier et de déchets de taille, ont fait penser aux auteurs qu'il pouvait exister à cet endroit, au bord de la Duransole, une zone de retaille en vue d'une exportation des pierres de carrière (Allinne, Verdin 2002, p. 144). L'hypothèse d'un chargement sur la Duransole, au niveau des affleurements rocheux les plus proches de son tracé sur le site d'*Ernaginum*, est donc à envisager sérieusement. Malgré tout, ces études n'ont pas permis de démontrer la navigabilité de la Duransole durant l'Antiquité, point qui reste donc discuté (Verdin 2005, p. 278 ; Leveau 2008, p. 126), mais auquel la découverte du chargement du chaland apporte un certain crédit<sup>21</sup>.

En l'état actuel, aucun argument, en faveur d'un transport des pierres par voie terrestre ou exclusivement par la voie d'eau, ne semble l'emporter et ce sont essentiellement les questions de navigabilité de la Duransole et de l'existence possible d'un embarcadère à Saint-Gabriel qui doivent être posées. Si on admet la seconde hypothèse, la configuration de la Duransole étant inconnue, il est néanmoins impossible de savoir si un chaland aurait pu y naviguer. Étant donné les dimensions d'*Arles-Rhône 3*, on peut raisonnablement supposer que ce sont plutôt des barques ou des radeaux (*ratiarii*) qui auraient été utilisés pour descendre la rivière et rejoindre le Rhône. Le chaland aurait alors été chargé sur le fleuve, soit au nord d'Arles, si on admet une connexion de la Duransole avec le Rhône à ce niveau, soit directement dans le port d'Arles.

### Quelle destination pour le chargement ?

Plusieurs éléments, nous l'avons vu, confèrent à ce chargement un aspect peu commun. Ce constat, lié au fait qu'il s'agit du seul chargement de ce type repéré jusqu'à présent pour l'Antiquité dans la section inférieure du Rhône, nous amène à voir dans la cargaison du chaland *Arles-Rhône 3*, naufragé au milieu du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C., un cas très particulier. Au-delà même de l'origine du matériau, c'est également sa forme qui intrigue. Pourquoi transporter un matériau aussi ordinaire et pour quel(s) projet(s) ? S'agit-il d'un phénomène marginal mis en lumière par le hasard des découvertes archéologiques ou est-il représentatif d'un trafic commercial bien réel de cette époque ?

Compte-tenu du sens de navigation du chaland lors de son dernier voyage et de son lieu de naufrage, la destination de celui-ci devait être soit Arles soit, plus au sud, la Camargue.

### Arles

Pour *Arelate*, les données permettant de mesurer l'importance de l'utilisation de la pierre de Saint-Gabriel manquent. En effet, un recensement d'ensemble et une étude des matériaux lithiques employés dans les constructions de la cité d'Arles à l'époque romaine restent à faire. Toutefois, l'utilisation de cette mollasse durant l'Antiquité apparaît secondaire au regard de l'exploitation des carrières de Fontvieille et des Baux-de-Provence<sup>22</sup> dont la pierre fut largement employée pour les éléments de grand appareil, utilisée pour édifier notamment des monuments tels que l'enceinte, le théâtre, l'amphithéâtre, *etc.* L'acheminement du matériau issu de ces carrières, sous forme de blocs de pierre de taille, vers le sud (Arles) mais aussi, via le Rhône, vers le nord comme à Lyon (Savay-Guerraz 1990), est largement attesté pour l'Antiquité. En outre, situé à l'extrémité occidentale du massif des Alpilles, le site de Fontvieille n'est qu'à quelques kilomètres de la ville d'Arles. Malgré tout, il serait imprudent d'exclure entièrement l'emploi de pierres de Saint-Gabriel dans la ville d'Arles. Elles peuvent être envisagées pour d'autres usages que le grand

19. En revanche, l'actuel Canal du Viguiérat se jette dans le canal d'Arles qui longe le Rhône jusqu'à Fos-sur-Mer.

20. Renseignement C. Allinne (Université de Caen), que nous remercions pour les nombreux échanges sur ce sujet et ses relectures.

21. À verser au dossier, pour les périodes plus tardives, l'existence à Saint-Gabriel, selon J. Rossiaud (2007, p.129), de gros anneaux de fer trouvés à l'intérieur des terres et qui auraient pu servir d'anneaux d'amarrage. Quant à la question de la navigabilité de la Duransole et les hypothèses de son tracé au sud d'*Ernaginum*, on pourra se référer à Allinne 2005, p. 103.

22. Plusieurs carrières antiques y sont connues comme à Trémaïe, Terras, Boulbon, la Calade du Castelet (Gateau, Gazenbeek (dir.) 1999, p. 123, 132 et 181-182).

appareil, par exemple des moellons pour la construction de *domus*<sup>23</sup>, dans certaines maçonneries du cirque<sup>24</sup> ou encore pour des structures de berges. Il convient en effet de garder à l'esprit que l'approvisionnement en pierres à bâtir d'une ville de l'importance d'Arles a dû, comme dans le cas de Lyon, nécessiter l'apport de pierres issues de nombreuses carrières, de nature géologique et de localisation très diverses<sup>25</sup>.

### La Camargue

Pour la zone située en aval d'Arles, d'autres hypothèses peuvent être avancées. Grâce à de nombreuses prospections réalisées ces dernières années en Camargue (Landuré, Martin, Pasqualini 2004; Rothé, Heijmans (dir.) 2008, p. 236), notre connaissance de l'occupation du territoire a nettement progressé. Le dynamisme de cette vaste région, depuis le <sup>v</sup><sup>e</sup> s. av. J.-C., a été bien démontré par l'archéologie et soixante-dix-neuf sites attribuables au Haut-Empire ont déjà été reconnus. L'intensification, durant cette période, de l'occupation de ce terroir appartenant à la colonie d'Arles, où s'applique un modèle d'exploitation romain dès les années 46 av. J.-C. (Leveau 2008), a nécessairement impliqué un apport de pierres de construction non disponibles sur le sol camarguais, composé essentiellement de dépôts sédimentaires récents d'origine alluviale et laguno-lacustre. L'usage de la pierre est indispensable pour la réalisation des équipements nécessaires à l'exploitation de ce vaste domaine, comme les voies de communication, les clôtures, les aménagements de berges, les quais, les embarcadères... Les découvertes récentes d'enrochements à la Montille d'Ulmet, à l'embouchure du Rhône d'Ulmet<sup>26</sup> (Landuré 2011), bien que plus tardives, illustrent clairement ces nécessités qui impliquent un trafic d'importants volumes de pierres<sup>27</sup>. Cet apport se justifie également pour la construction de fermes, de *villae*, voire d'habitats groupés, où la pierre est indispensable à l'aménagement de certains soubassements de murs<sup>28</sup>. En effet, la nécessité d'isoler la base des murs élevés en terre crue a rendu indispensable la construction de solins pour empêcher les remontées d'humidité. Ceux-ci ont été réalisés de façon simple, mais en employant généralement de la pierre.

La question de l'approvisionnement des matériaux lithiques en Camargue a été abordée lors de la fouille de la ferme romaine du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. découverte sur le site de la Tour du Valat, près de l'étang du Vaccarès (Excoffon, Landuré, Pasqualini 2004, p. 229; Pasqualini, Excoffon, Vella 2004, p. 279-283). Sur ce site, proche d'un bras actif du Rhône durant l'Antiquité, l'importation de pierres depuis le sol arlésien a été montrée par Émile Colomb pour les solins des murs, les radiers de sol *etc.*, ainsi qu'un apport plus ponctuel de « pierre du midi » (type les Baux ou Fontvieille) pour les ouvrages spécifiques (bases de pilier, seuils *etc.*). Cette première étude, si elle ne permet pas de prouver l'importation de pierres depuis le site de Saint-Gabriel, témoigne clairement de l'apport de pierres quelconques, non taillées et probablement issues d'un simple ramassage en amont du Rhône. En revanche, les analyses réalisées sur des échantillons provenant de trois sites camarguais ont permis de mettre en évidence, parmi des pierres d'origine géologique différente, la présence de pierres de petit module issues des carrières de Saint-Gabriel (*supra*, p. 252).

### Conclusion

Si on ne peut totalement exclure que la pierre de Saint-Gabriel ait été utilisée à Arles dans les nombreux chantiers de construction et les aménagements de la cité, la pénurie de pierres à bâtir en Camargue, en plein développement durant le Haut-Empire, a nécessité l'apport, sur des distances importantes, d'un matériau ordinaire qui, généralement, ne s'exporte pas. L'aménagement du terroir camarguais (*villae*, fermes, enclos, bergeries) et la création d'infrastructures (routes, digues, berges...), fondement du modèle économique romain basé sur l'exploitation agricole, a impliqué l'apport continu sur une longue période d'une grande quantité de pierres. Ce développement rural, sans doute dès la deuxième moitié du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C., en créant un débouché nouveau à un type de matériau habituellement peu exporté, a eu comme conséquence la mise en place d'un commerce adapté. Les structures socio-économiques commerciales existantes se sont conformées à ce besoin nouveau pour lequel le chaland découvert à Arles constituerait un premier témoignage.

La mise en place de ce commerce permet également d'aborder la question de la diffusion de la pierre de Saint-Gabriel, son lien avec la Duransole et, au-delà, la question de l'existence d'une batellerie à *Ernaginum* qui aurait été utilisée, au moins en partie, pour une activité commerciale considérée jusqu'alors comme marginale.

23. Une analyse, conduite par Ph. Bromblet, est en cours sur des échantillons prélevés sur des murs du site de La Verrerie à Arles (ensemble de *domus* datées entre le 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. et le III<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) où des similitudes avec la pierre de Saint-Gabriel sont perceptibles (Rothé, Genot (dir.) 2014).

24. Observations et hypothèse d'O. Badan.

25. Pour la ville antique de Lyon, c'est une vingtaine de provenances différentes qui a été identifiée, aussi bien régionales que plus lointaines (Savay-Guerraz 1990, p. 136).

26. L'opération archéologique pluridisciplinaire en cours sur ce site, depuis 2011, est dirigée par C. Landuré (SRA-PACA).

27. L'hypothèse parfois émise du recyclage des seules « pierres de lest » acheminées par les navires ne suffit pas à justifier la présence d'une quantité aussi importante de pierres retrouvée sur le terrain.

28. L'hypothèse que ce calcaire ait pu être utilisé pour la production de chaux est aussi envisageable. Le module des blocs ne s'y oppose pas et le transport par voie fluviale du matériau brut (plus pondéreux et non réactif à l'eau) avant transformation en chaux est tout à fait plausible. Toutefois, il faut rappeler que le transport de chaux par voie fluviale est une pratique attestée pour l'Antiquité, notamment sur le Tibre. Sur ce sujet voir Panciera 2000.

# CHAPITRE 7. DATATION, NAUFRAGE ET DURÉE DE VIE DU CHALAND *ARLES-RHÔNE 3*

La question de la date d'une épave est primordiale dans les études d'archéologie navale, mais cependant délicate lorsque l'on tente de différencier la date de construction des vestiges de la date de naufrage ou d'abandon. Dans la perspective de conduire des études comparatives, indispensables à l'analyse et à l'interprétation des vestiges, tenter de déterminer la date de construction, avant d'envisager celle du naufrage ou de l'abandon, est cependant essentiel (Pomey, Rieth 2005, p. 139). Dans le cas des épaves antiques, pour lesquelles on ne dispose pas d'archives, il est rare que l'on puisse différencier ces deux dates et, au mieux, pouvons-nous inscrire l'épave dans une fourchette chronologique qui ne laisse en rien présumer de la durée de vie du bateau étudié.

Dans le cas du chaland *Arles-Rhône 3*, on dispose de différents marqueurs qui peuvent être croisés pour déterminer au mieux la date de construction et celle de son naufrage. Ces marqueurs chronologiques sont de deux types avec des systèmes de datation physiques, que sont la datation au radiocarbone  $^{14}\text{C}$  et la dendrochronologie, d'une part, et la datation du matériel archéologique, le mobilier de bord en céramique et la monnaie votive, d'autre part. Il convient néanmoins de manipuler les résultats offerts avec précaution. Les données fournies par les carottes analysées dans le cadre de l'étude dendromorphologique (*supra*, p. 65-73) permettent également d'alimenter ces résultats en proposant un *terminus post quem* à la perte du chaland.

## LA DATATION DU CHALAND

### LA DATATION RADIOCARBONE

Lors de la première expertise de l'épave, en 2005, plusieurs échantillons de bois de la coque avaient été prélevés afin de procéder à une datation radiocarbone. L'analyse de ces échantillons, réalisée par Christine Oberlin, du Centre de Datation par le RadioCarbone (Universités Lyon 1, Lyon 2-CNRS), avait permis de situer l'épave dans une fourchette chronologique large, entre 15 av. et 130 ap. J.-C. (Long 2008, p. 120).

### LA DATATION PAR LE MOBILIER DE BORD

David DJAOUI

Dans un premier temps, l'étude céramique du mobilier de bord a permis de resserrer cette chronologie entre 40 et 60 ap. J.-C. (Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011, p. 138). Les trois pièces en sigillée de La Graufesenque (*supra*, p. 234) ont ensuite permis de décaler cette chronologie en proposant une date du naufrage dans une fourchette chronologique comprise entre les années 50/55 et 65/70 ap. J.-C.

Bien que resserrée, cette fourchette chronologique ne nous donne cependant qu'une indication sur la période de navigation du bateau.

## Définition et objectifs d'étude

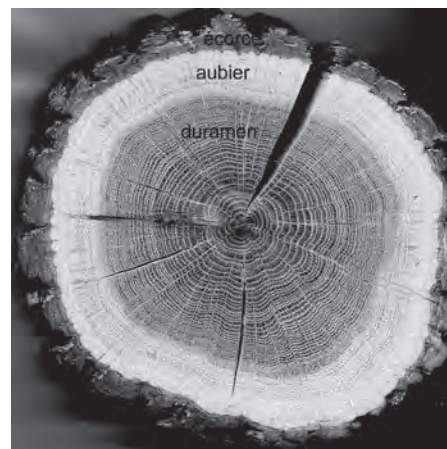
Dater des vestiges de bois par une méthode de datation qui soit aussi objective que possible (Langouët, Giot 1992) implique de mettre en œuvre l'analyse du radiocarbone résiduel ou la dendrochronologie. Si le dosage du radiocarbone résiduel contenu dans un échantillon recueilli sur un tissu formé guère avant la mort de l'arbre (soit les derniers cernes annuels) garantit une date, celle-ci est entachée d'une marge d'erreur appelée aussi marge statistique. La datation par la dendrochronologie présente, elle, l'avantage d'être beaucoup plus précise mais son application doit au préalable vérifier que de nombreuses exigences sont satisfaites. Pour ne citer que les principaux facteurs, l'essence du bois, le nombre de pièces de bois exploitables et le nombre de cernes qu'elles offrent, la disponibilité des chronologies de référence conditionnent la probabilité de dater l'échantillon et contraignent donc très sérieusement la pratique de cette analyse.

L'analyse d'une épave par la dendrochronologie ajoute une épine supplémentaire car elle intervient dans un contexte toujours délicat étant donné qu'elle met en jeu une catégorie d'objets dits mobiles. L'analyse cumule donc une somme de difficultés parmi lesquelles figurent l'état de conservation du bois, le débitage des pièces et le nombre de cernes qu'elles offrent, le nombre d'arbres utilisés pour la confection des pièces, la période concernée et l'origine géographique des arbres par rapport au lieu de la découverte de l'épave (Gassmann *et al.* 1996 ; Lavier 2001) ! Ces différentes contraintes s'ajoutent à la question fondamentale : quel événement cherche-t-on à dater ? Dans le cas présent, l'analyse dendrochronologique ne date pas le naufrage, mais l'année d'abattage des arbres utilisés pour la construction du bateau. L'année d'abattage est assurée par la présence du dernier cerne formé par l'arbre avant d'être abattu ; la présence de l'écorce garantit donc cet événement (fig. 329). Mais l'écorce ne figure qu'exceptionnellement sur des bois architecturaux qui proviennent de billes que les charpentiers, le plus souvent, ont pris soin d'équarrir. Des indices morpho-anatomiques propres aux bois et des types de débitage particuliers vont aider à déceler les pièces dont les derniers cernes formés avoisinent le plus l'année d'abattage. Dans le cas de l'analyse du chaland *Arlès-Rhône 3*, la stratégie d'échantillonnage a visé les pièces offrant un grand nombre de cernes et celles susceptibles d'offrir le dernier cerne formé avant l'abattage de l'arbre (Kaennel, Schweingruber 1995).

## Méthodologie

Les prélèvements ont été faits dès la première expertise conduite en 2005 puis au fil des opérations de fouille menées à partir de 2008. Enfin, une série de photographies des sections transversales a été prise par Lionel Roux et Teddy Seguin à l'occasion du tronçonnage réalisé lors du levage du chaland au cours du deuxième semestre 2011 en vue de sa restauration. Avant la prise du cliché, les faces transversales des pièces ont dû subir un rafraîchissement à la lame de rasoir afin de rendre les cernes bien visibles ; pour les pièces confectionnées en chêne, un film de poussière de craie blanche a aussi été déposé sur les faces transversales afin d'amplifier le contraste entre les vaisseaux du compartiment de bois initial colmatés par la craie et le compartiment de bois final (fibres) demeuré sombre (fig. 30). Au laboratoire, les séries élémentaires d'épaisseurs de cernes ont été mesurées avec une précision de 1/100 mm ou de 1/1000 mm à l'aide de la table à mesurer LINTAB6 (Frank Rinn®) soit sur la pièce même rafraîchie à la lame de rasoir soit sur tirage-papier. Afin d'amoindrir autant que possible l'effet d'éventuelles variations propres à l'orientation sur le tronc, deux séries de mesures ont été effectuées sur les deux rayons opposés par rapport à la moelle, lorsque le débitage de la pièce (ex. bois de brin ou demi-tronc) le permettait. Toutes ces opérations ont été effectuées en conservant l'échantillon de bois humide afin d'éviter une distorsion des alignements radiaux de cellules qui aurait ruiné la mesure de l'épaisseur des cernes. Au total, 56 pièces ont été analysées.

Les séries numériques obtenues à l'issue des mesures ont fait l'objet de traitements numériques traditionnellement pratiqués en dendrochronologie pour détecter les synchronismes inter-sériels à l'aide de tests paramétriques et non paramétriques. Après transformation des données brutes en données indicées (Lambert, Lavier 1992), les séries ont été comparées deux à deux à l'aide du test de Student *t* appliqué au coefficient de corrélation inter-sériel ; les résultats statistiques ont ensuite été vérifiés par l'examen visuel des graphiques de la variation interannuelle des données annuelles indicées. À une concordance



**Fig. 329 :** Coupe transversale d'un chêne caducifolié illustrant les différentes parties du bois, de la moelle à l'écorce (cf. définitions des termes dans le glossaire en Annexe 1) (F. Guibal, IMBE/CNRS).

statistique inter-sérielle s'ajoute donc un critère impératif de concordance visuelle. Les séries synchrones d'une même essence ont permis de calculer une chronologie moyenne représentative de l'essence qui a ensuite été comparée à des chronologies de référence par les mêmes opérations qu'au cours de l'étape précédente (Lambert 1998).

## Résultats

Les résultats majeurs délivrés par l'étude dendrochronologique du chaland *Arles-Rhône 3* concernent l'âge et l'état des arbres abattus, la mise en évidence de l'optimisation de l'emploi des billes dans le débitage des pièces, la datation relative (synchronisations inter-pièces) et absolue (synchronisations sur référentiels) de l'abattage des arbres employés à la construction du chaland, et la provenance géographique des bois utilisés.

### *Age et état des arbres*

Compte tenu de la correction liée au mode de débitage des billes, le nombre de cernes présents sur chaque pièce nécessite un ajustement pour pouvoir restituer l'âge des arbres. Malgré les difficultés liées à cet exercice, les estimations mènent aux résultats suivants (pour le détail des résultats, *supra*, p. 177-201) : pour ce qui est des chênes, ceux employés à la confection de la sole sont âgés de 48 à, au moins, 112 années ; ceux utilisés pour les bordés monoxyles de transition sont âgés d'au moins 79 ans ; ceux dans lesquels les varangues ont été délignés sont âgés de 32 à, au moins, 158 ans ; ceux d'où proviennent les courbes sont âgés d'au moins 60 ans. Pour ce qui est des sapins, les arbres employés à la confection des bordages de flanc sont âgés d'au moins 234 ans et ceux d'où ont été tirées les planches de vaigrage ont des âges très variés, l'un d'entre eux étant âgé de plus de 160 ans.

Au final, qu'il s'agisse de chênes ou de résineux, les arbres employés à la réalisation du chaland sont des individus majoritairement âgés, pour la plupart matures, très vraisemblablement issus de futaies elles-mêmes matures et, comme l'attestent les séries de cernes, n'ayant pas été victimes de perturbations majeures au point d'altérer les signaux enregistrés dans les séries de cernes.

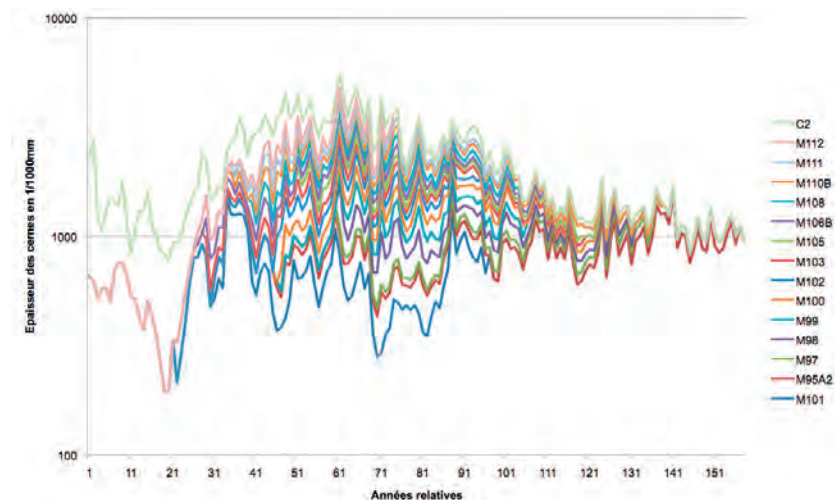
### *Optimisation de l'emploi des billes dans le débitage des pièces*

Dès les premières vérifications visuelles des résultats des tests statistiques menées sur les graphiques, la concordance très élevée entre certaines pièces permet d'affirmer qu'elles proviennent de la même bille. Ces résultats mettent en jeu aussi bien le chêne que le sapin ou l'épicéa et traduisent une optimisation du débitage des billes déjà observée à plusieurs reprises dans la confection des virures de bordé en architecture navale antique (Guibal, Pomey 2002 ; 2004 ; 2009). Le chapitre consacré au bois, matériau de construction (*supra*) décrit les différentes pièces confectionnées à partir des mêmes arbres.

### *Datation des pièces en chêne*

Un ensemble de quinze varangues satisfait aux critères de synchronisme statistique établis sur tests paramétriques et non paramétriques. La concordance visuelle des graphiques représentatifs des épaisseurs brutes de chaque pièce confirme ce synchronisme

**Fig. 330 :** Variations inter-annuelles des épaisseurs des cernes des chronologies individuelles représentatives de quinze varangues en bois de chêne (F. Guibal, IMBE/CNRS).



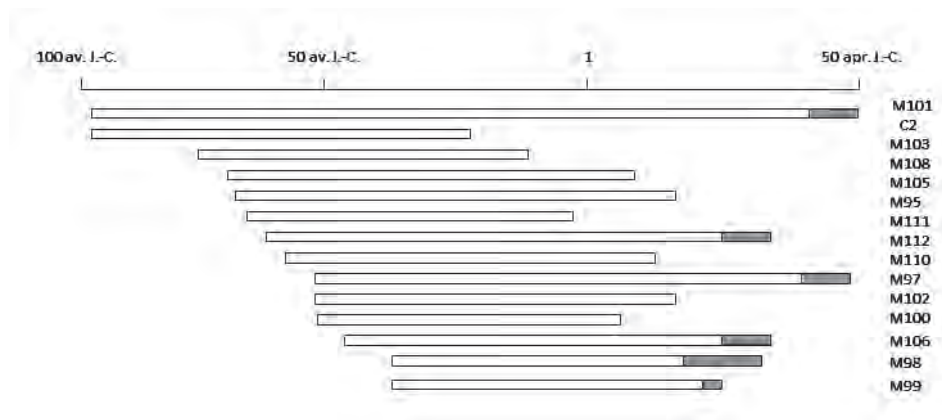


Fig. 331 : Bloc-diagramme des quinze chronologies représentatives des pièces de membrure (chêne) synchronisées (blanc : cernes de duramen ; gris : cernes d'aubier).

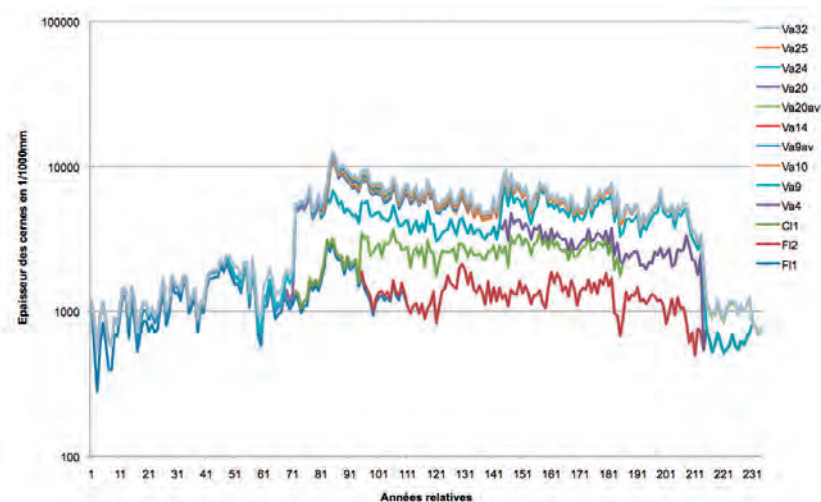
statistique (fig. 330). Les différences observées parmi les années terminales d'une varangue à l'autre seront explicitées dans les lignes qui suivent. Ces quinze varangues synchronisées permettent de construire une chronologie moyenne longue de 159 années qui a été confrontée à d'autres chronologies de chêne, soit établies sur des sites localisés dans la région méditerranéenne française, soit ayant valeur de références dendrochronologiques (Lambert 1998) et représentatives de régions autres que la région méditerranéenne. Parmi les références utilisées, figurent des chronologies mises à notre disposition par Georges-Noël Lambert et Olivier Girardclos (Laboratoire de Chrono-environnement, Besançon), Christophe Perrault (Cedre S.a.r.l., Besançon) et Willy Tegel (DendroNet GmbH, Bolingen), les unes représentatives de sites, majoritairement localisés dans le réseau hydrographique rhodanien, les autres ayant valeur de références régionales. Une datation a été obtenue par corrélation avec plusieurs chronologies de référence sur les années 109 av. J.-C./50 ap. J.-C. Cette date terminale de 50 ap. J.-C. ne garantit pas l'année d'abattage car aucun élément de tissu cortical n'est demeuré en place sur la varangue (M101) qui termine la chronologie moyenne et aucun indicateur ne permet de garantir que la pièce offre le dernier cerne formé avant l'abattage de l'arbre. Avant d'interpréter plus en détail cette date, un examen du bloc-diagramme dans lequel les quinze varangues synchronisées sont figurées par des rectangles certifie que toutes, malgré leurs différentes années terminales, reflètent une même phase d'abattage (fig. 331). En effet, le bois des chênes caducifoliés est caractérisé par un aubier distinct du duramen, y compris à l'état gorgé d'eau, par sa couleur et par l'absence de thylls dans la lumière des vaisseaux (fig. 204). Chez un chêne adulte soumis à un climat océanique ou continental, le nombre de cernes constitutif de l'aubier varie en fonction d'un certain nombre de facteurs parmi lesquels le plus notable est l'origine géographique qui se traduit par un gradient positif depuis l'est vers l'ouest de l'Europe (Hillam, Morgan, Tyers 1987). Pour le grand quart nord-est de la France, ce nombre est, chez des arbres âgés de moins de 120-150 ans, estimé à  $21 \pm 19$  (Lambert 1998). Le nombre de cernes d'aubier conservé sur chaque membrure est reporté sur le rectangle correspondant du bloc-diagramme : variable d'une membrure à l'autre, son absence fréquente révèle la perte de l'aubier lors du délignage des troncs par les charpentiers. Les différences relevées entre deux membrures confectionnées à partir d'un même chêne le confirment : M99 a conservé trois cernes d'aubier tandis que M95 offre une année terminale antérieure de vingt-cinq cernes ; les années terminales de M110 et M112 diffèrent de onze cernes ; celles de M103 et M108 diffèrent de quinze cernes. Au final, au vu des positions relatives des cernes d'aubier demeurés présents sur les membrures, l'hypothèse de l'homogénéité chronologique de l'abattage des chênes employés à la confection des membrures apparaît valide. Reste à préciser une date d'abattage que l'on peut proposer sous forme d'un intervalle d'abattage établi à partir des membrures M101 et M97 qui offrent respectivement quatorze et douze cernes d'aubier. Au vu de la distribution chronologique des années terminales des chronologies individuelles, si l'on respecte les valeurs d'aubier publiées par G.-N. Lambert, l'abattage des chênes peut être établi au cours des deux premières décennies de la deuxième moitié du I<sup>er</sup> s. de notre ère, avec une probabilité légèrement plus élevée au cours de la première décennie de la deuxième moitié du I<sup>er</sup> s. de notre ère.]

#### Datation des pièces en sapin

Un ensemble composé de deux bordages de flanc principal (F11, F12), d'une cloison interne du caisson (C11) et de huit planches de vaigrage (Va5, Va9, Va10, Va14, Va20, V24, Va25, Va32) synchronisés a permis de construire une chronologie moyenne longue de



Fig. 332: Variations inter-annuelles des épaisseurs des cerne des chronologies individuelles représentatives de onze pièces en bois de sapin d'Arles-Rhône 3 (F. Guibal, IMBE/CNRS).



234 années (fig. 332) qui, grâce à l'aide de Willy Tegel, a été comparée à d'autres chronologies de sapin établies sur des sites aussi variés que Herculanium, la région de Winterthur dans le nord de la Suisse, la Bavière, l'Autriche et les Pays-Bas (Willy Tegel, communication personnelle, non publié). À ces chronologies, il convient d'en ajouter d'autres, d'apparence plus anecdotique car représentatives de douves de tonneaux antiques mises au jour à Troyes (Champagne-Ardenne), Semecourt (Lorraine), Bussy (Suisse), Mayence (Allemagne), et Vrhnika (Slovénie) (*idem*). Toutes ont permis de dater de façon répliquée la chronologie du chaland sur la période 188 av. J.-C./46 ap. J.-C.

Les résultats de l'analyse des membrures de chêne ont souligné l'importance de la présence du dernier cerne formé avant l'abattage de l'arbre sur les pièces architecturales datées. L'année au cours de laquelle le dernier cerne mesuré a été formé (46 ap. J.-C.) ne garantit pas, là encore, l'année d'abattage car, aucun élément de tissu cortical n'est demeuré en place sur le bordage de flanc principal (Fl1) qui termine la chronologie moyenne et aucun indicateur ne permet de garantir que la pièce offre le dernier cerne formé avant l'abattage de l'arbre. L'année terminale concorde néanmoins avec l'année terminale de la chronologie moyenne bâtie pour les pièces en chêne.

## LA DATATION PAR LA MONNAIE VOTIVE ?

Joël FRANÇOISE

La présence d'une monnaie votive datée de 123 av. J.-C. (*supra*, p. 109) ne s'oppose pas à la datation offerte par l'étude dendrochronologique. En effet, la présence d'un denier de la République romaine dans un contexte du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. n'est pas surprenante car ce type de numéraire circulait encore largement à côté d'espèces plus récentes. Ainsi, les deniers républicains se retrouvent régulièrement dans les trésors des 1<sup>er</sup> et 2<sup>es</sup> s. et même, plus exceptionnellement, au début du 3<sup>es</sup> s. ap. J.-C. (Berdeaux-Le Brazidec 2004, p. 259-275). Hormis la possibilité d'offrir un *terminus post quem*, une monnaie votive n'est donc pas un bon marqueur chronologique puisqu'elle n'est pas nécessairement contemporaine de la date de construction du bateau. Si cette pratique est confirmée dans certains cas, dans d'autres, il est d'usage de mettre en place une monnaie qui soit la plus ancienne possible (Henningsen 1965), ce qui a prévalu dans le cas du chaland *Arles-Rhône 3*.

## LA DATATION PAR LA STRATIGRAPHIE

Claude VELLA

Selon les données offertes par les analyses radiocarbone des stratigraphies exploitées dans le cadre de l'étude géomorphologique (*supra*, p. 69), le naufrage du chaland survient après la mise en place de séquences sédimentaires datées entre 92 av. J.-C. et 66 ap. J.-C.

Sabrina MARLIER

C'est finalement l'étude dendrochronologique qui nous permet d'approcher au mieux la date de construction du chaland. Elle n'a cependant pas permis de connaître la date exacte de l'abattage des arbres et elle propose une fourchette chronologique inscrite dans les années 51-60, avec une forte probabilité pour un abattage, et donc une construction, dans la première décennie de la deuxième moitié du 1<sup>er</sup> s. de notre ère.

Les études géomorphologiques conduites sur le site proposent quant à elles un *terminus post quem* à la perte du chaland fixé à 66 ap. J.-C. Par conséquent, si on croise les données chronologiques issues de la datation du mobilier de bord et des datations radiocarbone (intervalle 2 sigma) des stratigraphies, et si l'on retient la limite radiocarbone supérieure des dépôts sous-jacents, le naufrage peut être situé entre 66 et le début des années 70 ap. J.-C.

## LA CAUSE DU NAUFRAGE

Sabrina MARLIER

L'étude préliminaire conduite lors de la première expertise du chaland ne permettait pas de savoir si l'épave s'était échouée accidentellement ou si celle-ci avait servi à renforcer la digue, impliquant alors que le bateau aurait été coulé intentionnellement. Luc Long indiquait en outre, dans son premier compte-rendu sur l'épave, que des traces de charbon de bois témoignaient d'un incendie qui aurait pu être à l'origine de la perte du bateau (Long, Rival 2005, p. 65).

Nous savons aujourd'hui que ces traces de charbons de bois sont liées à la zone de cuisine à bord (*infra*, p. 271) et que c'est bien un bateau en état de navigation qui a sombré et non un bateau abandonné pour des raisons de vétusté, comme ce fut sans doute le cas pour le chaland *Arlès-Rhône 5* (Marlier 2011a). De plus, c'est un naufrage de nature accidentelle et subite qui a englouti le bateau puisque le mobilier de bord est resté en place mais aussi l'ensemble du chargement ainsi que les éléments de navigation (pelle de gouverne, mât de halage et perches de sonde).

Quel est donc l'épisode qui a pu causer cet engloutissement si rapide ?

Avant de répondre à cette question, intéressons-nous d'abord à la position du chaland au moment de son naufrage.

Au moment où le bateau a sombré, il est probable que celui-ci était amarré à la berge de la rive droite du Rhône. Plusieurs indices nous permettent d'avancer cette hypothèse.

Premièrement, alors que le chaland descendait le Rhône lors de son dernier voyage (l'origine des pierres de chargement nous livre cette indication ; *supra*, p. 248-253), c'est une épave avec la proue située face au courant qui a été mise au jour. Cette manœuvre de retournement a eu lieu alors que le bateau se trouvait dans le port de la cité d'*Arelate*. Or ce type de manœuvre était pratiqué pour l'amarrage puisque sur les fleuves et les cours d'eau, les bateaux sont toujours amarrés proue face au courant. Jacques Rossiaud parle, pour l'amarrage, de « prendre terre » proue vers l'amont, comme le fleuve l'imposait (Rossiaud 2007, p. 212)<sup>1</sup>.

Deuxièmement, le bateau, orienté de façon quasiment parallèle au quai actuel, se trouvait vraisemblablement non loin de la berge antique et a sombré dans moins de 4 m d'eau (*supra*, p. 73).

Troisièmement, une pièce de bois découverte en 2010, lors du sondage pratiqué à la proue, et interprétée comme une équoirre permet de renforcer cette hypothèse (*supra*, p. 222). Il s'agit d'une pièce qui était fichée dans la berme du sondage, du côté de la berge, et à une distance de moins de 20 cm de la proue (pl. I). Bien que cette pièce, de section ronde avec un diamètre de 8 cm, n'ait été dégagée que sur une dizaine de centimètres (fig. 285), un cordage enroulé autour de son extrémité a pu être observé. Ce cordage, de type cordelette, s'apparente à un cordage qui était disposé sur l'extrémité de la proue, de façon perpendiculaire à l'axe du chaland (pl. I). La mise en relation de ces éléments nous avait conduit à proposer l'hypothèse d'une équoirre, c'est-à-dire une longue pièce de bois destinée à assurer l'écartement du bateau par rapport à la berge et à le maintenir parallèle à celle-ci (Dantec (dir.) 1998), l'équoirre étant reliée au bateau par un cordage. Cette proposition sous-entendait qu'à l'autre extrémité de cette pièce devait se trouver la berge à laquelle était amarré le chaland. Malheureusement, ces

1. B. Clavel, dans son roman, *Le Seigneur du fleuve* (cf. note 168), décrit une très belle manœuvre de retournement pour l'amarrage d'une barque de transport proue face au courant (1977, p. 94-95).

éléments, documentés en 2010, n'ont pas pu être conservés, dans le cas de la cordelette située sur la proue, ni retrouvé, dans le cas de la pièce de bois. En 2011, lors du chantier de fouille-relevage, bien qu'une attention particulière ait été prêtée à la fouille des abords de la proue, cette pièce de bois n'a en effet pas été retrouvée. L'hypothèse avancée ne peut donc pas être confirmée mais les observations réalisées *in situ* et la documentation attestent assurément que cet élément de bois entouré d'un cordage était en relation avec le bateau.

Trois explications peuvent maintenant être avancées pour expliquer le naufrage de ce chaland qui, s'il était amarré, allait soit être déchargé de sa cargaison soit ravitaillé avant de reprendre le fleuve pour une destination située plus en aval.

La première hypothèse repose sur l'observation de la déformation de la ferrure métallique à la proue liée à un choc latéral violent<sup>2</sup> (un tronç d'arbre à la dérive, une collision avec une autre embarcation ou un choc au moment de l'amarrage ?) qui aurait pu entraîner une déstabilisation du bateau.

La deuxième hypothèse s'appuie sur les nombreuses réparations mais aussi, et surtout, les fissures – et notamment les crevasses – non réparées qui amènent à s'interroger sur les voies d'eau que ne manquaient pas d'essuyer le chaland. Sous la coque, à la proue, par exemple, une fissure longitudinale courrait sur plus de 8 m de long. Bien que cette longue fissure ait été comblée avec du tissu poissé, celle-ci s'est écartée au niveau de la face interne de la sole, représentant ainsi un risque de voie d'eau important (*supra*, p. 150). À tribord, sur le bordé de flanc en demi-tronc de la proue, on observe une autre fissure longitudinale qui a ici entraîné la formation de véritables crevasses qui traversent la pièce de part en part (fig. 41 et 166). N'ayant pas été colmatées, ces crevasses, situées sous la ligne de flottaison, devaient assurément provoquer des entrées d'eau.

La troisième hypothèse, enfin, pour expliquer le naufrage rapide du chaland, repose sur un autre indice archéologique. Il s'agit de la couche d'argile qui recouvrait l'intérieur de l'épave, scellant le mobilier de bord contre le fond de la coque et que l'on retrouve dans les interstices des pierres de chargement. Épaisse de 15 à 25 cm, cette couche d'argile provient vraisemblablement, selon Claude Vella, d'une phase de décrue qui aurait succédé à un épisode de crue (Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011, p. 203-207). Aussi soudain que dévastateur, un tel événement expliquerait que le bateau ait été englouti rapidement, notamment si celui-ci était, comme on le pense, amarré<sup>3</sup> et qu'il était alors pleinement chargé avec à peine 23 cm de franc-bord libre. Une rapide montée du Rhône aurait alors fait passer l'eau par-dessus bord, ne laissant d'autre possibilité au chaland que de sombrer au fond du fleuve comme un bloc de marbre<sup>4</sup>. Concernant les épisodes de crue à Arles, pour l'Antiquité, même si les niveaux et les fréquences des débordements sont plus faibles que ceux attestés pour le XIX<sup>e</sup> s. – la plaine d'inondation, en relation avec un chenal incisé, étant mieux drainée – cette situation n'exclut pas la récurrence de quelques crues importantes (Provansal *et al.* 1999)<sup>5</sup>. Ainsi, Cécile Allinne et Hélène Bruneton ont-elles répertorié, pour la période comprise entre l'âge du Fer et la fin de l'Antiquité, les traces d'inondations sur les sites urbains d'Arles et les altitudes atteintes par les dépôts de crue (Allinne, Bruneton 2008). On note ainsi, pour l'intervalle de temps compris entre 50 av. et 50 ap. J.-C., une période de fort hydrodynamisme, avec une inondation majeure tous les vingt-cinq ans en moyenne. Plus spécifiquement, pour 50 ap. J.-C., des dépôts de crue importants<sup>6</sup> ont été enregistrés avenue de Camargue et, pour 75 ap. J.-C. dans la rue Brossolette, deux sites archéologiques situés sur la rive droite du Rhône, dans le quartier de Trinquetaille, et distants respectivement de 150 m et 400 m environ à vol d'oiseau du lieu de naufrage d'*Arles-Rhône 3*.

Ces attestations de dépôts de crue, dans des stratigraphies archéologiques de la rive droite du Rhône, et cette concordance, dans les datations, accréditent finalement l'hypothèse d'une montée des eaux rapides du fleuve comme la cause probable de l'engloutissement du chaland *Arles-Rhône 3* dans les eaux du Rhône dans une période antérieure au début des années 70 ap. J.-C.

## LA QUESTION DE LA DURÉE DE VIE D'ARLES-RHÔNE 3 ET DE CELLE DE LA LONGÉVITÉ DES CHALANDS GALLO-ROMAINS DU BASSIN RHODANIEN

Sabrina MARLIER, Éric RIETH

La question de la durée de vie d'un bateau doit permettre d'appréhender la période qui se situe entre sa construction et son naufrage ou son abandon. Il s'agit, on l'a vu (*supra*, p. 259), d'une question difficile à aborder, notamment dans le cas des épaves antiques.

2. La ferrure métallique de la proue a été déformée suite à un choc latéral pris sur tribord et qui a entraîné, à bâbord, un décollement de la ferrure métallique disposée en symétrie. De ce côté, trois clous ont sauté et n'ont pas été remplacés (fig. 42, 108 et 109).

3. Dans la mesure où les crues n'entraînent pas nécessairement les bateaux par le fond, on peut penser ici à un mauvais amarrage non surveillé ou à un amarrage trop serré près du quai auquel du mou n'aurait pas été donné à temps.

4. Si l'expression « bloc de marbre » laisse à penser que le bateau a coulé à la verticale, l'expérience montre qu'un objet, même lourd, lâché dans l'eau, va sombrer en se déplaçant, d'autant plus si le courant est fort. De ce fait, il n'est pas étonnant de ne pas retrouver l'épave *AR3* à l'aplomb du niveau présumé de la berge antique, tel que l'a défini Cl. Vella (*supra*, p. 72), mais à plus d'une dizaine de mètres.

5. Une étude réalisée par G. Arnaud-Fassetta met en évidence sept à huit crues importantes pour le millénaire allant du V<sup>e</sup> s. av. au VI<sup>e</sup> s. ap. J.-C. Ces débordements sont limités à des événements exceptionnels et le temps entre deux crues ne paraît pas avoir excédé vingt-cinq ans (Arcelin *et al.* 1999, p. 126).

6. Ces dépôts se caractérisent par des sédiments argileux, limoneux et sableux, vierges de tout vestige archéologique (Allinne, Bruneton 2008, p. 147).

Pour l'épave *Arles-Rhône 3*, l'étude révèle cependant une durée de vie maximale – si l'on prend la fourchette chronologique la plus large entre sa construction et son naufrage – de l'ordre d'une vingtaine d'années, comprise entre 50 et le début des années 70 ap. J.-C. (*supra*). Si l'on considère que la coque du chaland, bien que présentant de nombreuses réparations, ne semblait pas attester d'une utilisation très longue, cette durée de vie peut sans doute être réduite à moins de dix ans, voire moins de cinq ans<sup>7</sup>. Mais quelle aurait pu être l'ordre de longévité de ce chaland s'il n'avait pas été englouti de façon brutale dans les eaux du Rhône ? Cette question, qui renvoie à la durée de vie programmée du bateau dans des conditions optimales d'utilisation, soit de sa construction jusqu'à son abandon pour des raisons de vétusté, est une question difficile à appréhender pour les navires antiques et la discussion n'a jamais, semble-t-il, été engagée pour les chalands gallo-romains du bassin rhodanien. Concernant les chalands du Parc Saint-Georges, à Lyon, l'étude des données stratigraphiques et des fourchettes chronologiques dans lesquelles s'inscrivent les épaves révèle, pour deux d'entre elles, une différence importante entre un bateau qui n'a vraisemblablement eu que quelques années d'utilisation (épave *Ep. 7*) et un bateau dont la période d'utilisation aurait été d'une cinquantaine d'années (épave *Ep. 5*) (*cf.* note 290), sans que pour l'un ou l'autre, la cause de leur fin de vie ait été déterminée (abandon, réparation, naufrage ?).

Dans le cas de l'épave *Ep. 5*, la durée d'utilisation présumée est-elle fiable et est-elle représentative de la batellerie gallo-romaine du bassin rhodanien ? On sait, pour les périodes récentes, que les péniches en bois des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> s. du bassin rhodanien pouvaient avoir une durée de vie très longue, qui pouvait atteindre près d'un siècle<sup>8</sup>. Dans le cas d'un fleuve « sauvage », non canalisé et à peine entretenu, quelle pouvait être l'espérance de vie des bateaux qui y circulaient ? Le meilleur éclairage que l'on puisse donner ici est, comme dans le cas des navires maritimes de l'Antiquité, de s'appuyer sur des données fournies pour les époques plus tardives<sup>9</sup>.

S'appuyant sur le dépouillement de milliers d'archives liées au bassin rhodanien, Jacques Rossiaud nous donne de précieuses indications pour le Moyen Âge. Il estime que les bateaux naviguant sur le Haut-Rhône et le Rhône-Moyen, malmenés par les seuils et les grèves, avaient une durée de vie modeste, de l'ordre de six ans (Rossiaud 2007, p. 199). Il donne ainsi l'exemple d'un « ponton » voué au transport de pierres, « donc brutalisé, mal entretenu, semi naufragé par deux fois, [qui] acheva sa vie après six années de service » ; une durée de vie sans doute comparable, selon lui, aux « sapines » (Rossiaud 2007, p. 208). Les « naveys », les « fustes » et les « guindelles » travaillaient en revanche une bonne dizaine d'années. Il indique également que les barques à la fonçure (fond plat) de chêne naviguaient plus longtemps, une douzaine d'années en moyenne (Rossiaud 2007, p. 208). Il donne encore l'exemple du « carreton », un bateau long en chêne (pour les structures primaires) et en sapin (pour les bordés) qui, « ainsi construit, ne craignaient pas les grandes décentes (descentes) par basses eaux, les seuils, les gravières et même les affleurements rocheux » et pouvait ainsi durer entre six et dix ans (Rossiaud 2002b, p. 84). Il rapproche en outre cette durée de vie d'une douzaine d'années des barques méridionales qui étaient moins exposées aux « rabotages » sur les hauts-fonds (Rossiaud 2007, p. 208). Selon les types de bateaux, la qualité de leur construction et de leur entretien mais aussi de leur utilisation, la longévité des barques du Rhône, au Moyen Âge, s'inscrit par conséquent dans une fourchette chronologique très étroite, comprise entre six ans et une douzaine d'années. À moins que le chaland *Ep. 5* du Parc Saint-Georges fasse figure d'exception, c'est sans doute dans un ordre de grandeur similaire à celui donné pour les bateaux de l'époque médiévale qu'il faut ranger les chalands gallo-romains. La détermination de la date de construction du chaland *Arles-Rhône 5* et celle de son abandon, sans doute pour des raisons de vétusté<sup>10</sup>, permettrait sans doute d'apporter des éléments de réponse à verser au dossier que nous avons souhaité ouvrir ici.

7. Lors des opérations archéologiques, le bois de la coque semblait quasiment neuf lors de son dégagement et c'est l'étude à terre qui a permis de mettre en évidence les réparations dont elle a été l'objet (avec des nuances à apporter quant au moment d'intervention de ces réparations qui permet de relativiser cette notion de réparation; *supra*, p. 154-155). Néanmoins, comparé à un autre chaland comme celui de l'épave *AR5*, qui atteste de nombreuses réparations et qui a sans doute été abandonné en raison de sa vétusté (Marlier 2011a), le chaland *AR3* ne semble pas accuser une longue période de navigation.

8. Communication personnelle d'un marinier du Rhône, M. Izquierdo, qui nous a rapporté l'exemple d'une péniche en bois ayant appartenu à sa famille et qui, ayant été construite en 1876/1878 a été en utilisation jusqu'en 1961.

9. Dans le cas des navires maritimes de l'Antiquité, une longévité de l'ordre de dix à trente ans a été proposée par comparaison avec les données que l'on connaît pour les navires du Moyen Âge et de l'époque moderne (Pomey, Rieth 2005, p. 142).

10. C'est l'absence de chargement, de mobilier de bord et des équipements de navigation, associés aux très nombreuses réparations et à l'état du bois (Marlier 2011a), dans un secteur où une autre épave en cours de démantèlement (*AR6*) a été découverte (Long 2009b, p. 235-236), qui fait penser à un bateau abandonné en fin de vie. Cette épave est pour le moment inscrite, par une datation radiocarbone <sup>14</sup>C, dans une fourchette chronologique comprise entre 51 av. J.-C. et 135 ap. J.-C.

# CHAPITRE 8. ORIGINE, FONCTION, ZONE DE VIE, ESPACE DE NAVIGATION ET ARMEMENT DU CHALAND

## L'ORIGINE DU CHALAND: LE LIEU DE CONSTRUCTION PRÉSUMÉ

De même que la date de construction et la durée de vie du chaland étaient des questions importantes à considérer (*supra*, chap. 7), la détermination du lieu de construction s'inscrit dans la même perspective d'analyse et d'interprétation des vestiges architecturaux, indispensable à une étude comparative (*infra*, chap. 9).

Pour tenter de déterminer la zone, voire le lieu de construction présumé du chaland *Arles-Rhône 3*, plusieurs indices, liés à l'étude du bateau, peuvent être croisés.

## L'ORIGINE GÉOGRAPHIQUE DES ARBRES

Frédéric Guibal, Sandra Greck

La chronologie moyenne du chêne corrèle très bien avec des chronologies locales représentatives d'un site du Loiret (Sceaux-du-Gâtinais), de sites bourguignons (Cosne-sur-Loire) et francs-comtois (pont de Brognard, Besançon-Saint-Jean, Besançon rempart), et remarquablement avec le Pont Saint-Laurent à Chalon-sur-Saône ( $t=10.12$ ) (C. Perrault, com. pers.). Rares sont les comparaisons dendrochronologiques inter-sites qui atteignent une valeur absolue aussi élevée et, même si l'emploi majoritaire de référentiels élaborés dans la moitié est de la France peut biaiser notre inter-comparaison, une telle valeur nous amène à envisager une origine des chênes dans la région de Chalon-sur-Saône, au plus dans un rayon d'une trentaine de kilomètres. Précisons aussi qu'une corrélation significative a été dégagée vis-à-vis de l'épave d'un autre chaland gallo-romain découverte place Tolozan à Lyon, et datée des années 30 ap. J.-C. (Rieth 2011). En revanche, aucune corrélation ne se dégage avec les pieux de chêne du cirque d'Arles pour lesquels l'origine géographique des arbres fait débat (Guibal, Tessier 1998) mais dont la chronologie, qui débute à l'année 16 av. J.-C., n'offre, il est vrai, que soixante-deux années de chevauchement avec celle du chaland.

La chronologie moyenne du sapin corrèle de façon satisfaisante avec de nombreuses chronologies stationnelles sans que ne se dégage une valeur  $t$  remarquablement élevée ou un éventuel gradient géographique au sein de ces valeurs, interdisant ainsi d'avancer la moindre probabilité d'une quelconque origine géographique. Ce résultat malheureux doit être interprété comme la conséquence d'une originalité propre aux séries dendrochronologiques de sapin qui corrèlent sur des aires géographiques pouvant être très étendues. Ulf Büntgen *et al.* (2011) ont montré que les variations inter-annuelles des épaisseurs des cernes des sapins s'étendent de façon homogène des Vosges jusqu'à la Moravie et aux Apennins! Aucune corrélation n'a cependant été obtenue vis-à-vis des chronologies moyennes bâties sur des données issues de l'analyse de bordés d'épaves de navires de commerce antiques localisées sur la côte méditerranéenne française (Guibal, Pomey 2009), vraisemblablement en raison de chevauchements trop courts entre les chronologies comparées.

Malgré ce résultat, on peut envisager que, dans l'hypothèse où les chênes employés à la réalisation du chaland auraient poussé dans les environs de Chalon-sur-Saône pour approvisionner un chantier de construction local, des sapins jurassiens voire vosgiens auraient pu servir à confectionner les flancs et les vaigres. Les courants commerciaux du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. ne doivent cependant pas écarter une origine possible dans les Alpes françaises du nord. Une importation de bois pour alimenter un chantier de construction

localisé dans la section inférieure du Rhône n'est toutefois pas à exclure, les grumes de chêne ayant pour origine les environs de Chalon-sur-Saône et les bois de résineux ayant une origine géographique à localiser quelque part dans le bassin hydrographique rhodanien, l'ensemble des grumes aurait pu être acheminé par la voie fluviale, par flottage (*supra*, p. 246).

Pour ce qui concerne l'armement de bord, la présence au sein du bois de chauffage et des charbons de bois du bois de chêne vert associé aux essences de filaire/nerprun, caractéristiques de la végétation méditerranéenne, et du bois de frêne, typique des formations forestières alluviales, met en évidence un approvisionnement en bois local sélectionné au gré de la navigation et de la végétation disponible sur les berges du Rhône. En plus d'un approvisionnement en bois d'origine riveraine et locale, c'est l'exploitation d'une région plus septentrionale de la vallée du Rhône que révèle la présence du hêtre comme combustible à bord, de même que les perches non écorcées, sans doute utilisée pour la navigation. Mais rien ne nous permet de savoir de quelle manière il a pu être récolté par les bateliers. Ainsi, s'il a pu être coupé selon les besoins, lors des haltes du chaland, au gré de la navigation et de la végétation disponible à proximité des berges, ne sachant pas s'il était encore pourvu de son écorce avant d'être brûlé, il pourrait s'agir tout aussi bien de bois flotté récupéré sur les bords du fleuve que de bois de chauffage marchandé sur un chantier naval, un quai ou une autre embarcation provenant du nord et naviguant dans la section inférieure du Rhône (*supra*, p. 246-247).

## L'ORIGINE DES POIX D'ÉTANCHÉITÉ

Pauline BURGER, Valérie ANDRIEU-PONEL

Les analyses moléculaires et isotopiques des matériaux d'étanchéité (*supra*, p. 126-130) ont permis de mettre en évidence l'utilisation de deux catégories distinctes de poix correspondant vraisemblablement, pour la première, à la poix appliquée pour la construction du chaland et ses réparations et, pour la seconde, à une poix de protection (en lien avec la zone de vie, à la poupe). Dans les deux cas, cependant, l'isotopie du carbone a permis de déterminer que ces deux séries de poix provenaient très certainement d'une aire géographique unique, probablement méditerranéenne.

Les analyses polliniques réalisées sur plusieurs échantillons de tissus poissés et de poix seule confirment également que la poix utilisée pour l'étanchéité du bateau a été fabriquée en région méditerranéenne.

## CONCLUSIONS SUR LE LIEU DE CONSTRUCTION PRÉSUMÉ

Sabrina MARLIER

Au regard de ces éléments, il n'est pas aisé de déterminer, au sein du bassin rhodanien, une zone de construction précise puisque l'origine des bois de construction et l'origine des poix ne convergent pas vers une même aire géographique. Néanmoins, le lieu de découverte de l'épave, son espace de circulation lors de son dernier voyage (*supra*, p. 253-258) et l'étude du mobilier de bord qui met en évidence deux catégories de céramique dont la circulation semble circonscrite à la basse vallée du Rhône, tendent à inscrire ce chaland dans cette région et, donc, à privilégier une construction dans cet espace. Bien que les bois, utilisés pour la construction, proviennent du nord du bassin rhodanien et qu'il semblerait évident de lier, de façon corollaire, le lieu d'approvisionnement et le lieu de construction du chaland, il faut souligner que le flottage des bois, pour la descente des cours d'eau était pratiqué dès l'Antiquité dans le cadre d'un commerce organisé. Si Vitruve (*De Archi.*, 2, 9, 14) fait mention du transport du mélèze sur le Pô, on dispose, pour le réseau hydrographique rhodanien, de nombreux exemples qui révèlent une large importation du sapin et de l'épicéa en région méditerranéenne pour diverses constructions (des bassins sur le site de Saint-Gervais, dans le golfe de Fos (Guibal, non publié); des aménagements de puits sur le site d'*Ambrussum*, situé entre Nîmes et Montpellier (Guibal 2013)). Les études carpologiques conduites sur le site du dépotoir *Arles-Rhône 3* montrent également la présence de restes de sapin et d'épicéa dans le port de la cité arlésienne à l'époque romaine<sup>1</sup> (Tillier 2013, p. 40 et 52). Pour le chêne, si un flottage de billes depuis le nord du bassin rhodanien, alors que des chênaies sont attestées autour d'Arles pour l'Antiquité (Andrieu-Ponel *et al.* 2000a), semble moins évident, deux arguments au moins peuvent être avancés pour justifier cette importation. D'une part un besoin important en bois de chêne, non seulement pour alimenter les chantiers de construction navale, mais

1. Si la présence de ces essences est vraisemblablement liée à un apport naturel par les eaux du fleuve, l'apport anthropique n'est cependant pas à écarter. C'est également le cas du hêtre, employé à bord comme combustible et pour les perches (Tillier 2013, p. 52).

aussi les nombreux chantiers liés à l'aménagement de la ville et à la construction de monuments publics. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, le cirque d'Arles, construit dans le courant du II<sup>e</sup> s., a nécessité l'emploi de nombreux pieux en chêne dont le nombre est estimé entre 22 000 et 25 000 et dont la provenance est encore sujet à débat (Guibal, Tessier 1998). Il est dans tous les cas probable que les chênaies méditerranéennes ne pouvaient subvenir à tous ces besoins<sup>2</sup>. D'autre part, selon les forestiers actuels, les chênes de Saône présentent de meilleures qualités mécaniques que les chênes de Méditerranée, ce qui pourrait également justifier une importation spécifique de cette essence depuis le nord du bassin rhodanien pour la construction navale. Au regard de ces éléments, si une aire de construction en région méditerranéenne est probable, il est par conséquent tentant d'avancer l'hypothèse d'une construction du chaland dans les chantiers navals d'Arles. Dans ce cas, l'acheminement de chêne par flottage aurait pu être réalisé au moyen de radeaux mêlant des résineux aux chênes afin d'assurer la flottabilité de l'ensemble<sup>3</sup>.

Les *navalia* d'Arles de l'époque romaine nous sont seulement connus par les sources écrites, et notamment par César qui rapporte, qu'à sa demande, douze vaisseaux de guerre ont été « achevés et armés en trente jours à compter du moment où le bois pour leur construction a été abattu » (César, *La guerre civile*, I, 36, 4) (Plutarque, *Vie de Marius*, chap. XV). Construits dans les chantiers navals d'Arles, ces navires ont été utilisés pour faire le siège de Marseille en 49 av. J.-C. (Rothé, Heijmans (dir.) 2008, p. 89). La rapidité avec laquelle ces navires sont fournis et leur nombre (douze) témoignent de l'importance et du dynamisme de ces chantiers au I<sup>er</sup> s. av. J.-C.

Outre le texte de César et celui de Plutarque, qui témoignent du même épisode, les chantiers navals d'Arles sont connus par l'épigraphie qui révèle que les artisans du bois et de la construction navale étaient regroupés en collèges et formaient un corps de métier important. On recense ainsi plusieurs épitaphes qui viennent montrer la vigueur de l'association des charpentiers (*fabri taguarii*) avec, à leurs côtés, des charpentiers spécialisés dans la construction navale (*fabri navales*). Parmi les épitaphes découvertes, on en connaît une se rapportant à un architecte naval (Christol 2008, p. 183) et une, inscrite sur un sarcophage daté du II<sup>e</sup> s., d'un constructeur de bateaux, C(aius) Iu(lius) Pot[hinus], membre de la corporation arlésienne des charpentiers de marine (Rothé, Heijmans (dir.) 2008, p. 616, 18.). Une stèle funéraire, découverte au niveau du gisement B, dans le Rhône, se rapporte peut-être aussi à un charpentier. Si l'épitaphe ne précise pas le métier du défunt (« *D(is) M(anibus) Ermie partiari college posuerunt* »), les outils représentés sous l'épitaphe sont en revanche éloquents : une herminette (*ascia*), une équerre et un fil à plomb sont figurés à côté d'un bateau (Long 2008, p. 147-149). Enfin, grâce à l'inscription de G(aius) Paquius Pardalas, on sait que les charpentiers de marine avaient choisi un patron au rayonnement important (Christol 2008, p. 183)<sup>4</sup>. Parmi les corps de métiers regroupant des artisans liés au travail du bois, à Arles, citons également les dendrophores qui renvoient indifféremment aux bûcherons, porteurs de grumes, charpentiers, menuisiers, etc. (Christol 2008, p. 183).

Du point de vue archéologique, bien que les chantiers navals d'Arles soient traditionnellement situés sur la rive droite du Rhône, ceux-ci n'ont pas encore été identifiés avec certitude. Selon Luc Long, les découvertes réalisées par ses équipes dans le cadre des opérations de carte archéologique, ont permis de mettre en évidence, au pied du nouvel appontement de la CNR, face au musée archéologique d'Arles, de nombreux vestiges qui seraient à rattacher à un chantier naval. Datés par radiocarbone entre le I<sup>er</sup> et le III<sup>e</sup> s. ap. J.-C., il s'agit d'épaves en cours de démantèlement (*Arles-Rhône 6*), d'un élément se rapportant à un mât ou encore à une brêle de radeau (*Arles-Rhône 10*). Cette zone pourrait donc avoir joué un rôle dans le stockage des bois, la réparation et la construction navale (Long 2008, p. 180). Par ailleurs, de grandes poutres quadrangulaires fichées dans la berge, transversalement au courant, et aperçues plus en aval, pourraient également évoquer, selon lui, la présence d'une cale de halage (Long 2004, p. 59 ; 2008, p. 149-150). La découverte de l'épave *Arles-Rhône 5*, dans cette même zone, qui semble correspondre à un chaland abandonné (Marlier 2011a) (*supra*, p. 266, note 7), amène cependant à se poser la question d'un cimetière de bateaux plutôt que d'un chantier de construction navale. En l'absence de structures permanentes, les chantiers navals sont difficilement localisables et c'est finalement la découverte de vestiges et de traces d'activité liés au travail du bois, et éventuellement d'une forge, qui permettrait de valider l'hypothèse d'une identification de chantiers de construction à cet endroit du Rhône<sup>5</sup>.

Au regard de ce que nous entrevoyons par le seul biais des sources écrites, les chantiers navals d'Arles devaient correspondre à des chantiers de construction importants avec une forte activité durant le I<sup>er</sup> s. av. J.-C. et qui a dû se poursuivre durant l'époque gallo-romaine avec l'intensification des échanges commerciaux sur le fleuve. Ces caractéristiques répondent précisément au type de chantier dans lequel on imagine que le chaland *Arles-Rhône 3* a dû être construit. Outre la complexité de sa construction et ses dimensions

2. Les données polliniques montrent en effet qu'à l'époque romaine, les paysages de Basse-Provence étaient déjà très largement déforestés quand les colons romains sont arrivés avec une forêt méditerranéenne à chênes et pins déjà considérablement réduite (Andrieu-Ponel *et al.* 2000a et 2000b).

3. Signalons qu'une brêle de radeau, en chêne, de 8,75 m de longueur pour une largeur de 45 cm et une épaisseur de 27 cm, et datée par radiocarbone entre 32 et 320 ap. J.-C., a été découverte sur la rive droite du Rhône, à Arles, en 2007 (Long 2009b, p. 237-238).

4. Sur les *fabri navales* d'Arles, *CIL*, XII, 700 ; 730 ; 5811.

5. Lors des fouilles de la zone du port antique de Marseille, dans le secteur des places Jules-Verne et Villeneuve Bargemon, la présence de chantiers de construction navale est attestée aux V<sup>e</sup> et IV<sup>e</sup> s. av. J.-C. par la présence de nombreux vestiges. Ainsi, des bassins d'eau saumâtre, destinés à faire tremper les bois de construction des navires, ont-ils été découverts associés à des pièces de navires en cours d'élaboration, des billes de bois en cours de débitage associées à des traces de sciure, ainsi que des cordages et un fragment de coque de navire découpé. Ce chantier occupait plus de 150 m du rivage. Pour la période hellénistique, des ateliers métallurgiques en lien avec l'activité navale (fabrication de clous en bronze, notamment) ont également été découverts sur la place Villeneuve-Bargemon (Hermay, Hesnard, Tréziny (dir.) 1999, p. 79 ; Hesnard *et al.* 1999, p. 36-39).

importantes, les nombreux arbres qu'il a nécessité pour la réalisation de sa seule coque (entre 50 et 77) et les lourdes pièces qu'il a fallu manipuler (1,2 tonne pour chaque bordé de flanc en demi-tronc monoxyle de 26 m de long), les nombreux clous qu'il a fallu forger (1700), sans compter les ferrures, ainsi que la gestion du recyclage des milliers de chiffons de laine et la préparation de nombreuses marmites de poix pour en assurer l'étanchéité, tout cela incite à penser que ce chaland ne peut être sorti que d'un chantier naval important et regroupant l'ensemble des moyens logistiques, techniques et bien sûr humains nécessaires. Les inscriptions, découvertes sur différentes planches du chaland, incitent également à penser que ce bateau a été construit dans un arsenal de grande taille au sein duquel plusieurs sociétés de charpentiers de marine – dont celle formée par Caius et Lucius Postumius ? – travaillaient et les inscriptions auraient ainsi pu permettre de distinguer les lots de planches façonnées puis stockées avant leur mise en œuvre (*supra*, p. 169).

## LA FONCTION DU CHALAND

Sabrina MARLIER, David DJAOUI

Suite à la première expertise de l'épave (*supra*, p. 24-25), plusieurs hypothèses avaient été émises à propos de la fonction de ce chaland (Long, Rival 2005, p. 65).

La première identifiait cette épave remplie de pierres comme un bateau de servitude affecté à l'endiguement et à la consolidation des berges. On connaît mal l'aménagement des digues du Bas-Rhône pour l'Antiquité. À titre de comparaison, Luc Long évoquait cependant, pour le XVIII<sup>e</sup> s., la technique du « caladat », un mot provençal qui signifie « pavé » et qui consiste, pour les berges, à doubler celles-ci d'un pavage continu à l'aide de pierres de différents calibres, les plus grosses mesurant 12 pouces (soit 25 cm, une dimension comparable à certains des modules de pierres retrouvés sur l'épave *Arles-Rhône 3*). Cet empierrement sur de longs tronçons nécessitait par conséquent un volume de pierres considérable que les bateliers, à cette période, allaient charger aux carrières de Moleyrès, près de Beaucaire.

La deuxième hypothèse portait sur l'utilisation de ces pierres comme lest. L. Long rappelait en effet que les *saburrarii*, chargés de fournir le lest pour stabiliser les navires vidés de leur cargaison, sont en effet connus par des inscriptions à Ostie.

La troisième hypothèse était de voir dans cette épave un bac utilisé pour faire passer les charges pondéreuses d'une rive à l'autre, en parallèle du pont de bateaux situé en amont.

Enfin, L. Long n'écartait pas l'hypothèse que cette barge ait pu être échouée intentionnellement dans le but de renforcer la digue. Cette dernière hypothèse a été évoquée dans le catalogue consacré à l'épave (Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011, p. 25-26). La pratique, qui consiste à utiliser un bateau rempli de pierres pour servir de soubassement, est en effet mentionnée par Pline à propos de la construction du phare du port d'Ostie (*Hist. Nat.*, XVI, 76, 201-202). Elle est notamment illustrée par deux découvertes archéologiques réalisées en contextes portuaires. Lors des fouilles du port antique de Toulon, deux barques, « alignées et cantonnées entre des pieux verticalement plantés, puis remplies de blocs de pierre et coulées » ont été utilisées pour l'édification d'un môle empierré daté du dernier quart du I<sup>er</sup> s. ap. J.-C. (Brun 1999, p. 137). À Çaska, sur l'île de Pag (Croatie), un petit bateau a été empli de pierres et coulé pour aménager le rivage aux I<sup>er</sup> et II<sup>e</sup> s. ap. J.-C. (Radić Rossi, Boetto 2010).

La découverte, sur ou associé à l'épave, du mobilier de bord, du mât de halage et d'une pelle de gouverne, incite cependant à rejeter cette hypothèse. Si le chaland avait été coulé de façon intentionnelle pour servir de soubassement à une construction ou un aménagement quelconque, il est certain que le mobilier appartenant aux bateliers aurait été récupéré, de même que les appareils de gouverne et de propulsion qui auraient pu être réutilisés sur une autre embarcation. Il est manifeste que c'est un naufrage accidentel et violent qui a causé la perte de ce bateau (*supra*, p. 264-265) et sa fonction est donc toute autre.

L'hypothèse d'un bac ou d'un bateau de servitude lié à l'aménagement des berges de la cité romaine d'*Arelate*, soit une unité affectée aux services ou aux travaux du port, est aussi à écarter. La morphologie du chaland, ainsi que la complexité de son architecture, associés à la présence d'un espace de vie, avec une zone de vie à bord, montrent à l'évidence qu'il s'agissait d'un bateau destiné à naviguer sur une section plus ou moins importante du fleuve.

L'hypothèse d'un chaland de transport, dans le cadre d'une activité commerciale, est donc la plus plausible. Le dernier chargement transporté par ce bateau témoigne d'un transport de matériaux pondéreux, à destination d'Arles (pour l'aménagement des berges,



la construction de monuments publics ou encore d'une *domus*) ou de la Camargue (construction de villas, fermes, voies, berges, etc.). Le caractère amovible et modulable (*supra*, p. 159-164) du caisson destiné à recevoir le chargement de pierres, conduit également à envisager que d'autres types de cargaison aient pu être transportés sur ce chaland, en relation, notamment, avec le sens de navigation du bateau (navigation descendante ou montante) (*infra*, p. 276-278).

Finalement, il apparaît clairement que la fonction du chaland est celle d'une unité fluviale de transport, sur laquelle les bateliers pratiquaient des activités de cuisine et autres menus travaux, et pour laquelle il reste à définir l'espace nautique.

## LA VIE À BORD

David DJAOUI, Sandra GRECK

Dans la mesure où le chaland *Arles-Rhône 3* est un bateau de transport fluvial destiné à évoluer sur une section plus ou moins longue du fleuve, une zone de vie était aménagée à bord. Située entre le tableau de poupe et la zone du barreur, sur l'arrière du chaland, elle comprenait un mobilier de cuisine et des outils.

Autour d'un fond de *dolium* réutilisé comme foyer, ce sont des bouilloires, utilisées pour faire chauffer de l'eau, un mortier, destiné à des préparations alimentaires, des bols et des assiettes pour la consommation des aliments, du charbon de bois afin d'alimenter le foyer, qui attestent d'une activité de cuisine à bord. Afin de protéger la coque, des planches de protection de la sole ainsi que des vaigres supportant le lourd *dolium* ont été mises en place, soit directement contre la sole soit sur le dos des membrures. Des traces de brûlure ont aussi été observées, profondément imprimées dans le bois des vaigres mais aussi à l'arrière de la varangue M97, au dos de la courbe C4 et sur le bois des planches de sole adjacentes, non protégées (pl. I et fig. 40). En complément de la préparation des repas, on peut supposer également qu'à la nuit tombée, le foyer du braséro devait permettre de se chauffer et de s'éclairer et la seule lampe à huile retrouvée sur le chaland apportait un simple éclairage d'appoint.

Sur le fond d'une assiette en sigillée et sur le col d'une cruche en pâte kaolinique, les mêmes initiales AT ont été gravées (fig. 292 et 295) : elles renvoient sans doute à des marques de propriétés de l'un des bateliers. Les contextes de promiscuité favorisent ce type de signature et permettent le plus souvent de caractériser la vaisselle de bord des bateaux (Feugère 2004, p. 60)<sup>6</sup>.

Le comptage de cette vaisselle, rassemblant pour la céramique fine seulement deux assiettes, trois coupes et trois gobelets, permet de déterminer la présence probable de trois bateliers à bord.

Au côté de ce mobilier céramique, on compte un certain nombre d'outils multifonctionnels appartenant au matériel de bord utilisé par les bateliers. L'identification de ce mobilier a conduit à localiser, dans cette zone, un espace dédié à de menus travaux à bord. Il s'agit d'une serpe vigneronne qui a pu permettre de récupérer du petit bois sur les berges pour alimenter le foyer, d'une houe, outil agricole qui pouvait permettre de servir de levier pour saisir les pierres lors de leur déchargement, et d'un fer plat à douille qui a pu être utilisé pour se procurer de l'écorce destiné à alimenter le feu et pour racler le fond et les parois du *dolium* pour le nettoyer<sup>7</sup>. Un réa de poulie – la poulie ayant probablement été utilisée pour soulever des charges – a également été découvert à proximité. Enfin, un copeau de bois a été retrouvé sous le vaigrage amovible de cette même zone. Issu d'un déchet de taille, il est probablement le résultat de la mise en place des planches de vaigres ou de protection de la sole aménagées spécialement à cet effet et il illustre le travail des bateliers au sein même du bateau.

## L'ESPACE DE NAVIGATION DU CHALAND ET LA QUESTION DE SON ARMEMENT

Sabrina MARLIER

L'espace de navigation correspond au milieu dans lequel un bateau exerce son activité et pour lequel celui-ci va être adapté. Il se définit selon trois critères que sont l'environnement, le contexte socio-économique et le contexte culturel. Du point de vue géographique, l'environnement, avec les contraintes du milieu physique considéré allié à ses caractéristiques climatiques et météorologiques, va nécessairement avoir une incidence

6. Pour les périodes plus tardives, il sera souvent plus commun de retrouver le nom du bateau estampillé sur le mobilier de bord, comme c'est le cas, par exemple, sur l'épave de Saint-Gingolph (Lac Léman, XIX<sup>e</sup> s.) (Rieth 2008, p. 70-71).

7. Comme nous l'apprennent les inventaires de navires à l'époque médiévale et moderne, de nombreux outils se trouvaient à bord et l'on pouvait aussi bien trouver une serpe que des haches (Rigaud 1996).

sur la morphologie, les caractéristiques architecturales ainsi que sur les systèmes de propulsion et de direction du bateau considéré. Ce cadre géographique s'inscrit aussi dans un contexte socio-économique et culturel donné qui, de fait, participe également de la définition de l'espace de navigation. Ces aspects vont par conséquent peser sur la conception et la réalisation du bateau, tant sur le plan technique et fonctionnel qu'en tant que lieu de vie et de travail (Pomey, Rieth 2005, p. 38-41).

Il est par ailleurs important de souligner que, dans le cadre fluvial, la notion d'espace de navigation correspond à un espace de navigation linéaire, géographiquement limité et circonscrit en longueur, en largeur et en profondeur<sup>8</sup>. C'est une différence fondamentale par rapport au milieu maritime qui correspond à un espace de navigation ouvert, même si ce dernier peut être limité.

Le milieu de navigation fluvial est aussi caractérisé par la présence d'un courant continu, de l'amont vers l'aval, marqué par des débits plus ou moins forts selon les régimes fluviaux et les périodes de l'année (les périodes de crue correspondent aux hautes eaux, et les périodes d'étiage aux basses eaux). Ces facteurs auront bien évidemment des conséquences sur les conditions de navigation mais aussi sur les rythmes de navigation avec un impact sur l'économie des transports par voie d'eau (Beaudouin 1985, p. 6-11 ; Lesueur 2004, p. 333 ; Pomey, Rieth 2005, p. 39).

Partant de cette définition de l'espace de navigation et des considérations concernant le milieu fluvial, il convient, au terme de cette étude et en croisant le maximum d'informations dont nous disposons, de définir au mieux l'espace nautique dans lequel s'inscrivait le chaland *Arles-Rhône 3* et auquel celui-ci était adapté.

Du point de vue géographique, le lieu de construction supposé du chaland (les chantiers navals d'Arles) (*supra*, p. 269-270) allié à la provenance (Tarascon/*Ernaginum*) et la destination présumée du chargement de pierres (la Camargue) (*supra*, p. 258)<sup>9</sup> ainsi qu'à l'étude du mobilier de bord (*supra*, p. 239) permet de pointer un espace de navigation circonscrit à la section inférieure du Rhône. Néanmoins, la question se pose de savoir si le chaland *Arles-Rhône 3* était aussi destiné à naviguer sur la section moyenne du Rhône, soit de Tarascon jusqu'à Lyon<sup>10</sup>.

Pour aborder cette question, il convient tout d'abord de mettre en perspective les données physiques et environnementales du fleuve avec les caractéristiques architecturales du chaland étudié. Plus difficiles à manier, les questions d'intérêts économiques, liées à la fonction du chaland, sont aussi à prendre en considération. Ce dernier point conduit finalement à se poser la question de l'armement du chaland.

## L'ESPACE DE NAVIGATION : UN ESPACE CIRCONSCRIT À LA SECTION INFÉRIEURE DU RHÔNE ?

Concernant les données physiques du fleuve, les études géomorphologiques conduites sur le Rhône dans l'Antiquité sont en cours et ne nous apportent, pour le moment, que des informations ponctuelles. Deux données importantes se dégagent cependant. En premier lieu, il semble vraisemblable que les conditions générales d'écoulement étaient, pour l'Antiquité, proches de celles d'aujourd'hui avec une pente qui reste forte sur une grande partie du cours du fleuve (Leveau (dir.) 1999). En deuxième lieu, les études menées par l'équipe de géomorphologues du CEREGE montrent que, durant les deux premiers siècles de notre ère, le Rhône Saint-Ferréol<sup>11</sup> bénéficie d'un chenal bien incisé associé à un régime fluvial régulier (Provansal *et al.* 1999). Deux facteurs qui ont sans doute facilité la navigation puisque les auteurs anciens, tel que Strabon (*Géog.*, IV, I, 14), témoignent d'une intense fréquentation du Rhône, pas seulement par des barques de faibles dimensions mais aussi par « les plus forts tonnages ».

Pour autant, nous n'avons, pour la période romaine, qu'une vision partielle du fleuve. Il semble néanmoins évident que le Rhône, tel qu'il se présente aujourd'hui, est bien différent de ce qu'il devait être il y a 2000 ans. Les aménagements d'origine anthropique, qui ont eu pour conséquence de profondément remodeler la physionomie du Rhône pour aboutir à celle que l'on connaît aujourd'hui, sont cependant relativement récents : ils datent de la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> s.<sup>12</sup>. Avant ces interventions, le Rhône, à l'état naturel, est un fleuve sauvage qui a été abondamment décrit et documenté<sup>13</sup> ; l'image qui en ressort peut sans doute nous aider à approcher ce qu'était ce fleuve il y a quelque 2000 ans<sup>14</sup> et qui, bien que maîtrisé et plus ou moins contenu aujourd'hui<sup>15</sup>, laisse encore entrevoir sa puissance et son impétuosité dont témoignent nombre d'auteurs anciens (voir notamment Plinie, au I<sup>er</sup> s., qui qualifie le Rhône d'« impétueux » (*Hist. Nat.*, 33) et Ammien Marcellin, au IV<sup>e</sup> s., qui parle du Rhône aux « eaux écumantes » (*Res. gestae*, XV, 11)<sup>16</sup>.

Ainsi, le Rhône est un fleuve qui présente un fort courant avec des crues soudaines en automne et des basses eaux en été<sup>17</sup>. À l'état naturel, il présente également des différences

8. E. Rieth compare « le milieu de navigation intérieure à une "gouttière" ou un "ruban d'eau", qui se trouve étroitement limité latéralement par deux berges, et verticalement par le mouillage (la hauteur d'eau) » (Pomey, Rieth 2005, p. 39).

9. Si on considère ici l'hypothèse de circulation de la pierre de chargement la plus large du point de vue géographique.

10. Selon la classification géographique moderne, le Rhône est en effet décomposé en trois sections : le Haut-Rhône qui part de la source jusqu'à Lyon, le Rhône-Moyen, qui va de Lyon à Avignon/Beaucaire et le Bas-Rhône, qui coule d'Avignon/Beaucaire à la mer (selon les ouvrages consultés, la limite de la section inférieure du Rhône commence soit à Avignon soit à Beaucaire, sachant que cette dernière ville se situe au niveau de Tarascon, la première se trouvant sur la rive droite du Rhône et la seconde, en face, sur la rive gauche). Chaque section est marquée par la présence d'un seuil qui marque, dans le sens aval-amont, une zone d'accélération du courant. C'est donc une classification d'ordre fluviale qui est faite ici. Rappelons que le concept de navigabilité, défini par V. Serna, permet en effet de distinguer non pas une mais des navigabilités : une navigabilité d'ordre économique, une navigabilité d'ordre administratif et une navigabilité d'ordre fluvial (Serna 1996, p. 112).

11. À l'époque romaine, les bras de saint-Ferréol et d'Ulmet, aujourd'hui atterris, évacuaient l'essentiel des eaux du fleuve. Le Rhône saint-Ferréol est le bras qui passait au niveau d'Arles (Provansal *et al.* 1999).

12. Si des travaux d'endiguement commencent à être réalisés le long du Rhône à partir du milieu du XVIII<sup>e</sup> s., ils restent cependant peu nombreux jusque vers 1840. C'est la loi Girardon-Jacquet de 1876, qui a pour objet l'amélioration du Rhône entre Lyon et la mer, qui va conduire à l'aménagement du fleuve pour la navigation à courant libre. Une autre loi est votée en 1921 pour l'aménagement intégral du Rhône en vue d'une utilisation simultanée du fleuve du triple point de vue de la navigation, de l'agriculture (irrigation) et de l'industrie (production d'énergie). Cette loi aboutira à l'octroi, par décret du 13 janvier 1931, de la concession de l'ensemble des travaux à une société unique, la Compagnie Nationale du Rhône.

13. Voir notamment, pour les auteurs les plus anciens, Lenthéric 1892 et Bonnard 1913. Plus récemment, voir Rossiaud 1978, p. 283-286 ; Dessemont 1983 ; Dürrenmatt 1993 ; Eyrier 1996.

14. À l'instar de J. Rossiaud, il faut néanmoins rester prudent car l'évocation du Rhône de 1830 ne « vise nullement à restituer l'image d'un fleuve qui serait demeuré millénairement identique à lui-même » et qu'au-delà de la main des hommes, le temps et la nature ont aussi contribué à changer le lit du fleuve (Rossiaud 2007, p. 125 et 128). S'il est donc impossible de présenter un fleuve « temporalisé » pour le Moyen Âge, caractérisé d'amont en aval par sa morphologie et son environnement, cette impossibilité vaut d'autant plus pour l'Antiquité, réserve faite, comme le rappelle J. Rossiaud, des zones deltaïques et urbaines qui ont concentré les recherches les plus vigoureuses (Rossiaud 2007, p. 137).

15. Voir, pour les débordements, les crues exceptionnelles de 1993, 1994 et 2003.

16. Pour une présentation des textes antiques sur le delta du Rhône, voir Tréziny 2008, p. 221-222.

17. Dans un rapport rédigé par Bernard (directeur adjoint de l'observatoire de la Marine) en 1779 à l'attention du gouverneur du roi *Sur les moyens les plus propres à vaincre les obstacles que le Rhône oppose au cabotage entre Arles & Marseille*, il indique que « les plus grandes crues du Rhône arrivent ordinairement dans les mois d'octobre, novembre et décembre. Les mois de juillet & d'août sont ceux où les eaux sont les plus basses » (Bernard 1779, p. 28).

de profondeur, avec des hauts-fonds et des seuils recouverts de peu d'eau en période d'étiage, des zones de gravières plus ou moins étendues et des roches de fond (Bonnard 1913, p. 140).

Entre Lyon et Arles, Jacques Rossiaud dénombre par ailleurs, pour 1876, « 104 mauvais passages » qui sont en réalité des seuils qui réduisent le mouillage à 1,40 m. Ces seuils présentent également l'inconvénient supplémentaire de faire dévier brusquement le courant (Rossiaud 2007, p. 126-127). À l'état sauvage, le Rhône se caractérise enfin par des changements constants de ses berges – qui ne sont pas aménagées en dehors des zones portuaires – la présence de nombreuses îles qui parsèment son cours et se déplacent régulièrement, et l'existence de nombreuses lônes.

Par conséquent, le Rhône est un fleuve difficile et dangereux sur lequel seuls des bateaux expérimentés assuraient une navigation montante et descendante<sup>18</sup>. Pour autant, le transport de marchandises est attesté, dès l'Antiquité, de la mer jusqu'à Seyssel, port terminal de la navigation sur le Haut-Rhône<sup>19</sup>. La navigation sur le fleuve exige par ailleurs des bateaux aux caractéristiques particulières avec un fond plat, une proue en levée pour offrir le moins de prise possible au courant, un gouvernail important pour permettre de manœuvrer le bateau – notamment en navigation avalante où le système de direction doit être particulièrement efficace – et une solide armature pour le maintien du mât de halage où était accroché le câble pour la remonte. Au fond plat doivent être associés un faible enfoncement et une construction en matériaux de fort échantillonnage pour faire face aux obstacles et à l'irrégularité des fonds ainsi que pour permettre les échouages sur les berges (Bonnard 1913, p. 141).

Du point de vue architectural, le chaland *Arles-Rhône 3*, avec un fond plat et un faible enfoncement (51,6 cm en pleine charge), est parfaitement adapté à ces conditions de navigation difficiles. Construit en matériaux résistants (chêne pour les structures primaires) solidement assemblés (près de 1700 clous en fer) et avec une levée avant ceinturée par une véritable armature métallique, ce bateau est également construit pour résister aux obstacles tels que les gravières des hauts-fonds et aux éléments (branches, troncs *etc.*) que pouvait charrier le fleuve (voir la déformation de l'armature métallique de la proue sans doute due à un choc latéral, *supra*, p. 77) ainsi qu'à l'échouage<sup>20</sup>. Sa forme générale, très étroite avec un coefficient d'allongement très élevé (rapport longueur/largeur L/l = 10) et une proue fuselée associée à une grande levée, qui ne trouve – jusqu'à présent – aucun équivalent parmi les autres chalands gallo-romains du bassin rhodanien<sup>21</sup>, amène cependant à s'interroger sur son éventuelle adaptation à une section limitée du Rhône.

Le long du cours du Rhône, les largeurs et les profondeurs sont très variables, entraînant des variations de débit et donc des conditions de navigation différentes<sup>22</sup>. Partout où le fleuve est resserré, le courant est rapide et la profondeur importante. C'est le cas du Haut-Rhône, entre Seyssel et Lyon<sup>23</sup>. À l'inverse, lorsque le fleuve se divise et s'élargit, la profondeur diminue et, par conséquent, la vitesse du courant également. C'est le cas de la section moyenne du Rhône, entre Lyon et Avignon/Beaucaire où la vitesse reste importante mais néanmoins plus réduite qu'en amont<sup>24</sup>. Avignon marque un seuil et la vitesse du courant se réduit alors ; néanmoins, dans la section inférieure du Rhône, ce n'est qu'arrivé au niveau d'Arles que la vitesse du courant diminue fortement et que le fleuve, jusqu'à la mer, n'a plus alors qu'une pente sensible (Bernard 1779, p. 31-32). Les études géomorphologiques, conduites dans le delta du Rhône par les équipes du CEREGE, semblent confirmer ce qu'écrivait Bernard pour le XVIII<sup>e</sup> s. tandis que les récentes observations réalisées au niveau de la Gare Maritime d'Arles (diagnostic INRAP, automne 2010) montrent que le chenal, dans l'Antiquité, aurait été assez semblable à ce qu'il est aujourd'hui au niveau d'Arles<sup>25</sup>.

Entre Arles et la mer<sup>26</sup>, la navigation est donc plus aisée que sur le reste du Rhône et, au Moyen Âge et à l'époque moderne, « allèges » et « tartanes » pouvaient naviguer sur cet espace à la voile (voile latine) et remonter même jusqu'à Beaucaire pour la grande foire annuelle (Eyrier 1996, p. 11).

En amont de Beaucaire/Avignon, ce sont en revanche de grandes et de fortes barques – à l'image des « courtes » et des « savoyardes » qui sont des navires de charge en usage sur le Rhône jusqu'au XIX<sup>e</sup> s. (Rossiaud 2002b, p. 105-107, 321-323) – qui étaient utilisées, propulsées par la technique du halage pour remonter le courant jusqu'à Lyon.

Loin de l'image de ces barques, larges et robustes, qui ont sillonné le Rhône en convois (trains de barques) pour le transport des marchandises et des hommes jusqu'à l'apparition de la marine à vapeur, le chaland *Arles-Rhône 3*, malgré sa grande longueur, renvoie plutôt l'image d'un bateau gracile. Sa forme très allongée et profilée, associée à une levée avant très fuselée, semble néanmoins parfaitement adaptée pour la navigation en eau présentant de forts courants, telle que celle décrite entre Arles et Lyon. Jacques Rossiaud souligne ainsi, pour le Moyen Âge, que les navires longs, tel que le « carretton » (coefficient de finesse<sup>27</sup> de 6), le « navio » ou « naviot » (coefficient de finesse de 10,5) ou encore la

18. Pour les difficultés de la navigation sur le Rhône, voir Lenthéric 1892 ; Bonnard 1913, p. 140 ; Rossiaud 1978, p. 283-286 ; Eyrier 1996 ; Christol, Fiches 1999, p. 144 et Le Sueur 2004.

19. Pour l'époque gallo-romaine, d'importants vestiges, des entrepôts en particulier, ont été mis au jour sur les bords du Rhône, à l'aval de Seyssel (Dufournet 1993), attestant d'une navigation montante jusqu'à ce niveau du fleuve.

20. À titre de comparaison, citons, pour le Moyen Âge, le « carretton » qui est un bateau rhodanien également construit en chêne (sole, membrures et courbes) et avec un bordé en sapin. Ainsi construit, « il ne craint pas les basses eaux, les seuils, les gravières et même les affleurements rocheux » (Rossiaud 2002b, p. 84).

21. Voir les restitutions des chalands gallo-romains de Lyon, Parc St-Georges, *Ep. 8* et *Ep. 4* (Rieth 2010b, Plans X et XI, p. 100-101).

22. Pour le Moyen Âge, J. Rossiaud divise le fleuve en quatre sections correspondant à « quatre Rhône, à l'allure et aux qualités batelières dissemblables » (Rossiaud 2007, p. 126-127).

23. Voir le découpage schématisé du Rhône, selon une classification d'ordre fluviale, en trois sections : Haut-Rhône, Rhône-Moyen et Bas-Rhône (*cf.* note 10). Au-delà de Seyssel, le courant du fleuve est de type torrentiel et n'est pas navigable.

24. J. Rossiaud rappelle qu'entre 100 et 300 km de son embouchure, le Rhône présente des pentes près de deux fois supérieures à celles de la Garonne, doubles de celles de la Loire, douze fois supérieures à celles de la Saône et, entre Lyon et Arles, les vitesses de courant sont prodigieuses (de l'ordre de 2,5 à 3 m/s) : « La remontée du Rhône impose donc une puissance de traction grandement supérieure à celle de tous les autres fleuves d'Europe » (Rossiaud 1978, p. 284).

25. Analyses granulométriques, en cours de vérification. Comm. pers. Cl. Vella.

26. À l'époque romaine, la mer était beaucoup plus rapprochée d'Arles qu'elle ne l'est actuellement (aujourd'hui, Arles est distante de la mer de 30 km). Au IV<sup>e</sup> s., Ammien Marcellin écrit que « le Rhône [...] au terme de la carrière que la nature lui a prescrite, ses eaux écumantes s'unissent à la mer gauloise, dans le large golfe que l'on appelle des Graus et qui est distant d'Arles d'environ dix-huit milles » (*Res gestae*, XV, 11. *Cf.* Tréziny 2008, p. 221), ce qui représente près de 27 km. Les études géomorphologiques confirment que le rivage a avancé mais la géographie en reste encore mal connue pour le début de notre ère (Provansal *et al.* 1999).

27. Le coefficient de finesse est défini par le rapport de longueur du bateau à son maître-couple.

«penelle» (rapport au maître-couple qui peut aller jusqu'à 12) sont, en raison de leur grande maniabilité qui leur permettent de passer partout, parfaitement adaptés à la navigation rhodanienne (Rossiaud 2002a, p. 82-85 ; p. 257)<sup>28</sup>. De façon plus générale, sur les fleuves présentant des courants forts, on retrouve également des navires longs car ce sont des bateaux plus manœuvrant dans des eaux turbulentes. Ainsi, à titre de comparaison, la «miolle», barque de la Garonne encore utilisée au début du xx<sup>e</sup> s. et, pour prendre un exemple ethnographique extra-européen, la «pinasse», sorte de pirogue traditionnelle encore utilisée sur le fleuve Niger, présentent toutes deux des formes très profilées et allongées : celles-ci sont parfaitement adaptées aux contraintes environnementales des espaces nautiques pour lesquelles elles ont été construites, à savoir des fleuves qui se caractérisent également par des débits importants.

Au regard de ce constat, il paraît vraisemblable que le chaland *Arles-Rhône 3* ait été en capacité de naviguer sur une grande partie du fleuve, d'Arles à Lyon, et d'assurer ainsi des transports de marchandises et/ou d'hommes entre les deux grands ports fluviaux du Rhône.

Si la morphologie du chaland *Arles-Rhône 3* atteste d'une adaptation à un fleuve présentant un fort courant, son lieu de construction présumé et son dernier chargement et son mobilier de bord témoignent cependant, et de façon contradictoire avec le raisonnement développé ci-avant, d'une utilisation dans la section du fleuve où le débit est le plus faible. D'autres facteurs ou paramètres, liés à l'utilisation du chaland, sont donc intervenus dans le choix d'utiliser ce type de bateau profilé dans l'espace du Bas-Rhône.

Du point de vue économique, c'est donc la question de la rentabilité du chaland *Arles-Rhône 3* qui doit être posée. Sur le plan de l'économie motrice, celle-ci apparaît comme particulièrement favorable dans la mesure où la localisation de la carrière d'où proviennent les pierres de chargement, en amont d'Arles, permet une navigation avalante «à gré d'eau», sur une distance relativement courte<sup>29</sup>. Le problème aurait été bien différent si l'origine du lieu d'extraction avait impliqué une navigation montante par halage et on imagine bien, pour la remonte, que le bateau ait transporté des chargements moins pondéreux (*infra*). Dans un espace nautique à l'échelle locale (dans un rayon d'action compris entre Tarascon et la Camargue, soit au maximum 40 km), ce bateau devait se révéler d'autant plus avantageux que les durées de navigation devaient être relativement courtes (une journée tout au plus pour la descente<sup>30</sup> et quelques jours – trois à quatre ? – pour la remonte<sup>31</sup>) avec un équipage restreint (trois hommes) et, surtout, une équipe de haleurs réduite à la remonte estimée à vingt hommes (*supra*, p. 232)<sup>32</sup>.

À l'échelle interrégionale, la question est plus problématique. Bien que de grandes dimensions, le chaland *Arles-Rhône 3* demeure en effet un bateau léger (8 tonnes) aux capacités de chargement moyennes (max. estimé à 22 t., *supra*, p. 229-230). S'il s'inscrit parfaitement dans un circuit commercial restreint, il devait être plus limité, en termes de rentabilité, dans un circuit plus large, soit pour assurer des échanges entre Arles et Lyon. La remontée du Rhône, entre ces deux ports, étant difficile, longue et, par conséquent, coûteuse<sup>33</sup>, il devait être plus rentable, à l'image des convois de bateaux – ou «trains de barques» – qui remontaient le Rhône au Moyen Âge et à l'époque moderne, d'imaginer des chalands plus larges, plus lourds et avec une capacité de chargement supérieure (Bonnard 1913, p. 63). Ainsi, à titre de comparaison, le chaland de Lyon, Parc Saint-Georges, *Ep. 4*, pour une longueur voisine de celle d'*Arles-Rhône 3* (28 m), présente une largeur plus importante (4,85 m) pour un poids de coque de 19 tonnes et une capacité de charge estimée à 55 tonnes (Guyon 2010, p. 94). Ce type de bateau se rapproche par conséquent davantage des «courtes» et des «savoyardes», soit des grosses barques de charge utilisées sur le Rhône au Moyen Âge et à l'époque moderne pour assurer les convois de marchandises sur de grandes distances (Rossiaud 2002b, p. 105-107, 321-323). La fonction du chaland lyonnais et son espace de navigation n'ont cependant pas pu être déterminés et il n'est pas possible d'aller plus loin dans le raisonnement engagé. Ajoutons, cependant, que Jacques Rossiaud, dans son chapitre consacré à l'univers nautique du Rhône au Moyen Âge, indique que le critère de finesse des bateaux permet «de tracer les lignes de partage entre navires courts – aux faibles qualités nautiques dans les eaux agitées – et navires longs<sup>34</sup> – de direction plus aisée mais de portée plus réduite» (Rossiaud 2007, p. 194). Cette deuxième assertion va dans l'hypothèse proposée d'un bateau long et léger s'inscrivant plutôt dans une section limitée du fleuve. Dans son *Dictionnaire du Rhône médiéval*, J. Rossiaud met également en évidence l'adaptation et l'évolution des formes de bateaux en relation avec une recherche de rentabilité. Il donne ainsi l'exemple de la grande «sapine» dont les formes vont évoluer en «courte» afin de s'adapter aux nouvelles conditions économiques et techniques du transport. La «courte», avec un rapport longueur/largeur de 1 pour 4 (20 m de longueur sur 5 m de large), offre ainsi, pour une même longueur, un chargement supérieur de 50 % à une «sapine» traditionnelle (dont le rapport au maître-couple oscille entre 6 et 7) (Rossiaud 2002b, p. 105-106).

28. J. Rossiaud précise d'ailleurs que la grande finesse du «naviol», qui se rapproche du coefficient de finesse d'*AR3*, lui donne l'allure «d'une immense pirogue apte à longer les rives, à pénétrer dans les brassières les plus étroites et à alléger le navire de charge» (Rossiaud 2002b, p. 239-241).

29. Au Moyen Âge, les carrières exploitées étaient également le plus souvent en relation avec les commodités offertes par le transport par voie d'eau qui permettait l'acheminement des pierres sur de assez courtes distances et, le plus souvent, de l'amont vers l'aval (la pierre de Seyssel et de Balme était ainsi acheminée à Lyon et à Vienne, les calcaires beaucairois étaient transportés vers Notre-Dame-de-la-Mer/Saintes-Maries-de-la-Mer et Aigues-Mortes) (Rossiaud 2007, p. 47 et 159).

30. Si la descente du fleuve, d'amont en aval (sous-entendu de Lyon à Beaucaire), durait, selon le temps et l'état du fleuve, entre trois et cinq jours (Eyrier 1996, p. 22), une journée, à peine, devait suffire pour descendre de Tarascon à Arles (J. Rossiaud (1978, p. 290) précise par ailleurs que Valence, à la décize, est à une journée des villes du Bas-Rhône). Après une escale au port d'Arles, une autre demi-journée devait être nécessaire pour descendre en Camargue si on considère cette région du delta du Rhône comme le lieu de destination du chaland *AR3*.

31. La durée de la remonte s'effectuait en fonction du régime du fleuve et de la charge du bateau. De même, le nombre des hommes était variable selon la quantité et le poids des «barques» tirées, l'état du Rhône, son cours plus ou moins tumultueux, selon les endroits, et le resserrement des rives et selon les saisons, la variation des eaux plus ou moins hautes (Eyrier 1996, p. 16). Selon B. Eyrier, la remonte du Rhône, d'aval en amont, prenait ainsi entre trente et quarante jours (Eyrier 1996, p. 14). J. Rossiaud indique quant à lui une vitesse de remonte, par halage humain, de Peccais (Aigues-Mortes) à Tarascon, de 12,5 km par jour, soit une durée de 3,5 jours (Rossiaud 2007, p. 218).

32. À titre de comparaison, si on applique le même rapport appliqué au chaland *AR3* d'un haleur pour 1,5 tonne de charge utile (Rossiaud 2007, p. 217), le chaland de Lyon, Parc St-Georges, *Ep. 4*, pour un déplacement maximum en pleine charge de 75 t (19 tonnes de coque et 55 tonnes de chargement), devait nécessiter près de cinquante haleurs.

33. La remontée du Rhône, entre Arles et Lyon, par halage humain est estimée entre trente et quarante jours. Le temps nécessaire mais aussi les difficultés de la remonte, qui nécessitaient de rassembler des moyens techniques et humains de grande ampleur, incitaient par conséquent aux gros tonnages et aux convois complexes. C'est en tous cas ce que nous montrent les documents du Moyen Âge et de l'époque moderne (Rossiaud 2002a, p. 347-356; 2007, p. 215).

34. J. Rossiaud précise que pour le Rhône, un bateau est long lorsque le quotient de finesse est supérieur à cinq (Rossiaud 2007, p. 194).

À l'inverse, les coefficients de finesse élevés sont réservés à des bateaux destinés à de multiples fonctions et ayant surtout pour avantage de passer partout. Pour reprendre l'exemple du «naviol», évoqué plus haut, ce bateau, à l'inverse des grosses barques de charge, remplissait par conséquent de multiples fonctions : ils pouvaient servir de chaloupes aux grandes «sapines», de bateaux affectés au service du port, de bateaux pour le transport de marchandises ou des hommes, ou encore pour le transport du poisson frais et les «naviols» formaient ainsi le gros des flottilles de la pêche fluviale (Rossiaud 2002b, p. 239-241).

Ces exemples nous offrent ainsi un éclairage sur le chaland *Arles-Rhône 3* qui s'apparente bien à ces bateaux longs, au profil de grandes pirogues, parfaitement adaptés à un espace de navigation à fort courant, mais dans lequel ils n'effectuent que des navigations courtes, assurant des transports variés ou remplissant de multiples fonctions.

En somme, la rentabilité du chaland *Arles-Rhône 3* serait liée à sa capacité de chargement moyenne qui lui permettait d'assurer des rotations rapides sur de courtes distances. C'est le même type de raisonnement que développent André Tchernia et Patrice Pomey à propos de l'étude d'un édit de Claude qui favorise, pour le milieu maritime, la flotte des petits et moyens tonnages (moins de 10 000 *modii*, soit 70 t de port en lourd) afin de faciliter l'approvisionnement de Rome en blé. Ils démontrent bien, dans ce contexte, que les petites et moyennes unités, plus faciles à mobiliser, se montrent en effet plus efficaces sur des trajets courts que des gros porteurs et permettent ainsi d'assurer de nombreuses rotations (Pomey, Tchernia 1978, p. 236-243 ; Marlier, Pomey 2008, p. 108).

Derrière cette question de rentabilité, c'est également la question de l'armement du chaland ainsi que celle de l'organisation de la navigation sur le fleuve qui se profile en filigrane.

## L'ARMEMENT DU CHALAND ET L'ORGANISATION DE LA NAVIGATION SUR LE FLEUVE

L'armement d'un bateau concerne la mise à disposition d'un équipage du matériel de navigation, du ravitaillement et de tout ce qui est nécessaire à sa navigation. Pour savoir comment s'organise, du point de vue socio-économique, l'armement des bateaux sur le Rhône et la navigation, c'est vers la documentation épigraphique, datée du I<sup>er</sup> au III<sup>e</sup> s. qu'il faut nous tourner (Christol, Fiches 1999, p. 152-154). L'étude, complexe, des inscriptions révèle que ce sont des corporations (associations professionnelles), organisées en collèges, qui sont chargées d'assurer la navigation en mer et sur les fleuves. À Arles, l'existence de deux corporations est clairement attestée par l'épigraphie. Une troisième corporation, non attestée à Arles, est également liée à la navigation sur le Rhône.

La première corporation, la plus riche et la plus importante, est celle des naviculaires maritimes (*navicularii marini*). Il s'agit de transporteurs qui assurent l'armement de navires pour des transports maritimes sur de grandes distances (Christol 2008, p. 184-186). Ils travaillent notamment pour le service de l'État pour lequel ils accomplissent des tâches d'intérêt public. Ils interviennent ainsi dans le ravitaillement de Rome (service de l'annonne) et on suppose qu'ils disposaient de comptoirs dans différents ports du bassin méditerranéen<sup>35</sup>. Ils ajoutent à cette activité, sollicitée par l'administration impériale, leurs propres opérations commerciales ou celles de négociants liés au grand commerce maritime (Christol, Fiches 1999, p. 152).

Les naviculaires arlésiens sont connus par l'épigraphie<sup>36</sup> (Virouvet 2004 ; Christol, Tran à paraître) mais aussi par l'iconographie puisque la mosaïque de la *statio 27* de la place des corporations à Ostie représenterait probablement le site du port d'Arles avec un Rhône à trois bouches et un pont de bateaux (Becatti 1961, p. 74-76, n° 108, pl. CLXXIV). L'étude de ces documents montre que les naviculaires marins d'Arles constituaient vraisemblablement une association puissamment organisée avec un rayonnement important dans la cité. Il semble par ailleurs probable que cette corporation ait disposé à Arles d'un siège (une *schola*) situé à proximité immédiate de leur lieu de travail, soit en bordure de fleuve (Gros 2009 ; Christol, Tran à paraître).

La seconde corporation, récemment révélée par les découvertes, dans les eaux du Rhône, d'une statue dédiée à Neptune et de la partie inférieure d'un autel – portant toutes deux des inscriptions – est celle des lénunculaires (*lenuncularii*) (Christol, Fruyt 2009 ; Christol, Tran à paraître). Connue à Ostie par des inscriptions et des textes littéraires, ce corps de métier regroupe de petits bateliers qui interviennent au niveau local pour assurer le transit sur de courtes distances ; ils assurent également les transbordements en servant d'allèges aux navires de haute mer qu'il fallait décharger de leurs marchandises pour les acheminer sur le fleuve<sup>37</sup> (De Salvo 1992, p. 147-160 ; Tran à paraître). Selon Joël Le Gall,

35. On sait qu'ils occupent au moins des locaux à Arles et à Ostie. Sur les relations entre les naviculaires d'Arles et les services de l'annonne à Ostie, voir l'inscription de Beyrouth qui se rapporte à un conflit qui les opposa, à la fin du II<sup>e</sup> ou au début du III<sup>e</sup> s., à l'administration impériale (Virouvet 2004).

36. Pour les inscriptions concernant les naviculaires d'Arles, cf. *CIL*, XII, 692 ; *CIL*, XII, 672 ; *CIL*, XII, 704 ; *CIL*, XII, 853 ; *ILGN* 00116 ; *CIL*, XII, 718 ; *CIL*, XII, 982.

37. Pour Ostie, Strabon évoque la nécessité des transbordements en mer jusqu'à la mise en place d'infrastructures portuaires adaptées. Ces transbordements étaient effectués par des bateliers locaux, les *lenuncularii*, qui tirent leurs noms de leurs embarcations : les *lenunculi* (Strabon, V, 3, 5).

le *lenunculus*, qui donne son nom à la corporation des lénunculaires, est une barque de mer de petite taille (Le Gall 1953, p. 222).

Sur le Rhône, dans la mesure où aucune autre corporation de lénunculaires n'est connue en dehors de la cité d'Arles, il est probable que le rayon d'action de cette corporation de bateliers se réduisait à Arles et aux relations avec ses avant-ports (Tran à paraître). Ces bateliers ne sont pas d'un niveau social élevé<sup>38</sup>, ce qui explique pourquoi *P. Petronius Asclepiades*, un bienfaiteur du corps des lénunculaires d'Arles, ait pris à sa charge d'offrir, en leur nom, une statue de Neptune (datée vers 160-180 ap. J.-C.)<sup>39</sup>.

La troisième corporation, enfin, concerne les nautes. Chargés d'assurer les transports sur les voies d'eau intérieures (fleuves, rivières et lacs)<sup>40</sup>, des inscriptions attestent de l'existence de nautes en Italie du Nord, en Europe Centrale et en Gaule (pour le Rhône, la Saône, la Durance, la Seine et la Loire). En ce qui concerne les nautes du Rhône, la plupart des personnages connus par l'épigraphie semblent être davantage des hommes d'affaire, des armateurs, que des bateliers embarqués. Leur espace d'intervention demeure plus difficile à cerner : intervenaient-ils sur tout le Rhône ou bien seulement en amont de Lyon ? Dans la mesure où une seule inscription de naute du Rhône a été retrouvée au sud de Lyon – dans les environs de Vienne (*CIL*, XII,1797) – et que toutes les autres l'ont été à Lyon ou au nord de Lyon, les deux hypothèses ont en effet été formulées. Mais si les nautes du Rhône n'ont à leur charge que la partie située entre Lyon et Seyssel, soit sur le Haut-Rhône, qui serait alors responsable de la partie en aval de Lyon ? Les naviculaires maritimes d'Arles auraient-ils pu assurer cette navigation sur cette section du fleuve ou bien, malgré l'absence de témoignages épigraphiques de la présence de cette corporation à Arles, les nautes du Rhône auraient-ils bien rempli cette fonction ? Même si nous ne disposons pas de mentions de nautes en aval de Vienne, sur le Rhône, les nautes sont toutefois attestés à Nîmes où des places leur étaient réservées dans l'amphithéâtre (*CIL*, XII, 3316-3317). En outre, le corps des nautes de la Durance avait vraisemblablement son siège à Arles : il n'est pas attesté ailleurs et deux de ses membres y sont morts (*CIL*, XII, 721, 731). Il est donc possible que ces bateliers naviguaient à la fois sur le Rhône et sur la Durance<sup>41</sup>.

En l'état, le dossier sur les corporations de naviculaires maritimes d'Arles, de lénunculaires et de nautes du Rhône ne nous apporte aucune information qui puisse être mise en relation directe avec le chaland *Arles-Rhône 3*<sup>42</sup>. Au regard de la fonction que semble revêtir chacune de ces corporations, il semblerait néanmoins cohérent, si on procède par élimination, de ne pas associer le chaland aux naviculaires marins, chargés d'assurer un commerce maritime au long cours, de ne pas l'associer non plus aux lénunculaires, chargés d'intervenir au niveau d'Arles et de ses avant-ports, notamment pour des actions de transbordement. Reste donc les nautes du Rhône. Il demeure néanmoins que nous n'avons, pour Arles, aucun témoignage sur cette corporation. La question de la gestion de ce chaland, sur la section inférieure du Rhône, reste donc entière. Quelle que soit la réponse, une dernière question reste à poser ; elle porte sur le commanditaire des navigations du chaland.

## LA QUESTION DU COMMANDITAIRE ET DES MARCHANDISES TRANSPORTÉES EN NAVIGATION MONTANTE

Contrairement au monde maritime pour lequel nous avons une assez bonne connaissance de la façon dont s'organisaient, du point de vue socio-économique, les relations entre armateurs, affréteurs et commanditaires, l'organisation de la navigation en milieu fluvial demeure plus floue. On peut néanmoins imaginer que, comme sur le modèle égyptien pour la navigation nilotique, les artisans du fleuve intervenaient dans le cadre de contrats (Arnaud à paraître).

Dans le cas du chaland *Arles-Rhône 3*, la dernière question est donc de savoir avec qui étaient établis les contrats d'affrètements : un commanditaire public ou un commanditaire privé ? Si aucune réponse claire ne peut être apportée à cette interrogation, deux pistes peuvent néanmoins être envisagées.

La première est celle qui considère la navigation du chaland *Arles-Rhône 3* dans le cadre d'une « mission de service public ». Le commanditaire des navigations pourrait ainsi être la cité d'Arles, dans la perspective d'un approvisionnement de la ville en pierres de carrière destinées soit à l'aménagement des berges soit à des monuments publics<sup>43</sup>.

La seconde piste nous oriente vers des commanditaires relevant de la sphère privée. L'hypothèse de propriétaires arlésiens, pour la construction de *domus* dans le quartier proche de Trinquetaille<sup>44</sup>, ou de propriétaires terriens, si on envisage que le bateau était à destination de la Camargue, est également envisageable. Ce bateau aurait ainsi pu servir à descendre les pierres destinées à la construction et l'aménagement de *domus*, dans le

38. Dans la hiérarchie sociale que constituaient les métiers liés au port, M. Christol et N. Tran estiment que le prestige individuel des lénunculaires et celui de leur corporation devaient être bien inférieurs à celui des naviculaires et sans doute aussi à celui des *fabri navales* (charpentiers de marine) et des *fabri tignuarii* (charpentiers) (Christol, Tran à paraître).

39. La dédicace, inscrite sur la plinthe de la statue et qui fait mention de la corporation des *renunclarii* (pour *lenuncularii*), date probablement d'une période comprise entre 198 et 211 (Christol, Tran à paraître).

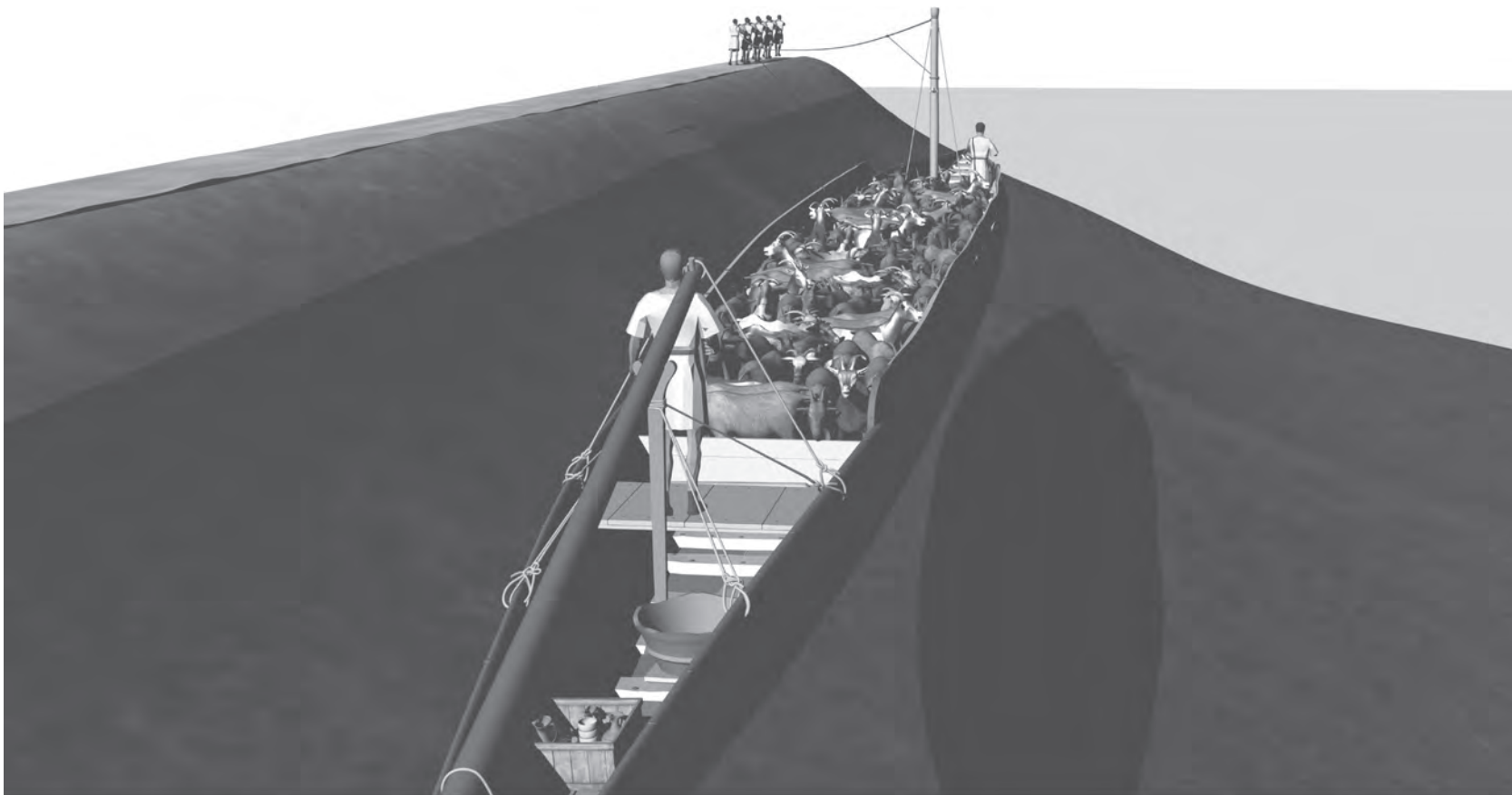
40. Il semble également avéré, qu'en plus du transport par voie fluviale, les nautes s'occupaient aussi du transport terrestre, notamment pour assurer le portage entre deux bassins nautiques, comme entre la Saône et la Loire, par exemple (De Izarra 1993, p. 183).

41. Tous mes remerciements à C. Rousse, maître de conférences à Aix-Marseille Université, H. Rougier, doctorante au CCJ/Aix-Marseille Université, ainsi qu'à N. Tran pour leur éclairage sur la question des nautes du Rhône.

42. Une dernière corporation, qui n'est mentionnée que dans des inscriptions découvertes dans le sud-est de la Gaule, et qui n'est délibérément pas présentée dans le texte, est celle des utriculaires (pour les inscriptions concernant les utriculaires d'Arles : *CIL*, XII, 731 ; XII, 700 ; XII, 729 ; XII, 733 ; XII, 4107). En effet, deux hypothèses s'opposent quant à l'interprétation à donner à cette corporation liée au transport de denrées. La première va dans le sens d'un transport nautique en attribuant aux utriculaires l'utilisation d'embarcations munies de flotteurs constitués par des outres gonflées d'air qui leur permettaient, grâce à leur faible tirant d'eau, de naviguer sur des rivières de peu de profondeur ou sur les étangs ; les utriculaires seraient ainsi intervenus pour transporter les charges chaque fois que le seuil de navigabilité ne permettait plus le passage d'embarcation à coque (De Izarra 1993, p. 185-189). La seconde interprète les utriculaires comme une corporation de muletiers destinée au transport des liquides dans des outres chargées sur des bêtes de somme ou des charrettes. C'est cette seconde hypothèse, motivée notamment par le fait que les corporations d'utriculaires sont toujours rattachées à une ville et non à un cours d'eau, qui est actuellement privilégiée (Verdin 2005). Cette dernière hypothèse semble, en effet, la plus vraisemblable et c'est pourquoi cette corporation de transporteurs ne fait ici l'objet que d'une note.

43. Le seul aménagement de berge présumé, et découvert jusqu'à présent à Arles pour l'Antiquité, est un aménagement constitué d'amphores gauloises situé en rive droite du Rhône, au niveau des anciennes papeteries Étienne (*AR1*) (Long 2009a, p. 40). Pour la construction de monuments publics, les pierres auraient alors été utilisées comme éléments de blocage.

44. Concernant les *domus* fouillées dans le quartier de Trinquetaille, aucune recherche n'a été effectuée sur la provenance des pierres utilisées pour la construction de ces maisons. La réouverture de la fouille du site de la Verrerie comprenant un quartier de *domus* datées entre le I<sup>er</sup> s. av. J.-C. et le III<sup>e</sup> s. ap. J.-C., en 2013 sous la direction de M.-P. Rothé (MdAa) témoignerait cependant de l'utilisation d'un grand nombre de pierres issues des carrières de St-Gabriel (identification visuelle O. Badan, analyses en cours Ph. Bromblet).



**Fig. 333 :** Modèle 3D du chaland restitué avec un transport de chèvres, à la remonte, par halage.

premier cas, ou à la construction de *villae* ou l'aménagement de domaines agricoles (*supra*, p. 258) dans le second cas. Les recherches archéologiques, conduites en Camargue (Landuré, Martin, Pasqualini 2004), ont en effet permis de mettre en évidence une nette augmentation du nombre des établissements, installés le long des bras du Rhône, surtout dans la partie septentrionale du delta, durant les deux premiers siècles de notre ère.

Dans un cas comme dans l'autre, l'apport de pierres était nécessaire à l'alimentation de ces chantiers de construction.

Dans l'hypothèse d'un transport à destination de la Camargue, on est tenté de penser que, une fois son chargement pondéreux déchargé, le chaland ne devait pas remonter vide. Les cargaisons possibles sont sans aucun doute à mettre en relation avec les produits issus de l'exploitation agricole (des céréales ? des ballots de laine ? des animaux, chèvres et/ou moutons ?), à laquelle les pierres de chargement étaient destinées, ou des ressources naturelles du milieu (du sel ?). Bien qu'aucun témoignage écrit et très peu de vestiges archéologiques ne renseignent sur d'éventuelles activités agraires en Camargue dans l'Antiquité, cette dynamique de construction est sans doute liée à l'exploitation des terres agricoles situées aux abords de la colonie d'Arles (Landuré, Pasqualini 2008, p. 236-237). La Camargue étant un milieu propice au pastoralisme, l'élevage a aussi sans doute fait partie des activités développées sur son territoire<sup>45</sup>. Pour Philippe Leveau, également, bien que seules deux installations de salaison soient connues en Camargue pour l'Antiquité<sup>46</sup>, l'exploitation du sel dans cette région à l'époque romaine est une évidence (Landuré, Pasqualini 2008, p. 238).

À terre, le démontage du fond du caisson et le nettoyage des structures primaires sous-jacentes n'ont pas permis de mettre en évidence des restes ou des indices d'un autre type de cargaison transportée que celle des pierres. En revanche, les études polliniques d'échantillons de poix prélevés dans la partie centrale du chaland, sous la zone du caisson, mettent en évidence des restes de spores de champignons coprophiles qui pourraient attester d'un transport d'herbivores dans le bateau (*supra*, p. 135) (fig. 333). Bien qu'il s'agisse, selon Valérie Andrieu-Ponel, d'une hypothèse, il est intéressant de noter que la présence de ces champignons coprophiles ne se retrouvent pas sur les échantillons de poix prélevés sur

45. Quelques sites livrent ainsi des restes osseux d'animaux qui suggèrent un élevage d'ovicaprin mais aussi de bovins. La question de l'élevage de moutons, qui a eu une grande importance en Camargue jusqu'à une époque récente, se pose également (Landuré, Pasqualini 2008, p. 238).

46. La première installation est une usine de salaison à poisson ; située à Notre-Dame-d'Amour, elle est datée du Haut-Empire (Benoit 1964, p. 588-589). La seconde est mise en place vers le milieu du <sup>v</sup> s., sur la berge du Rhône fossile de St-Ferréol, à l'ouest de l'étang de Vaccarès. Il s'agit de bassins qui servaient à produire des salaisons de poisson ou du *garum* (Martin 1997, p. 51-52).

l'avant et l'arrière du chaland, soit en dehors de la zone de chargement. Cette information est aussi à rapprocher des données livrées par les études carpologiques conduites sur le dépotoir portuaire du site *Arles-Rhône 3* qui mettent en évidence des restes de déjections animales, de moutons ou chèvres (69 restes de coprolithes très peu érodés), qui témoignent d'une forte activité sur les berges du Rhône avec la présence de ces animaux en contexte urbain (Tillier 2013, p. 56). Ainsi, la mise en évidence d'activités de boucherie (*supra*, p. 64) dans ce même environnement pourrait être mise en relation avec une importation de ces animaux directement par la voie fluviale.

## CONCLUSION

En conclusion, si la forme du chaland *Arles-Rhône 3* semble répondre parfaitement aux exigences d'une navigation à fort courant telle que celle rencontrée en amont d'Arles, sa capacité de chargement limitée tend à l'inscrire dans un circuit économique local, à l'image de ce que nous révèle son dernier voyage. Naviguant sur une courte section du fleuve (40 km maximum entre Tarascon et le point le plus au sud de la Camargue), on imagine ainsi un chaland assurant des rotations régulières pour le transport de marchandises : matériaux de construction – ou tout type de matériaux pondéreux – à la descente, comme l'atteste son dernier voyage, et un chargement plus léger à la remonte comme des animaux (chèvres et/ou moutons) ou encore des céréales, des ballots de laine et du sel.

En résumé, *Arles-Rhône 3* serait finalement un bateau de construction locale inscrit dans une économie locale qui pouvait sans doute remplir, notamment avec son caisson amovible, de multiples fonctions liées au transport. Néanmoins, seule la découverte et la fouille d'un chaland aux caractéristiques similaires, dans la section inférieure du Rhône, et notamment à Arles, pourrait venir confirmer ce qui ne peut être, en l'état actuel de nos recherches sur la batellerie du Rhône à l'époque romaine, qu'une hypothèse<sup>47</sup>.

Au-delà des problématiques soulevées par le chaland *Arles-Rhône 3* et des hypothèses avancées, l'étude de cette épave pose finalement la question plus globale de l'économie des transports par eau sur le Rhône à l'époque romaine. Ainsi, pour le transport des matériaux et autres marchandises sur le fleuve, si on peut imaginer une noria de bateaux, et notamment de chalands, à la descente comme à la remonte, sur des sections plus ou moins courtes du fleuve en fonction des intérêts économiques et des caractéristiques architecturales de ces bateaux, et selon des rythmes imposés par le fleuve, il reste encore tout à écrire sur le sujet<sup>48</sup>.

---

47. La découverte de l'épave *AR5*, qui correspond à un chaland de même type architectural qu'*AR3*, aurait pu nous apporter des réponses. L'expertise conduite en septembre 2010 sur l'épave a néanmoins révélé qu'une des extrémités de l'épave avait été arrachée. Il s'agissait en outre d'un bateau sans doute abandonné en raison de sa vétusté (nombreuses réparations et absence de chargement ou de mobilier de bord) (Marlier 2011a).

48. Ce chapitre complexe, sur l'espace de navigation, a bénéficié de conseils avisés de la part de Ph. Rigaud, et de relectures attentives et critiques de P. Pomey. Qu'ils en soient tous deux chaleureusement remerciés.



# CHAPITRE 9. LE CHALAND *ARLES-RHÔNE 3* DANS LA BATELLERIE GALLO-ROMAINE : ÉTUDE TYPOLOGIQUE ET INTERPRÉTATION HISTORIQUE

Éric RIETH

## EN GUISE D'INTRODUCTION

«... l'étude du bateau et des techniques nautiques constitue la meilleure voie d'accès à l'homme de l'eau ; nous nous efforçons pour cela de mettre en évidence la façon dont le bateau est déterminé dans ses formes, sa structure, ses dimensions, son existence même par un grand nombre de facteurs géographiques, historiques, techno-économiques, comme l'homme lui-même mais de façon visible et durable. À l'inverse, nous essaierons de montrer de quelle façon... [le bateau] peut témoigner de l'action de ces multiples facteurs et constituer un document de grande valeur pour l'ethnologue » (Beaudouin 1970a, p. 1).

Cette définition du bateau comme objet d'histoire du temps présent propre à l'ethnologie peut s'appliquer, sans nul changement, au bateau comme objet d'histoire ancienne particulier à l'archéologie. Entre le bateau contemporain de Berck (Pas-de-Calais), petite unité de pêche côtière à propulsion mixte (voile et aviron), et le grand chaland fluvial gallo-romain *Arles-Rhône 3*, il existe à l'évidence de nombreuses différences de période, d'échelle, de forme, de structure, de fonction, d'espace nautique, de contexte techno-économique... Mais au-delà de ces différences, la finalité du questionnement historique demeure similaire : tenter de comprendre et de restituer l'histoire d'un bateau tout à la fois « acteur et témoin d'histoire », pour reprendre une belle formule de François Beaudouin<sup>1</sup>, celle d'un chaland fluvial de 31 m de long à architecture monoxyle-assemblée, daté des années 50 ap. J.-C. et naviguant sur le Bas-Rhône en amont et en aval de la cité portuaire d'Arles.

1. Titre d'une communication de F. Beaudouin au séminaire (2011-2012) de l'université de Paris 1 (UFR 03) dirigé par É. Rieth : « Archéologie nautique médiévale et moderne. Moyens de transport par eau, aménagements de l'espace littoral et du milieu fluvial ».

2. Dans le contexte du bassin hydrographique « Rhône-Saône », l'expression de tradition architecturale « gallo-romaine » apparaît la plus juste au plan historique.

3. Ce concept est pour une part issu de ceux de « *cultural maritime landscape* » et de « *traditional zones of transport geography in relation to ship types* » définis par Ch. Westerdahl (1992, p. 5-14 ; 1995, p. 213-230). Pour une autre part, il provient du concept de « cartographie nautique atlantique et méditerranéenne » défini par F. Beaudouin (1994).

4. Un aspect particulièrement important à prendre en compte est celui des niveaux de navigabilité de la voie d'eau qui, selon les secteurs considérés mais aussi suivant les cycles de hautes et de basses eaux et les accidents hydrologiques (crues, étiages) peuvent grandement varier. Sur cette question, voir Serna 1996. En outre, se greffe à ce problème de variabilité des niveaux de navigabilité au sein d'une même voie d'eau celui de l'évolution sur le temps long des caractéristiques hydrologiques et, plus largement, de celles du paysage fluvial (lits mineur et majeur). À cet égard, l'apport des études paléo-environnementales est déterminant.

## RETOUR SUR LA TRADITION « RHÔNE-SAÔNE »

Il importe, tout d'abord, de rappeler en quelques mots le cadre général d'identification de cette tradition régionale d'architecture navale fluviale « sur sole » dite « Rhône-Saône » (Rieth (dir.) 2010 ; Guyon, Rieth 2011) au sein de la tradition architecturale « romano-celtique », encore qualifiée de « gallo-romaine »<sup>2</sup> ou de « continentale » par opposition, pour cette dernière dénomination, au milieu maritime. Venant s'ajouter aux traditions architecturales particulières aux bassins hydrographiques « Rhénan » (ou « Sub-Rhénan ») « Alpin » et « Atlantique », elle est le résultat, en premier lieu, d'une évolution des problématiques archéologiques en relation, notamment, avec l'élaboration de divers concepts historiques dont celui, central, « d'espace nautique »<sup>3</sup> en tant que milieu géo-historique correspondant à un environnement aquatique, ici fluvial<sup>4</sup>, possédant des caractéristiques hydrologiques particulières et à un contexte historique (d'ordre technique, économique, social) déterminé. Dans cette perspective, le spectre de lecture archéologique de chaque épave se trouve ainsi notablement élargi.

En deuxième lieu, l'identification de cette tradition régionale « Rhône-Saône » résulte d'une augmentation, au cours de la dernière décennie, des découvertes d'épaves de bateaux fluviaux en France (dix-huit épaves pour le seul site archéologique portuaire des bords de Saône du Parc Saint-Georges à Lyon dont six épaves de chalands

gallo-romains datées du I<sup>er</sup> au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) conduisant à un enrichissement et à un renouvellement exceptionnels des sources archéologiques. Avec les épaves de la place Tolozan à Lyon, du pont antique de Chalon-sur-Saône<sup>5</sup> et d'*Arles-Rhône 3*, ce sont au total neuf épaves de chalands datées du I<sup>er</sup> au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C. qui ont été fouillées au sein du bassin « Rhône-Saône ». Seul le bassin rhénan possède un nombre d'épaves antiques de chalands fluviaux aussi important.

En troisième lieu, enfin, l'identification de cette tradition architecturale prenant appui sur la mise en évidence de « signatures architecturales » de dimension régionale est liée à une évolution profonde des méthodes de fouille<sup>6</sup>, d'enregistrement des données de terrain (en contexte terrestre comme pour les épaves du Parc Saint-Georges ou subaquatique comme pour l'épave *Arles-Rhône 3*) et d'analyse post-fouille<sup>7</sup> qui concourt à la mise en évidence de nouvelles données portant aussi bien sur l'architecture navale (la structure, la forme mais également les capacités nautiques des bateaux), l'approvisionnement en bois d'œuvre des chantiers (la nature et la qualité des matériaux mais aussi l'évaluation de l'investissement financier) que les capacités de charge (en relation avec la caractérisation d'une économie régionale des transports par eau).

Considérons dans un premier temps le cadre général de cette tradition.

Elle est attestée dès le I<sup>er</sup> s. ap. J.-C. en relation avec des bateaux à coque monoxyle-assemblée (épaves de la place Tolozan à Lyon datée des années 30 ap. J.-C. (Becker, Rieth 1995 ; Rieth 1999 et 2011), du pont antique de Chalon-sur-Saône datés des années 50-70 ap. J.-C. (Lonchambon, Bonnamour 2009 ; Lonchambon 2011) et, bien évidemment d'*Arles-Rhône 3* datée du début des années 50 ap. J.-C.). À ces épaves s'ajoutent celles du Parc Saint-Georges à Lyon datées du I<sup>er</sup> au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C. (Rieth (dir.) 2010) ainsi que l'épave *Arles-Rhône 5*, découverte à environ 500 m de celle d'*Arles-Rhône 3*, mais qui n'a fait l'objet, jusqu'à présent, que d'une opération de sondage en 2010 sous la direction de Sabrina Marlier (Marlier 2011a). Elle est pour le moment datée, par une analyse au radio-carbone, entre 51 av. J.-C. et 135 ap. J.-C.

Cet ensemble important d'épaves relevant d'une architecture « polyxyle »<sup>8</sup> ou « monoxyle-assemblée » se caractérise par le recours à des pièces de charpente relevant majoritairement d'une technique monoxyle (façonnage par évidements et enlèvements de matière ligneuse selon une technique soustractive comparable à celle de la sculpture) dont l'élément le plus important, et emblématique, est le bordé ou bouchain « monoxyle de transition » sculpté en forme de L ou courbe en forme de C, et assurant la liaison entre la sole et le flanc. Il est clair que la fonction du bordé monoxyle de transition est non seulement structurale, en contribuant d'une façon essentielle à la résistance et à la rigidité longitudinale de la sole, mais aussi conceptuelle en participant d'une manière notable à la détermination de la géométrie générale des formes de la coque. L'architecture monoxyle-assemblée implique, par ailleurs, deux innovations techniques : celles de l'assemblage d'éléments architecturaux appartenant aux œuvres-vives de la coque (sole, bordés) d'une part, et de l'étanchéité des joints des pièces assemblées d'autre part.

Cette même tradition « Rhône-Saône » est également attestée, dès le I<sup>er</sup> s. ap. J.-C. (épave Parc Saint-Georges *Ep. 8* dont la construction est datée des années 55 ap. J.-C.) (Guyon 2010) en relation avec une architecture « sur sole » de « construction composite »<sup>9</sup> ou intégralement assemblée, c'est-à-dire constituée d'éléments architecturaux primaires<sup>10</sup> (sole, bordés, membrures) diversifiés du point de vue de leur forme, de leur structure et de leur fonction, découpés (sciés ou fendus), assemblés entre eux (clous ou gournables) et dont les coutures sont étanchéifiées. L'une des caractéristiques les plus sensibles du point de vue architectural (au niveau de l'assemblage, de la solidité, de la rigidité et de l'étanchéité) est le bouchain formé par l'assemblage entre le can latéral de la sole et le can inférieur du « bord » (le galbord de la construction maritime) du flanc. Dans cette nouvelle architecture du bouchain, les courbes, comme éléments de la charpente transversale, assurent désormais une fonction structurale importante.

Deux points très importants pour l'interprétation historique de cette tradition régionale et, entre autres aspects, pour la discussion de la notion de progrès<sup>11</sup> ou de choix techniques en fonction de critères environnementaux et économiques notamment, sont à souligner. On constate tout d'abord que cette tradition s'insère dans un contexte architectural où coexistent, dès le I<sup>er</sup> s. ap. J.-C., deux types différents d'architecture « sur sole », l'un intégralement assemblé et l'autre monoxyle-assemblé, chaque type impliquant au niveau de la conception et de la construction du bateau des choix techniques spécifiques<sup>12</sup>. On observe ensuite qu'il existe au sein même de l'architecture monoxyle-assemblée des variations notables au niveau de l'élément architectural de base : le bordé monoxyle de transition. Celui-ci peut être, en effet, pleinement développé (épave de Tolozan avec une hauteur externe maximum de 47 cm) ou, à l'inverse, très réduit (épave *Arles-Rhône 3* par exemple avec une hauteur externe de 9 à 12 cm) avec, en toute vraisemblance, des conséquences sur le processus constructif au niveau, principalement, de l'assemblage de la virure

5. Deux épaves antiques ont, en fait, été fouillées en rive gauche de la pile n° 3 du pont antique : celle d'un chaland monoxyle-assemblé construit « sur sole » et celle d'une grande pirogue monoxyle à fargues et extrémités rapportées et assemblées à la base monoxyle.

6. Les nouvelles problématiques de l'archéologie des eaux intérieures ont conduit à fouiller les vestiges architecturaux dans le contexte stratigraphique du site fluvial dans lequel ils s'insèrent. Il est bien certain que dans le cadre d'une fouille subaquatique, la conservation, l'identification et le relevé des profils stratigraphiques ne sont pas toujours faciles à réaliser mais sont cependant possibles en faisant appel à des méthodes appropriées à la nature de chaque site. Ce fut le cas lors de la fouille de l'épave *AR3*. Cette prise en compte de l'environnement stratigraphique est fondamentale pour restituer les conditions de dépôt de l'épave - par abandon, naufrage... - ainsi que pour évaluer la durée de vie du bateau dont la date de construction est fournie en règle générale (sur la base de l'utilisation de bois vert) par les analyses dendrochronologiques. S'agissant de cette question de durée de vie des bateaux rarement abordée et d'interprétation délicate, la fouille des épaves du Parc St-Georges a fourni des données qui, pour les épaves gallo-romaines, semblaient dénoter une grande diversité allant de quelques années d'utilisation (épave Parc St-Georges *Ep. 7* avec une construction dans les années 254-260 ap. J.-C. et un abandon dans la deuxième moitié du III<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) à une cinquantaine d'années (épave Lyon Parc St-Georges *Ep. 5* avec une construction autour de 150 ap. J.-C. et un abandon au début du III<sup>e</sup> s. ap. J.-C.).

7. Le recours aux outils informatiques (CAO et DAO) pour la restitution architecturale (forme, structure, grément...) des épaves et la mesure des caractéristiques techniques (hydrostatiques spécialement) a notablement contribué, au cours de ces dernières années, à enrichir notre connaissance de l'histoire de l'architecture navale antique. La détermination des caractéristiques hydrostatiques en termes de poids de la coque légère et en charge, de port, de tirant d'eau, de stabilité... se traduit par l'établissement d'une série de données quantifiées précisément et par la possibilité de comparer, sur des bases analogues, les données provenant de plusieurs épaves. Bien entendu, ces données chiffrées n'ont de sens que situées dans le cadre d'une analyse et d'une interprétation historique. Une remarquable démonstration de l'apport de cette « écriture informatique » au service de l'archéologie navale est fournie par la thèse de P. Poveda soutenue en décembre 2012 (Aix-Marseille Université) et intitulée « Le navire antique comme instrument de commerce maritime : reconstitutions 3D, qualités nautiques et calculs hydrostatiques des épaves : *Napoli A, Napoli C, Dramont E et Jules-Verne 7* ». Cf. aussi dans ce volume, la contribution de N. Ranchin sur la méthodologie pour le relevé 3D (p. 55-56) et le travail de P. Poveda sur la restitution des formes et les études hydrostatiques (p. 222-231). Cf. aussi Ranchin 2012 et Marlier, Poveda, Ranchin à paraître.

8. Selon le qualificatif de F. Beaudouin (2004, p. 11).

9. Selon le qualificatif de F. Beaudouin (2004, p. 6).

10. C'est-à-dire constitutifs de la structure de base de la coque et déterminante du point de vue de la structure de la coque.

11. Il s'agit d'une notion difficile à définir et toute relative. Dans le cas des trois architectures fluviales, monoxyle, monoxyle-assemblée et assemblée, cette notion de progrès pourrait ainsi se mesurer en termes de gestion de la matière première (pourcentage de pertes entre la matière brute et ouvragée) et de possibilités de variation des caractéristiques dimensionnelles, morphologiques et structurales des coques. Mais ces différents progrès techniques sont

inférieure du bordé à la partie verticale du bordé monoxyle de transition et, sans doute aussi, sur la structure latérale de la sole<sup>13</sup>.

Examinons dans un deuxième temps les caractéristiques les plus significatives de l'architecture navale fluviale de tradition « Rhône-Saône ».

Trois caractéristiques principales renvoient à des influences techniques d'origine méditerranéenne et maritime. La première concerne le recours systématique pour l'étanchéité des joints entre les pièces assemblées de tissus poissés disposés selon la technique du lutage, c'est-à-dire insérés au cours de l'assemblage, et d'enduit à base de poix recouvrant les faces interne et externe des bordés notamment. Il s'agit là d'une caractéristique commune à l'ensemble des épaves. La deuxième caractéristique est représentée par le pré-assemblage, attesté sur quelques épaves seulement (Tolozan, Chalon-sur-Saône et Lyon Parc Saint-Georges *Ep. 8*) des virures de la sole au moyen d'un réseau de tenons (non chevillés) enfoncés dans des mortaises. La troisième caractéristique, enfin, attestée sur seulement deux épaves (Lyon Parc Saint-Georges *Ep. 2* et *Ep. 4*), porte sur l'usage de bandes de plomb<sup>14</sup> clouées et recouvrant intérieurement les coutures de la sole et des flancs à la façon des « palâtres » (planchettes fines d'étanchéité)<sup>15</sup> de la construction navale fluviale. Le recours à des plaques de plomb pour assurer des réparations est en effet attesté dans la construction navale maritime méditerranéenne. Ainsi en est-il des épaves de Pakoštane, en Croatie (Boetto *et al.* 2012, p. 123-127), *Port-Vendres 1* (Liou 1974, p. 417), *Yassi Ada 2* (Van Doorninck 1976, p. 128-129) et *Porticcio* (Alfonsi 2010). À cette technique de réparations s'ajoute celle, attestée jusqu'au I<sup>er</sup> s. ap. J.-C., du doublage de l'ensemble de la carène à des fins de protection contre les tarets et les « salissures ».

À ces caractéristiques partagées avec la construction navale maritime antique s'ajoute une quatrième caractéristique renvoyant à une tradition architecturale spécifiquement fluviale et représentant une sorte de « mémoire » de l'architecture monoxyle dans le sens, en particulier, où la « géométrie construite » de la pièce est très proche de la « géométrie naturelle » de la grume : l'emploi de demi-troncs de résineux pour la réalisation des flancs des chalands à structure monoxyle-assemblée. Notons, par ailleurs, que ces demi-troncs qui s'étendent sur une grande partie de la coque pourraient, au-delà de leur fonction proprement architecturale de rigidité et de renfort longitudinal, représenter également une sorte de « signature visuelle » de cette tradition architecturale « Rhône-Saône ». C'est ainsi que la silhouette d'un des chalands à coque monoxyle-assemblée et bordés de flanc en demi-tronc du Parc Saint-Georges ou des chalands *Arles-Rhône 3* et *Arles-Rhône 5* ne semble pas pouvoir se confondre avec la silhouette d'un chaland de tradition « Rhénane » du type Zwammerdam dont les bordages élevés au-dessus du bordé monoxyle de transition étaient disposés à clin. Au-delà de leur fonction première architecturale, les bordés de flanc en demi-tronc auraient donc aussi une valeur culturelle.

## LE CHALAND ARLES-RHÔNE 3 ET LA TRADITION « RHÔNE-SAÔNE »

Une des trois signatures architecturales d'origine maritime et méditerranéenne est présente dans l'épave *Arles-Rhône 3* : l'étanchéité au moyen de tissus poissés disposés en lutage dans les coutures et l'enduit de poix recouvrant les faces interne et externe des bordés, les courbes, les tasseaux... La signature architecturale d'origine fluviale et continentale, quant à elle, est remarquablement attestée avec des flancs constitués de demi-troncs de sapin dont l'un, à tribord, mesure 26 m de long et l'autre, à bâbord, est conservé sur une longueur de 18,50 m. Il faut souligner une caractéristique particulière de ces bordés de flanc en demi-tronc : l'épaisseur des demi-troncs utilisés dans l'épave *Arles-Rhône 3* est, à longueur de coque comparable, nettement plus réduite que dans le cas des épaves des chalands monoxyles-assemblés de Lyon (20 cm d'épaisseur pour *Arles-Rhône 3* et près de 40 cm pour l'épave de comparaison Lyon Parc Saint-Georges *Ep. 4*). Cette différence d'épaisseur, et donc de poids des bordés, pourrait correspondre à deux choix de construction : construction « légère » dans le cas du chaland *Arles-Rhône 3* et « lourde » dans celui des chalands à coque monoxyle-assemblée de Lyon.

À ces caractéristiques communes des bateaux de tradition « Rhône-Saône » se greffent des caractéristiques originales constituant autant de signatures architecturales propres à l'épave *Arles-Rhône 3* et qualifiables de « signatures architecturales de chantier ». La plus remarquable, sur le plan structural, porte sur la nature mixte des bouchains à savoir des bordés monoxyles de transition (BM1 et BM2) pour le « corps » de la coque<sup>16</sup>, des bouchains composés et assemblés pour la levée arrière (BV1 et BV2), et des bouchains mixtes, composés et assemblés, associés à des bordés monoxyles de transition (BM3 et BM4), pour la levée avant. Une caractéristique des bouchains composés est à souligner : la variété

à resituer dans un cadre historique large en rapport, notamment, avec le contexte économique et social auxquels se rattachent les exemples considérés. Le cas de l'architecture monoxyle est particulièrement révélateur de cette complexité à définir la notion de progrès. Une pirogue monoxyle, dans un environnement technique où l'architecture monoxyle-assemblée et intégralement assemblée est pratiquée, ne relève pas nécessairement d'une architecture « primitive » ou « première » qui serait porteuse d'un moindre niveau de savoir et de savoir-faire. L'architecture monoxyle de la pirogue peut très bien correspondre à un choix technique clairement énoncé et répondant à des nécessités fonctionnelles particulières et à un espace nautique déterminé.

12. Il est à noter que l'existence parallèle, au sein d'un même bassin fluvial, de bateaux construits « sur sole » et relevant d'architecture monoxyle-assemblée et d'architecture intégralement assemblée, demeure assez rare dans le contexte antique. En revanche, il n'est pas exceptionnel à l'époque contemporaine. L'un des cas les mieux documentés est celui du bassin de l'Adour aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> s. (Beaudouin 1970b). Toutefois il importe d'être prudent en ce qui concerne le cas de l'Antiquité dont la documentation, de nature essentiellement archéologique, ne possède pas le même degré de représentativité que la documentation ethnographique d'époque contemporaine.

13. Il semble logique, en effet, que le rôle structural du bordé monoxyle de transition, assimilable à celui d'une poutre-cornière, soit directement proportionnel à ses dimensions et, en particulier ici, à celles de sa partie verticale. En revanche, sa fonction de « guide » ou de « gabarit longitudinal » dans la conception géométrique de la coque apparaît inchangée.

14. Les bandes de plomb recouvrant certaines coutures des bordages de la levée avant de l'épave Lyon Parc St-Georges *Ep. 4* mesurent plus de 1 m de long et de 15 à 20 cm de large. Dans l'épave Lyon Parc St-Georges *Ep. 2*, l'une des « palâtres » de plomb mesure plus de 1,40 m sur près de 30 cm de large.

15. Merci à B. Arnold de nous avoir suggéré que le procédé du palâtrage de tradition fluviale pourrait trouver son origine dans les lattes de recouvrement et de compression des cordons à base de mousse disposés dans les coutures des bordages des chalands gallo-romains de tradition « Alpine » comme celui de Bevaix, voire même dans les lattes recouvrant intérieurement les joints des bordages des bateaux de l'âge du Bronze de North Ferriby ou de Douvres.

16. En fait, de la membrure M130 sur l'avant aux membrures M97-M98 sur l'arrière, c'est-à-dire légèrement au-delà de la stricte limite du corps de la coque.

des assemblages liant ces bouchains aux bordés monoxyles de transition (écart franc, écart à mi-bois, écart en sifflet, écart à empanchement...).

Cette mixité de structure apparaît révélatrice, de la part des charpentiers de marine ayant construit le chaland, d'une parfaite connaissance et maîtrise des deux techniques de construction monoxyle-assemblée et intégralement assemblée<sup>17</sup>. L'une des questions qui se pose dès lors est celle des raisons de cet emploi des deux techniques qui ne semblerait pas devoir s'exprimer en termes d'archaïsme, de progrès, de complexité de l'une par rapport à l'autre mais bien plutôt de choix ou de contrainte. S'agit-il, en effet, de la conséquence d'un problème d'approvisionnement en bois lié au relèvement et à la longueur des levées et, en particulier, de celle de l'avant<sup>18</sup>? S'agit-il d'un choix technique pour résoudre pratiquement une difficulté de construction, tout spécialement au niveau de la zone de transition entre la sole et le départ des levées? L'un des rares exemples de comparaison, mais beaucoup plus tardif, est fourni par l'épave du chaland lacustre à voile construit « sur sole » de Kippenhorn (Allemagne), datée du deuxième quart du XIV<sup>e</sup> s. (Hakelberg 2003, p. 77 et 92). La coque, longue de 20 m, possède une levée avant de 7,35 m de long dont la structure est mixte, associant à l'extrémité des bordés monoxyles de transition du corps de la coque des bouchains composés au niveau de la levée. Il est vraisemblable que la longueur et le relèvement de la levée soient l'une des raisons de cette mixité de structure du bouchain.

Du point de vue morphologique, la signature architecturale originale la plus visible du chaland *Arles-Rhône 3* concerne la géométrie de sa coque qui se rattache globalement à la classe des « bateaux polygonaux de type octogonal » de la typologie établie par Béat Arnold (Arnold 1992b, p. 74) mais avec, cependant, une géométrie des proportions bien particulière. Si l'on considère en effet le coefficient d'allongement (rapport longueur/largeur) qui est de 1/10 (3,07 m de largeur maximum pour 31 m de long)<sup>19</sup>, on constate qu'il est l'un des plus élevés (voire même le plus élevé) des épaves de bateaux fluviaux de tradition « gallo-romaine » dont la moyenne la plus haute se situe entre 1/6 et 1/7 (*Zwammerdam 6*: 1/5,7; *Bevaix*: 1/6,9; *Zwammerdam 4*: 1/6,9; *Zwammerdam 2*: 1/7,1) et pour les coefficients les plus forts entre 1/8 (*Mayence 6*)<sup>20</sup> et 1/9,1 (*De Meern 1*). Le coefficient d'allongement, bien que n'offrant, faut-il le rappeler, qu'une vision géométrique très schématique de la coque, est toutefois révélateur d'une morphologie d'ensemble caractérisée par une grande finesse générale des formes. Dans le cas de l'épave *Arles-Rhône 3*, cette finesse présente la particularité d'être associée à une très longue levée avant de 7,70 m (un peu moins du quart de la longueur totale de la coque) s'achevant pratiquement en pointe avec une largeur de 16,5 cm et à une levée arrière de 5,85 m (un peu moins du cinquième de la longueur totale de la coque) à la différence, par exemple, de l'épave *De Meern 1* qui, malgré un coefficient d'allongement très élevé de 1/9,1, possède des levées avant et arrière courtes et dotées de seuil large et, par conséquent, d'une forme de coque très différente.

Autre illustration de ces différences morphologiques : si l'on considère ce que l'on pourrait appeler le « rectangle circonscrit à la sole<sup>21</sup> et aux levées » correspondant à la figure géométrique simplifiée de la coque, on constate que dans le cas de l'épave *Arles-Rhône 3*, la sole réservée pour l'essentiel à la cargaison représente pratiquement la moitié du rectangle de référence alors que dans le cas de l'épave *De Meern 1*, elle constitue près des trois quarts de ce même rectangle de référence. Les chiffres parlent d'eux-mêmes et traduisent bien, semble-t-il, deux choix architecturaux et fonctionnels que l'on pourrait résumer de la manière suivante : pour un coefficient d'allongement très élevé et de valeur proche, il existe deux géométries très différentes se traduisant pour l'épave *De Meern 1* par une simplicité de forme favorisant l'espace destiné à la cargaison et, pour l'épave *Arles-Rhône 3*, par une plus grande complexité de forme au détriment de l'espace réservé à la cargaison<sup>22</sup>.

En l'occurrence, la forme de la barge *De Meern 1* est qualifiée par André van Holk (Van Holk 2011, p. 35) de « *extremely simple* » et définie comme « *a box-like vessel* »<sup>23</sup>, une définition qui, en toute évidence, ne peut pas s'appliquer à l'épave *Arles-Rhône 3*. Ajoutons une dernière remarque : l'épave à structure monoxyle-assemblée Lyon Parc Saint-Georges Ep. 4 (158-185 ap. J.-C.) de longueur restituée (28 m) très proche de celle d'*Arles-Rhône 3* (31 m) possède une largeur nettement plus importante (4,85 m pour 3,07 m) et, en conséquence, un coefficient d'allongement plus réduit (1/5,7). Cette différence de valeur de coefficient pour une longueur similaire apparaît révélatrice de deux choix architecturaux bien affirmés au niveau de la forme de la coque (fig. 334).

Avant de revenir sur l'interprétation de ces particularismes de la géométrie de l'épave *Arles-Rhône 3*, il importe de considérer les caractéristiques architecturales secondaires<sup>24</sup> propres au chaland. La première concerne la structure très complexe du caisson mobile aménagé dans le corps de la coque en relation avec la cargaison de pierres trouvée dans l'épave. Soulignons que ce caisson destiné à protéger la charpente transversale et les flancs constitue un indice, parmi d'autres, de la qualité d'une construction pensée en fonction d'une cargaison en vrac susceptible d'abîmer la coque. La deuxième caractéristique porte

17. C'est le cas quand on considère, par exemple, la complexité des assemblages et la variété des écarts de la levée avant.

18. Rappelons que la longueur de la levée avant, prise depuis la membrure M131, est de 7,70 m pour un relèvement au niveau de l'extrémité de la proue de 75 cm et une inclinaison moyenne de 5,6 degrés. La longueur de la levée arrière, quant à elle, est de 5,85 m pour un relèvement à son extrémité de 34 cm et une inclinaison moyenne de 3,3 degrés.

19. Ce coefficient est encore plus élevé si l'on considère non plus la largeur maximum au plat-bord mais la largeur maximum de la sole qui est de 2,30 m. Dans ce cas, le rapport L/l est légèrement supérieur à 1/13.

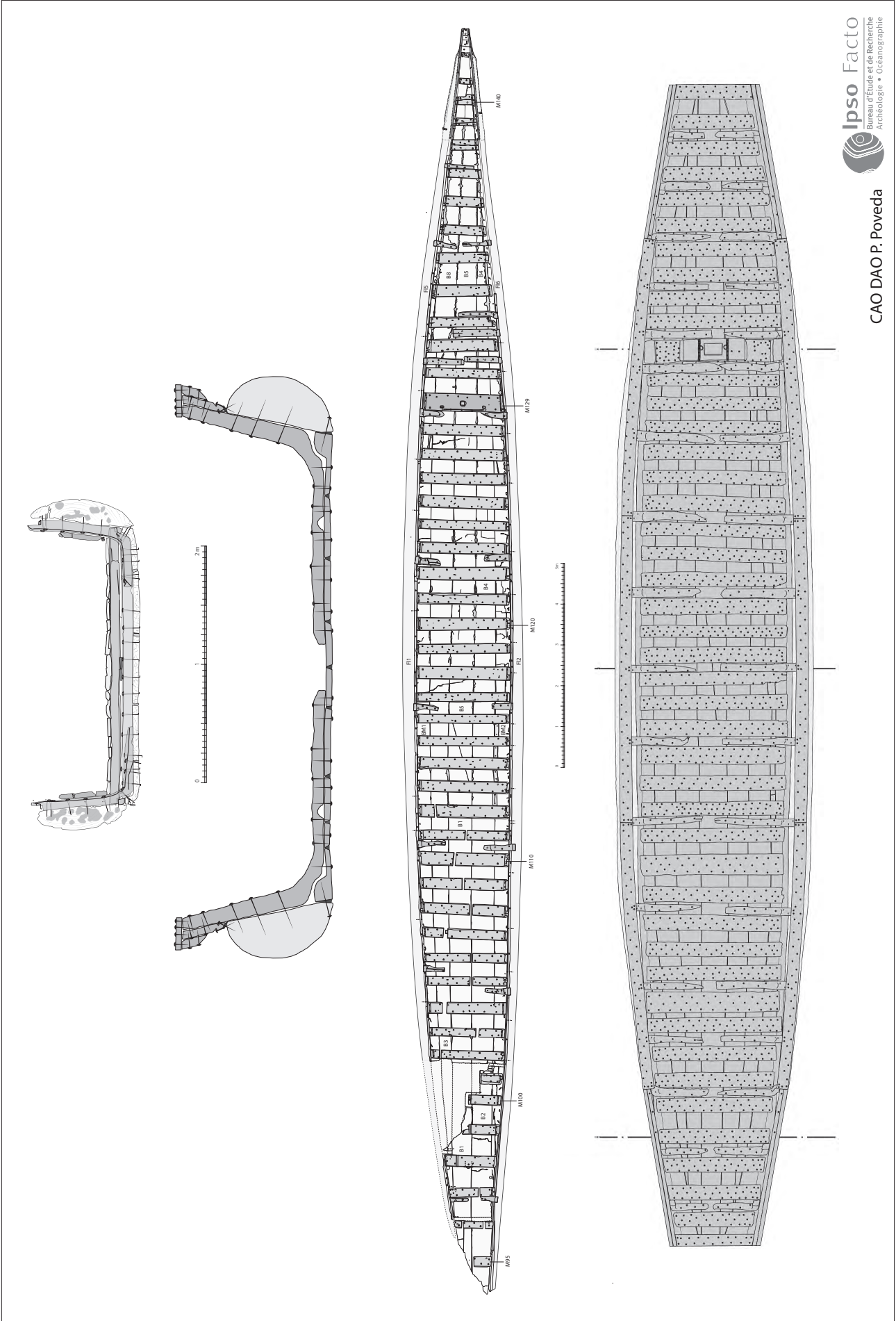
20. À la différence des autres épaves citées, celle du chaland *Mayence 6* est très partiellement préservée et la part d'hypothèse dans la restitution des dimensions est donc élevée. La longueur restituée semblerait en outre surévaluée.

21. Le corps proprement dit.

22. À l'égard de la géométrie particulière de l'épave AR3, on peut se demander si la longueur et l'étroussure de la levée avant ne pourrait pas résulter d'une nécessité d'ordre environnemental lié à l'espace nautique du chaland, plutôt que d'un choix. Nous reviendrons sur ce point.

23. L'auteur précise que cette forme de coque est destinée « ... to carry as much cargo as possible. The length of the vessel may also be an indication of the kind of cargo, in this case tree-trunks » (Van Holk 2006, p. 299). R. Bockius qualifie les chalands découverts dans le bassin rhénan, auquel se rattache l'épave *De Meern 1*, de « *floating boxes* ». Il distingue cette géométrie de « caisses flottantes » de celle des chalands découverts en Suisse et en France qui, selon son point de vue, « ... partly look a little more elegant by means of the ground plan with slightly narrowing ends » (Bockius 2004, p. 105). Ce jugement est à relativiser, nous semble-t-il, depuis les découvertes des épaves du Parc St-Georges de Lyon dont les proportions sont plus massives que celles du chaland de Bevaix et, bien sûr, que celles de l'épave AR3.

24. C'est-à-dire qui n'intervient pas sur le principe architectural.



**Fig. 334:** Mise en perspective des chalands Arles-Rhône 3 et Lyon Parc Saint-Georges, Ep. 4 (coupe transversale et planimétrie de l'Ep. 4 tiré d'Archaeonautica 16).

sur le nombre réduit de courbes (20 pour une longueur de coque de 31 m), sur leur intervalle important sauf au niveau de la levée avant<sup>25</sup> et sur leur disposition assez irrégulière. À titre de comparaison, l'épave à coque monoxyle-assemblée Lyon Parc Saint-Georges Ep. 4 possède des courbes affrontées régulièrement disposées toutes les trois varangues dans le corps de la coque et des courbes implantées à intervalle plus réduit au niveau de la levée avant. Le nombre réduit de courbes de l'épave Arles-Rhône 3, auquel s'ajoute la quasi-absence de barrotage à l'exception du bau-étambrai du mât localisé au départ de la levée avant et de la présence de deux barrots attestée par des encoches aménagées dans la planche-support tribord arrière<sup>26</sup>, soulève la question de sa résistance mécanique transversale.

Une dernière caractéristique secondaire à considérer est l'ensemble de fers plats ceinturant la proue dans le but, vraisemblable, de la renforcer et de la rigidifier en provoquant, en contrepartie, un alourdissement de la pointe avant (d'environ 70 kg). On peut se demander, par ailleurs, si les ferronniers à l'origine de ces ferrures n'ont pas souhaité leur donner une forme élégante dans un but décoratif et de personnalisation du bateau sans pour autant, bien sûr, réduire leur fonction de renfort<sup>27</sup>, la dimension esthétique de ces ferrures se superposant à leur fonction première de renfort.

Comment interpréter ces signatures architecturales du chaland Arles-Rhône 3 ?

Considérons tout d'abord la question de la structure de la coque en termes de poids. Un coefficient significatif du choix fait pour la construction que l'on pourrait qualifier de « coefficient de lourdeur »<sup>28</sup> est fourni par le rapport du déplacement léger (coque nue) pour une longueur de coque de 1 m. Cinq épaves représentatives de l'architecture nautique fluviale « gallo-romaine » des traditions « Rhénane », « Alpine » et « Rhône-Saône » ont été considérées<sup>29</sup> à titre de comparaison.

Épave	Longueur	Déplacement léger	Coefficient de lourdeur
Bevaix	19,40 m	6,5 t	0,33 t/m
Zwammerdam 2	22,75 m	7,8 t	0,34 t/m
Arles-Rhône 3	31 m	8,13 t	0,26 t/m
Mayence 6	40 m	18,5 t	0,46 t/m
Woerden 1	25 m	12,8 t	0,51 t/m
Lyon Parc Saint-Georges Ep. 4	28 m	19 t	0,67 t/m

Fig. 335 : Comparaison, entre six chalands gallo-romains, de leur coefficient de lourdeur.

Le coefficient de lourdeur de l'épave Arles-Rhône 3 s'établit à 0,26 t/m et pour l'épave Lyon Parc-Saint-Georges Ep. 4, qui est de même tradition et de longueur comparable, à 0,67 t/m soit plus du double que le coefficient précédent. En toute apparence, ces chiffres sembleraient confirmer le fait déjà noté que les charpentiers de marine du chaland d'Arles ont fait le choix d'une construction relativement légère en correspondance avec un coefficient d'allongement L/l très élevé de 1/10. Une deuxième caractéristique venant à l'appui de ce choix de construction légère se dessine à la lecture de ce tableau. Le coefficient de lourdeur du chaland Arles-Rhône 3 apparaît également inférieur à celui des chalands de Bevaix (0,33 t/m) et de Zwammerdam 2 (0,34 t/m) dont la longueur est nettement plus réduite, 19,40 m pour le premier et 22,75 m pour le second.

Examinons maintenant la question de la capacité de charge (le port mesuré en tonnes métriques). Un rapport révélateur de cet aspect est donné par ce que l'on pourrait appeler le « coefficient de rentabilité »<sup>30</sup> correspondant au rapport entre le port et une longueur de coque de 1 m.

Épave	Longueur	Port	Coefficient de rentabilité
Bevaix	19,40 m	14 t	0,72 t/m
Zwammerdam 2	22,75 m	11,2 t	0,83 t/m
Arles-Rhône 3	31 m	21,48 t	0,69 t/m
Mayence 6	40 m	65 t	1,62 t/m
Woerden 1	25 m	54,7 t	2,18 t/m
Lyon Parc St-Georges Ep. 4	28 m	55 t	1,96 t/m

Fig. 336 (en bas) : Comparaison, entre les six mêmes chalands, de leur coefficient de rentabilité.

25. L'une des raisons de ce plus grand nombre de courbes associées à la levée avant pourrait être liée à la nature complexe du bouchain constitué d'une suite de bordé monoxyle de transition et de bouchains composites. Les courbes plus nombreuses pourraient servir, selon l'interprétation de F. Beaudouin (1985, p. 10), à «... assurer l'invariabilité du bouchain» affaiblie par sa discontinuité structurale.

26. La planche-support bâbord arrière n'est pas conservée mais devait posséder, en toute logique, les deux mêmes encoches que celles présentes dans la planche-support découverte à tribord, clouée sur le haut du bordé de flanc en demi-tronc.

27. Un bel exemple contemporain de ce type de renfort en fers plats est celui de la « mignole » de la Meuse. Les étriers métalliques aux formes très harmonieuses et décoratives étaient prioritairement destinés à renforcer les liaisons des levées avant et arrière au corps de la coque (Beaudouin 1985, p. 225-226).

28. Le recours à ce coefficient comme marqueur architectural nous a été inspiré par l'analyse comparative de l'archéologue danois O. Cruclin-Pedersen entre les épaves de bateaux de l'âge du Bronze d'origine nordique et britannique (Cruclin-Pedersen, Trakadas (eds.) 2003, p. 224-226).

29. Les données ont été extraites de la synthèse de R. Bockius (2004). Cf. aussi Bockius 2000.

30. Le recours à ce coefficient de dimension économique nous a été inspiré par celui de « cargo efficiency » défini par A. van de Moortel (2011, p. 88).

*Note* : un doute existe sur le coefficient de rentabilité de Zwammerdam 2. Suivant la courbe des déplacements (Bockius 2004, p. 111, fig. 9), le port moyen est évalué à 19 t. En revanche, sur le diagramme des ports moyens «... based on displacement curves » selon la légende de la figure 10 (Bockius 2004, p. 112, fig. 10), le port moyen est de 11,2 t. Nous avons retenu le premier coefficient qui nous paraît le plus cohérent.

Si l'on considère d'abord les coefficients des deux chalands de tradition « Rhône-Saône », on observe que le coefficient de rentabilité est de 0,69 t/m dans le cas d'*Arles-Rhône 3* et de 1,96 t/m dans le cas du chaland de Lyon Parc Saint-Georges *Ep. 4*. En toute cohérence, le coefficient de rentabilité, en termes d'économie des transports par eau, apparaît en première lecture beaucoup plus favorable (près du triple) dans le cas de l'épave de Lyon Parc Saint-Georges *Ep. 4* que dans celui du chaland *Arles-Rhône 3*. Si l'on considère les autres coefficients, on peut voir que le coefficient de rentabilité d'*Arles-Rhône 3* se rapproche de ceux des chalands d'une vingtaine de mètres de long, ceux de *Zwammerdam 2* (0,83 t/m) et de *Bevaix* (0,72 t/m), que l'on pourrait classer dans la catégorie des « petits porteurs ». Rappelons que le coefficient de lourdeur de *Zwammerdam 2* et de *Bevaix* est quelque peu supérieur à celui d'*Arles-Rhône 3*. Le chaland de Lyon Parc Saint-Georges *Ep. 4*, quant à lui, avec un coefficient de rentabilité de 1,96 t/m, pourrait se situer dans la catégorie des « gros porteurs » dont le meilleur coefficient, théorique tout au moins, est de 2,18 t/m en relation avec un bateau dont le coefficient de lourdeur est élevé : 0,67 t/m.

Mais cette différence de coefficient de rentabilité en valeur absolue en correspondance avec les capacités de charge ne serait-elle pas à relativiser en fonction, d'une part, de la nature des transports par eau – transport de proximité en amont et en aval d'Arles dans le cas du chaland *Arles-Rhône 3* (*supra*, p. 272-275) et à longue distance dans celui du chaland de Lyon Parc Saint-Georges *Ep. 4* – et, d'autre part, selon les diverses navigabilités des secteurs considérés du bassin « Rhône-Saône » ? Aux différences de types de transport peuvent aussi se superposer, en effet, des contraintes d'ordre environnemental. C'est ainsi que François Beaudouin considère que les bateaux fluviaux dotés d'un coefficient d'allongement très élevé sont conçus pour mieux affronter les fortes contraintes d'une navigation fluviale au sein d'un milieu à courant puissant et à chenaux étroits à l'étiage<sup>31</sup>. C'est le cas, par exemple, de la « miolle » de Haute-Garonne (Beaudouin 1985, p. 80).

Dans le cas de l'épave *Arles-Rhône 3*, les réponses à ces interrogations restent encore à préciser en fonction, notamment, de l'avancement des études sur le paysage fluvial du Bas-Rhône contemporain du chaland. Mais, dès à présent, des axes de réflexion sont ouverts dont celui, très important dans le cadre de l'architecture nautique fluviale, de l'influence du milieu de navigation, et de ses contraintes, sur l'architecture et, particulièrement, sur la forme et les proportions de la coque.

## LE CHALAND ARLES-RHÔNE 3 ET LA CITÉ PORTUAIRE D'ARLES

L'une des questions importantes à évoquer concerne le rôle de la cité d'Arles et de son port tout à la fois maritime, fluviomaritime et fluvial, lieu d'échanges et d'influences techniques par excellence, au sein de la tradition architecturale « Rhône-Saône ». Celle-ci, est-il besoin de le souligner, se décline au pluriel tout au long de son bassin et de ses divers espaces nautiques d'étendue plus ou moins grande dotés de navigabilités particulières, en types architecturaux adaptés à des fonctions et environnements différents.

Faisons un bref rappel chronologique : dès la première moitié du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C., les signatures architecturales de cette tradition régionale « Rhône-Saône » sont attestées dans le cadre de l'architecture monoxyle-assemblée et assemblée. Les dimensions imposantes comme la complexité de la structure du chaland *Arles-Rhône 3*, dont la construction est datée des années 50 ap. J.-C., démontrent que les chantiers navals arlésiens, outre des possibilités importantes d'approvisionnements en bois de taille imposante (aspect qui soulève, entre autres problèmes, celui des circuits économiques d'approvisionnement), avaient une grande maîtrise technique, en termes de savoir (pour la conception) et de savoir-faire (pour la construction), qui ne peut se comprendre que par rapport à des pratiques techniques inscrites dans un passé ayant intégré les influences des chantiers navals maritimes méditerranéens, le chaland *Arles-Rhône 3* reproduisant ainsi une architecture d'unités similaires antérieures à l'époque de sa construction.

Cette grande maîtrise technique des chantiers navals peut s'évaluer à travers la géométrie très harmonieuse de la coque, œuvre du maître-charpentier concepteur du bateau, ou à partir de la précision et de la diversité des écarts de la levée avant, résultat des pratiques techniques des charpentiers. La qualité de la construction est un autre signe de cette maîtrise technique qui se marque, par exemple, au niveau de la parfaite symétrie des deux bordés monoxydes de transition du corps de la coque, BM1 et BM2, dont la fonction structurale et morphologique est tout à fait essentielle.

Construire un bateau de 31 m de long comme celui d'*Arles-Rhône 3* soulève, par ailleurs, deux interrogations principales. La première renvoie au chantier naval. Si une berge plate sommairement aménagée pouvait suffire à la mise en place de l'infrastructure du chantier, celui-ci devait nécessairement être situé en un lieu facilement accessible et

31. C'est à une même adaptation environnementale (voie d'eau étroite) que fait référence A. van Holk à propos de l'épave *De Meern 1* avec une différence d'ordre fonctionnel cependant : la coque longue et étroite (rapport *L/l* : 1/9,1) de la barge *De Meern 1* aurait été conçue, selon A. van Holk, pour une capacité de charge maximum qui se traduit par des extrémités à deux levées courtes à seuil plus adaptées aussi, nous semble-t-il, à un milieu à courant faible à modéré qu'à courant fort (Van Holk 2011, p. 35).

praticable pour l'approvisionnement en bois dont les pièces les plus grandes, comme les grumes de sapin pour les bordés de flanc en demi-tronc, devaient très vraisemblablement être transportées par flottage. Bâtir un chaland comme celui d'*Arles-Rhône 3* impliquait aussi, en toute probabilité, la réunion, sous la direction d'un maître-charpentier responsable technique du chantier et de l'organisation du travail, de toute une équipe de scieurs, de charpentiers, d'apprentis... Cette main-d'œuvre devait être suffisamment nombreuse pour pouvoir déplacer et mettre en place<sup>32</sup> des pièces de bois de plusieurs centaines de kilos et de 26 m de long comme le bordé de flanc en demi-tronc tribord. À ces « artisans du bois » devaient sans doute s'ajouter les « artisans du feu », forgerons en charge de la fabrication de près de 1700 clous en fer de deux modules différents et ferronniers ayant réalisé les ferrures de la proue. Pour assurer l'étanchéité des coutures par lutage ainsi que la protection intérieure et extérieure de la coque par enduit de poix, il a été fait appel soit à des charpentiers, soit à des calfats.

Il est évident qu'un tel chantier naval suppose un investissement important tant du point de vue de l'acquisition des matériaux que de celui de la main-d'œuvre comprenant des niveaux de qualification variée allant de l'apprenti dégrossissant à la hache les varangues au charpentier expérimenté façonnant à la hache et à l'herminette un bordé monoxyle de transition ou l'ajustage du can d'un bordage. Et en formulant la question de l'investissement c'est également celle du commanditaire, public ou privé, qui se dessine en filigrane<sup>33</sup>.

La deuxième interrogation porte sur l'utilisation d'un chaland de 31 m de long. Au regard de l'investissement représenté par sa construction, seul un fonctionnement régulier à plus ou moins long terme semblerait pouvoir se justifier. Naviguer implique non seulement un équipage de plusieurs bateliers mais aussi un recours éventuel à des haleurs dans le cas d'une navigation montante avec le chaland chargé. L'utilisation régulière d'un bateau se traduit, en toute logique, par des phases d'entretien et de réparations, ce dont témoigne la coque du chaland *Arles-Rhône 3*. L'investissement résultant du fonctionnement du chaland, affrètement pour un transport en vrac de pierres dans le cas du dernier voyage d'*Arles-Rhône 3*, appelle une nécessaire réponse économique.

Qui affrétait ? Pour qui ? Dans quel cadre ? Avec quels moyens ?

Laissant aux historiens de l'économie des transports par eau de l'Antiquité le soin de répondre à ces interrogations, arrêtons-nous à la situation de la cité portuaire d'Arles, aux confluences des navigations maritimes, fluviomaritimes et fluviales.

Au regard de l'avancée de l'influence romaine en Gaule le long de l'axe « Rhône-Saône » d'une part, et de la position stratégique d'Arles à l'interface des influences des techniques de construction maritime venues de la Méditerranée et de celles fluviales issues de la Gaule continentale d'autre part, on est en droit de s'interroger sur l'importance des chantiers navals d'Arles dont César évoque déjà le niveau élevé de production dès le 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. et leur rôle dans le développement et la diffusion vers l'amont - selon une chronologie qui reste encore à préciser - de cette tradition architecturale « Rhône-Saône ». Dans l'hypothèse où les chantiers navals d'Arles auraient fonctionné, effectivement, comme une sorte de creuset des influences maritimes et fluviales, il semblerait, également, que les chantiers navals d'amont, ceux du Lyonnais en particulier (moins d'un siècle sépare la fondation de Lyon de la datation de l'épave de la place Tolozan), aient rapidement adopté ces techniques « nouvelles ».

Celles-ci sembleraient avoir été abandonnées au cours du Moyen Âge. Le bordé des flancs constitué d'un demi-tronc n'apparaît plus attesté ; l'étanchéité des coutures par lutage au moyen de tissus poissés est remplacée par un recours aux pratiques antérieures des chantiers navals « celtiques » basées sur un remplissage des coutures par des cordons de mousse maintenus par une latte et fixés par des petits clous ou des sortes d'agrafes en fer, les « happes », « appes » ou « nailles » du bassin « Rhône-Saône »<sup>34</sup>.

Revenons à la période de la romanisation. Les influences techniques romaines sur d'autres traditions architecturales se retrouvent au-delà du bassin « Rhône-Saône ». Le cas du bassin rhénan, à travers les chalands de Zwammerdam, est à cet égard exemplaire, le chaland de *Zwammerdam 2* présentant même, selon Béat Arnold « ... de nombreuses particularités résultant, s'il est gallo-romain, d'une forte influence exogène à moins qu'il ne s'agisse d'une construction romaine » (Arnold 1992b, p. 79). Mais d'autres cas sont sans doute moins connus. Ainsi en est-il, dans le domaine de l'architecture navale maritime, de la construction navale à clin de tradition nordique/scandinave des premiers siècles de notre ère. Selon Ole Crumlin-Pedersen (2010, p. 68), l'influence des techniques constructives romaines se marquerait par le remplacement, dans les matériaux de construction, des bois mous comme le tilleul par des bois durs (chêne en particulier), par l'introduction d'une charpente longitudinale continue (quille, étrave, étambot) ; par l'abandon des assemblages ligaturés au profit des assemblages cloués ou, encore, par la substitution de la propulsion à la pagaie par celle à l'aviron. Pour Ole Crumlin-Pedersen, l'origine probable de ces influences techniques issues des traditions des chantiers navals méditerranéens

32. La construction sur sole d'un chaland sur un chantier plan formant une sorte de « grill » de charpente pouvait sans doute permettre de faire glisser ou de faire riper des pièces de bois très lourdes sans les soulever en réduisant ainsi les efforts des hommes. En revanche, la manutention et le déplacement des grumes destinées à être taillées en bordés de flanc en demi-tronc, du lieu de stockage au chantier de construction, devaient constituer des travaux de force pour les hommes dont on imagine mal les difficultés. Merci à B. Arnold d'avoir attiré notre attention sur le rôle du « grill » de construction.

33. Sept inscriptions gravées au fer et sept graffites ont été observés sur dix planches du chaland. Selon N. Tran (cf. dans ce volume l'étude de N. Tran sur les marques au fer et graffites, p. 165-170), les marques gravées, correspondant à des noms, pourraient être associées à une logique de stockage des planches et/ou d'identification des constructeurs.

34. Rossiard 2002b, p. 18-19.



serait liée aux « retours d'expériences » de nombreux guerriers scandinaves ayant servi comme mercenaires dans l'armée romaine et dans les flottilles militaires du Rhin et du Danube.

Si l'on observe le cas de l'Angleterre romanisée et, plus particulièrement, celui du port de Londres qui, comme celui d'Arles, peut se définir tout à la fois comme un port maritime, fluviomaritime et fluvial<sup>35</sup>, on constate, au regard des données archéologiques, une situation différente de celle du port d'Arles (Marsden (ed.) 1994). Le caboteur fluviomaritime *Blackfriars 1* (milieu du I<sup>er</sup> s. ap. J.-C.) et la barge fluviale de New's Guy House (fin du II<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) sont en effet construits suivant la tradition « romano-celtique », sans emprunts ou indices d'influences de techniques issues des chantiers navals romains. À l'inverse, le bateau de County Hall (début du IV<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) fait appel à des techniques de construction de tradition maritime méditerranéenne romaine tant au niveau de son principe architectural que de ses procédés constructifs. Ce bateau de County Hall, dont les bois mis en œuvre dans la construction sont des chênes provenant des forêts du sud-est de l'Angleterre, semblerait être une parfaite illustration d'un transfert intégral de pratiques romaines vers des chantiers navals régionaux avec aussi la possibilité d'un apport d'une main-d'œuvre romaine. On se trouve là dans un cas de figure totalement différent de celui du chaland *Arles-Rhône 3* dans lequel l'influence de certaines techniques maritimes méditerranéennes s'est greffée sur une tradition architecturale dont le principe de construction « sur sole » est demeuré inchangé.

## CONCLUSION

Au terme de cette réflexion sur l'interprétation historique de l'épave du chaland *Arles-Rhône 3*, une dernière remarque d'ordre plus général semble s'imposer. L'étude des batelleries traditionnelles régionales<sup>36</sup> de la France du XIX<sup>e</sup> s. et des premières décennies du XX<sup>e</sup> s. comme celle des batelleries des autres pays européens met en évidence le lien étroit, et logique, entre les espaces nautiques fluviaux régionaux et les architectures des bateaux qui leur sont associées. On constate que, par exemple, la famille architecturale des chalands de Loire, qui se compose de plusieurs types et qui, par ailleurs, représente l'une des familles architecturales ligériennes, est profondément différente, par exemple, de celle des besognes du bassin « Seine-Oise ». À chaque bassin fluvial et à chaque espace nautique régional correspond, au sein d'une même tradition, plusieurs familles architecturales caractérisées par des formes de coque, des dimensions, des proportions, des modes de construction, des procédés de propulsion et de direction, des fonctions différents... Et derrière chaque famille architecturale se dessine en filigrane une économie des transports par eau aux traits particuliers.

C'est dans cette perspective de grande diversité que doit être replacée, nous semble-t-il, l'épave du chaland *Arles-Rhône 3* qui, au sein de la tradition « Rhône-Saône », ne représente ainsi qu'une famille architecturale, plus particulière au bas Rhône et à « l'espace nautique arlésien », à côté d'autres familles plus propres aux espaces nautiques d'amont comme la famille constituée par les épaves des chalands du Parc Saint-Georges, à Lyon. La fouille de l'épave *Arles-Rhône 5*, dont une des levées semble bien conservée, pourrait sans doute permettre de confirmer ces hypothèses.

Il y a une quarantaine d'années, l'écriture de l'histoire de l'architecture navale fluviale « romano-celtique », « gallo-romaine » ou « continentale » était envisagée, à la différence de celle des batelleries traditionnelles, d'une façon globale, à l'échelle de l'Europe du nord-ouest. Avec l'augmentation des sources archéologiques, l'évolution des méthodes de fouille et de post-fouille et le renouvellement des questionnements historiques, cette écriture s'est désormais diversifiée, régionalisée et complexifiée aussi en se plaçant à l'échelle des différents bassins fluviaux en rejoignant de la sorte celle de l'histoire des batelleries traditionnelles. Après les épaves de Lyon, l'épave *Arles-Rhône 3* contribue à son tour à l'élaboration de cette « nouvelle histoire » de l'architecture nautique fluviale antique.

35. Il est évident que le bassin de la Tamise n'est nullement comparable, par son étendue et ses relations avec son hinterland, au bassin « Rhône-Saône ».

36. Avant les grands travaux de canalisation du plan Freycinet lancé en 1878.



# CONCLUSION

Sabrina MARLIER

« Un bateau ne livre jamais toutes ses informations ; c'est une enquête régulière, répétée. » Ce constat, livré par Béat Arnold à propos de ses voyages ethnographiques à la recherche des bateaux « extra-européens »<sup>1</sup>, est encore plus vrai pour les études d'épaves. Dans le cas d'*Arles-Rhône 3*, il aura fallu à une équipe pluridisciplinaire dix années d'études, d'analyses, d'observations répétées, depuis l'épave fouillée au fond du fleuve au chaland exposé dans une fosse au sein du musée de l'Arles antique, pour aboutir à une connaissance approfondie de ce bateau.

L'ensemble des résultats, aujourd'hui publié dans ce volume, nous permet de restituer aussi bien ses aspects techniques et fonctionnels que son histoire, de sa construction à son naufrage. L'épave *Arles-Rhône 3*, découvert dans un état de conservation exceptionnel, est celle d'un chaland gallo-romain qui a fait naufrage dans le port d'Arles, sans doute au cours d'un épisode de crue, alors qu'il était chargé d'une cargaison de blocs de pierres provenant des carrières de Saint-Gabriel (Tarascon) et dans lequel le mobilier de bord des bateliers, la monnaie votive ainsi que les équipements de navigation ont été découverts.

S'inscrivant dans une économie locale, ce chaland a été construit dans les années 50 ou le début des années 60 de notre ère dans la section inférieure du bassin rhodanien, vraisemblablement dans les chantiers navals d'Arles qui devaient réunir, au sein d'un arsenal important, les moyens logistiques, techniques et humains nécessaires à la construction d'un tel bateau qui a nécessité le recours à plus d'une cinquantaine d'arbres pour la réalisation de sa seule coque (auquel il faut ajouter 140 planches amovibles constituant le caisson central destiné à recevoir les chargements transportés). Construit sur sole, son fond plat, démuné de quille, représente l'assise à la fois conceptuelle et structurale de la coque reposant sur une architecture de type monoxyle-assemblé dont les bordés monoxyles de transition principaux, qui forment une longue cornière le long de la sole, représentent l'élément emblématique. Cette construction garde néanmoins la mémoire de l'architecture monoxyle avec la mise en œuvre de demi-troncs de sapins retaillés pour la constitution des flancs. À la sole, aux bouchains et aux bordés monoxyles de flancs, s'ajoute une charpente transversale constituée de quarante-sept varangues et vingt courbes. L'ensemble de ces éléments structuraux est assemblé au moyen exclusif de clous en fer.

Au-delà de la maîtrise des procédés de construction, révélateurs de pratiques parfaitement assimilées de longue date, le chaland *Arles-Rhône 3* témoigne d'une conception élaborée avec une forme de coque fuselée et très étroite associée à une géométrie des formes particulière. Sa coque mesure ainsi 31 m de longueur pour une largeur de près de 3 m et une hauteur de 1 m et se caractérise également par une levée de proue d'une longueur de 7,70 m s'achevant quasiment en pointe et cerclée d'une élégante armature métallique.

1. Propos recueillis lors d'une conférence donnée au MdAa en mars 2014.



**Fig. 337 :** *La vedette des VNF Le Rhône (Ph. Robin).*

Si cette forme très profilée et légère est singulière au sein de la batellerie gallo-romaine, il semblerait, selon les pilotes du Rhône, que cette conception des formes ait été une marque de fabrique des chantiers arlésiens<sup>2</sup>. Environ 1900 ans après la construction du chaland *Arlès-Rhône 3*, la vedette des VNF *Le Rhône*<sup>3</sup>, avec une longueur de coque de 30 m pour une largeur de 4,10 m offrant un coefficient de finesse élevé (rapport L/l de 1 : 7,31) auquel est associée une proue fuselée se terminant par un avant pointu, nous permet d'en juger et d'alimenter la réflexion sur la permanence de choix architecturaux qui, à l'évidence, devaient s'avérer être parfaitement adaptés à l'espace de navigation rhodanien dans le cadre de déplacements rapides (fig. 337).

2. Témoignages, notamment, de D. Blanchon (VNF), capitaine sur *Le Rhône* et de M. Izquierdo, pilote sur le Rhône.  
3. La vedette a été construite en 1962 dans les chantiers navals de Barriol situés sur la rive gauche du Rhône, à Arles.

## CHAPITRE 1. HISTORIQUE DES MISSIONS ET DES RECHERCHES SUR L'ÉPAVE ARLES-RHÔNE 3

Découverte à Arles en 2004 dans le cadre d'une opération de carte archéologique conduite par le Drassm dans le Rhône, l'épave *Arles-Rhône 3* se trouvait sur la rive droite du fleuve, entre 4 et 9 m de profondeur, sous 0,40 à 2 m de sédiments correspondant aux couches du dépotoir portuaire de la cité romaine. Expertisée en 2005 et 2006, elle a fait l'objet d'un sondage en 2007 avant qu'une fouille programmée ne soit mise en place à partir de 2008 sous la direction conjointe des archéologues de l'association Arkaeos, du Centre Camille Jullian et du Musée départemental Arles antique. Trois années de fouille ont permis de révéler l'état de conservation exceptionnel de ce chaland gallo-romain dont il apparaissait que la coque était quasiment entièrement préservée, de même que les aménagements internes en lien avec le chargement et le mobilier de bord, eux aussi conservés. Le Conseil général des Bouches-du-Rhône, en accord avec le Drassm, a alors décidé de procéder à la fin de la fouille et au relevage de l'épave en vue de sa restauration et sa présentation au public. La fouille-relevage a été réalisée en 2011 par les équipes du musée de l'Arles antique, associées aux sociétés O'Can et Ipsos Facto, et avec le soutien du Drassm. Au final, il aura fallu 237 jours de travail, totalisant près de 5 700 heures de plongée, pour fouiller plus de 1 000 m<sup>3</sup> de sédiments du dépotoir portuaire entourant

l'épave, dont 900 m<sup>3</sup> ont été tamisés en surface au cours du chantier de fouille-relevage. La stratigraphie du dépotoir, au niveau de ce site, a pu être documentée et le mobilier issu des fouilles a été dévolu au musée de l'Arles antique qui présente aujourd'hui une partie de ces collections tandis que le reste fait l'objet d'études et d'analyses. L'épave, après avoir été fouillée et documentée *in situ*, a été remontée en dix tronçons qui ont fait l'objet d'enregistrements, avec notamment la réalisation d'un relevé 3D au moyen d'un appareil optique (le C-Track). Après avoir été traitées au laboratoire ARC-Nucléart de Grenoble, par immersion dans des bassins de Polyéthylène Glycol puis par lyophilisation – avec un traitement complémentaire par imprégnation d'une résine polyester et rayonnement gamma pour la proue et le mât – les quelques deux cents pièces du bateau ont été remontées par les restaurateurs de l'atelier grenoblois associés aux chaudronniers de la société Cic-Orio tandis que la société A-Corros assurait la prise en charge et la restauration des éléments métalliques de l'épave. Le chaland est aujourd'hui présenté en situation de navigation, avec une partie de son chargement, son mobilier de bord et ses équipements de navigation, dans une aile du musée de l'Arles antique spécialement construite et dédiée aux activités fluvio-maritimes du port d'Arles à l'époque romaine.

## CHAPITRE 2. MÉTHODOLOGIE. DE LA FOUILLE EN MILIEU SUBAQUATIQUE À L'ÉTUDE À TERRE : DÉFINITION DES CHÂÎNES OPÉRATOIRES MISES EN PLACE

En raison de la visibilité réduite et du courant, les conditions de travail dans le Rhône sont généralement difficiles. Malgré ces difficultés, le site *Arles-Rhône 3*, comprenant le dépotoir portuaire et l'épave du chaland, a pu être fouillé selon une méthodologie classique adaptée aux sites archéologiques subaquatiques. Du point de vue des techniques, les suceuses à air ont été utilisées en 2010 et en 2011 pour la fouille des couches du dépotoir recouvrant l'épave. Un système de tamis a également été mis en place en surface en 2011 afin de récupérer les rejets des suceuses et trier le matériel non prélevé directement sur le site. En revanche, seules des suceuses à eau ont été utilisées pour dégager et nettoyer la coque de l'épave qui a ensuite fait l'objet de relevés systématiques. Entre 2008 et 2011, une série de carottages a également été réalisée, entre l'épave et le quai, entre l'épave et le chenal et sous l'épave afin de restituer l'environnement sédimentaire et géomorphologique du chaland au moment de son naufrage.

Au terme de quatre années de fouille, l'ensemble des méthodes et des techniques mises en œuvre ont finalement permis de fouiller, de

documenter et de relever l'épave dans son intégralité. La dernière campagne a surtout vu le développement de nouvelles stratégies de fouille et la mise en place de chaînes opératoires complexes pour assurer la prise en charge, de la fouille au musée, d'un mobilier archéologique abondant (près de 3 000 objets et environ 1 200 caisses de matériel archéologique) et diversifié et celle des tronçons et des bois de l'épave, de la fouille à l'atelier de restauration. Les bois ont ainsi fait l'objet de relevés et d'observations au fond de l'eau, à la sortie des tronçons, sur le chantier, ainsi qu'à l'atelier de restauration, après leur traitement, et finalement au sein du musée, une fois le chaland remonté. Toute une série de prélèvements d'échantillons d'origine organique (tissus poissés, poix, fragments de cordages, champignons ayant attaqué les bois, charbons de bois) a également été réalisée en vue d'analyses. C'est donc une étude quasi-exhaustive du chaland, sous tous ses aspects, conduite par une vingtaine de spécialistes, qui est livrée dans cette publication.

## CHAPITRE 3. LE CONTEXTE DE L'ÉPAVE

### Le contexte historique et archéologique

Au milieu du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C., quand le chaland *Arles-Rhône 3* sombre dans les eaux du Rhône, Arles est colonie romaine depuis un peu plus d'un siècle. L'arrivée des Romains a complètement changé l'aspect de la ville, déjà vieille de plus de 500 ans. Dès les années 30 av. J.-C., d'importants travaux ont eu lieu, essentiellement sur la rive gauche du Rhône avec l'apport de remblais considérables, permettant de rehausser le niveau des

berges face au fleuve. La ville se dote aussi, à l'époque augustéenne, d'un forum, d'un théâtre et d'un arc situé sur les bords du Rhône qui marquerait le passage d'un premier pont de bateaux sur le fleuve. En rive droite, les fouilles permettent de supposer une occupation plutôt artisanale et commerciale de cette rive du Rhône dès l'époque augustéenne.

Avec la colonisation romaine, la cité d'Arles va rapidement se développer. Et c'est sa position privilégiée au carrefour d'axes de circulation majeurs (routes, fleuve et mer) qui contribue à son enrichissement. Le

port d'Arles reçoit ainsi l'ensemble des produits de la Méditerranée et assure leur redistribution dans l'intérieur du pays (jusqu'au *limes*) grâce à l'axe sud-nord que constituent le Rhône et ses affluents. À l'inverse, il reçoit les produits venus de l'intérieur des terres qui sont ensuite diffusés en Méditerranée. Les bateaux assurent l'acheminement et le transit de ces produits. On compte actuellement une quinzaine d'épaves (datées entre le I<sup>er</sup> s. av. et le IV<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) dans les eaux du Rhône à Arles. Identifiées comme étant des chalands fluviaux, des bateaux fluviomaritimes ou des petits navires de mer, la variété des épaves expertisées reflète la diversité des bateaux qui circulaient sur le Rhône et fréquentaient le port d'Arles à l'époque romaine. Ces épaves témoignent aussi de la nécessaire complémentarité entre ces différents types d'embarcations. En revanche, ce sont surtout les centaines de milliers d'amphores et de céramiques, que livre le Rhône, qui nous renseignent sur la nature des échanges et des flux commerciaux. Ce que l'on qualifie de « dépotier portuaire » revêt cependant un caractère bien plus complexe et c'est finalement au sein d'un enchevêtrement d'amphores, de céramiques mais aussi de milliers d'autres objets qui se rapportent autant

au matériel de bord et à l'équipement des bateaux qu'à la consommation et aux activités artisanales de la ville à cette même période, qu'a été découverte l'épave *Arles-Rhône 3*. La constitution de ce dépotier s'inscrit entre le naufrage du chaland et un *terminus ante quem* que l'on situe vers 140 ap. J.-C.

## Le contexte paléoenvironnemental

L'épave *Arles-Rhône 3*, replacée dans son contexte archéologique, géomorphologique et sédimentologique, permet de proposer une morphologie du chenal du Rhône dans la traversée d'Arles autour du I<sup>er</sup> s. ap. J.-C. Les ouvrages ou les remblaiements du chenal prennent une part probable dans la modification des conditions hydrauliques favorisant une contraction du chenal et un accroissement de sa compétence. Au vu des données stratigraphiques, le naufrage est survenu lors d'un épisode hydrologique de forte intensité dont le *terminus post quem*, révélé par la datation des séquences sédimentaires, est fixé en 66 ap. J.-C.

## CHAPITRE 4. ENFOUISSEMENT DE L'ÉPAVE ET ACTIONS DE L'HOMME : DYNAMISME ET ÉTAT DE CONSERVATION DES VESTIGES

Bien que le bois des éléments du chaland puisse être déformé ou érodé par endroit ou qu'il ait subi des dégradations plus ou moins importantes (fissures, fractures...) dont les origines sont multiples (naufrage, enfouissement, fouille, relevage, manipulations et traitements de conservation), l'état de conservation global peut être considéré comme bon, voire très bon, et a permis une lecture et une étude exhaustive des caractéristiques architecturales.

Avec une coque quasiment entière – les vestiges conservés représentent un peu plus de 93 % de l'ensemble de la coque – et l'ensemble des aménagements internes conservés, l'épave *Arles-Rhône 3* est sans doute l'un des bateaux de navigation intérieure les mieux conservés de l'Antiquité.

## CHAPITRE 5. LE CHALAND

### La coque du bateau : étude architecturale

L'épave *Arles-Rhône 3* est un chaland dont le fond plat, la « sole », est constitué de six grands bordages disposés deux par deux sur trois files. De part et d'autre de la sole prennent place des « bouchains », des pièces de construction qui permettent d'assurer la transition entre le fond et les flancs de l'embarcation. En forme de L couché, ils sont monoxyles sur l'essentiel de la coque et composés sur l'arrière et l'avant. Les flancs de l'embarcation sont formés par d'imposantes pièces : des demi-troncs de sapin retaillés qui sont surmontés, sur l'avant et sur l'arrière, par des planches de plat-bord. Les bouchains et les flancs permettent d'assurer la rigidité longitudinale du bateau tandis que la rigidité transversale est assurée par la mise en place, à l'intérieur de la coque, de 47 varangues plates et de 20 courbes. Parmi les varangues, on compte une varangue-emplature. Disposée au tiers avant du bateau, il s'agit d'une varangue plus massive que les autres, creusée en son centre d'une petite mortaise quadrangulaire qui permettait de recevoir le pied de mât. Celui-ci était maintenu, en hauteur, par son passage dans le banc d'étambrai. C'est en avant de cette emplanture que se situe la levée de proue où a été découverte la monnaie votive. Disposé par les constructeurs sur tribord, entre le bouchain et le tasseau, afin de porter bonheur au chaland, il s'agit d'un denier en argent frappé à Rome en 123 av. J.-C.

Les bordages de sole sont assemblés entre eux uniquement au niveau de l'extrémité de leurs joints par des clous transversaux et c'est l'assemblage de la charpente transversale à la sole et aux bouchains, par de nombreux clous en fer, qui permet de maintenir et d'assurer la cohésion de l'ensemble. Les flancs sont eux aussi fixés par des clous aux bouchains et aux courbes. Au total, 1 700 clous ont été employés ; ils se répartissent

en deux modules différents (un grand et un petit), selon les structures assemblées, auxquels s'ajoutent quatre broches pour le maintien du banc de mât aux flancs. On compte également de nombreuses ferrures, notamment pour le blocage des écarts qui permettent de prolonger les flancs sur l'avant mais aussi à la proue qui est ceinturée par une véritable armature métallique. Des analyses métallographiques ont été effectuées sur cinq clous d'assemblage du chaland. L'état inclusionnaire très propre de ces clous indique une élaboration de bonne qualité. Le matériau utilisé est un alliage fer-carbone, dont la teneur en carbone le classe à la limite du fer et de l'acier. Un des clous présente une structure caractéristique de l'acier doux. Les micrographies mettent en évidence un forgeage à chaud de la tige entraînant une réduction de la taille des grains, améliorant ainsi les qualités mécaniques de la tige.

L'étanchéité de la coque est assurée par la technique du lutage au moyen de tissus poissés mis en place entre les planches avant leur assemblage. L'étude des textiles montre que les tissus employés étaient des chiffons de laine récupérés, triés selon leur trame et amalgamés avant d'être trempés dans de la poix. Cette même substance, une résine de pin chauffée, était également répandue sur l'intérieur et l'extérieur de la coque, une fois celle-ci construite. Les poix ont fait l'objet d'analyses moléculaire et isotopique – par chromatographie gazeuse, couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM) – afin de déterminer leur composition. Les résultats indiquent qu'il s'agit de poix pures de conifères, produites à des températures comprises entre 300 °C et 350 °C, qui ont été soumises à divers processus d'altération prenant place du temps où le chaland naviguait, puis dans l'environnement de dépôt de l'épave. Les analyses isotopiques révèlent que ces poix ont toutes une même origine, très probablement méditerranéenne. Ces résultats rejoignent ceux issus des

analyses polliniques également réalisées sur les poix du chaland. La notation de taxons méditerranéens (*Pinus halepensis* t., *Quercus ilex*, *Olea*, *Phillyrea*, des arbres du maquis dont *Quercus suber*, *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, ou des herbacées comme *Hypocoum*, *Turgenia latifolia*) dans tous les échantillons semble en effet indiquer que la poix utilisée pour la construction et les réparations du bateau a été fabriquée en région méditerranéenne, à basse altitude (domination d'arbres de la chênaie) d'une part, et à moyenne altitude (présence du hêtre) d'autre part.

Plusieurs types de réparations ont en effet été enregistrés sur le chaland *Arles-Rhône 3*. Il s'agit essentiellement de réparations de fissures (sur les bordages de la sole et dans les flancs) effectuées à l'aide de tissus poissés ou de poix seule. A la proue, des planchettes de bois, assimilées à des palâtres, ont été mises en place sur toute une série de coutures afin de maintenir en place et protéger les joints d'assemblage. Afin de combler des lacunes du bois dans les pièces de bordé de flanc en demi-tronc, des planches ont aussi été clouées sur le sommet ainsi que sur la face interne et externe des bordés. Ces planches de réparation ont sans doute été mises en place afin de venir se substituer au bois très dégradé par une pourriture provoquée par un champignon identifiée, par les analyses mycologiques conduites sur deux échantillons, comme *Cadophora fastigiata*. Il n'a cependant pas été possible de déterminer le moment où ce champignon est entré en contact du bois (avant ou après la construction, mais aussi avant ou après la mise à l'eau de l'embarcation). Sur le banc d'étambrai, une fissure a également fait l'objet d'une consolidation au moyen de clous et de la mise en place, entre le banc et l'emplanture, d'une épontille. La question de la chronologie et du moment des réparations s'est posée : au moment de la construction (actions préventives) ou après, durant la période d'utilisation du chaland (actions curatives) ? Malgré des observations attentives, il a souvent été difficile de trancher entre les deux. La question du moment de la mise en œuvre de ces opérations est cependant importante pour estimer la qualité de la construction, la durée de vie du chaland et les causes possibles de son naufrage.

Une autre particularité de cette épave est d'avoir conservé tous ses aménagements internes. En relation avec le mobilier de bord, découvert sur l'arrière, des planches de protection ont été disposées contre les planches de sole, collées avec de la poix, ou directement contre les varangues. En lien avec la cargaison, c'est un véritable caisson qui a été mis en place dans la partie centrale du chaland, sur une longueur de près de 16 m. Constitué d'éléments entièrement amovibles (en tout, 140 pièces longitudinales et transversales auxquelles s'ajoutent des cloisons latérales et transversales), ce caisson, fermé sur ses quatre côtés et ouvert sur le dessus, pouvait accueillir un volume compris entre 13,33 m<sup>3</sup> et 19,20 m<sup>3</sup>.

Dix éléments du chaland, dont huit appartenant au caisson, portent sept inscriptions différentes marquées au fer et sept graffites. Quand elles sont compréhensibles, les premières renvoient à des noms, peut-être cités dans une logique de stockage des planches et/ou d'identification des constructeurs. Les graffites ont l'aspect de croisillons composés de séries de X ou de IX et d'un R anguleux. Ils ont sans doute servi à identifier des planches ou des lots de planches.

Liée à l'étude architecturale, l'étude réalisée sur le bois du chaland s'inscrit dans le cadre des recherches sur l'histoire des techniques de la batellerie gallo-romaine. Quatre disciplines ont été mises en œuvre pour analyser les structures : la xylologie, la dendromorphologie, la tracéologie et la dendrochronologie. Elles ont eu pour objectif de définir l'économie de la matière première conduite par les charpentiers antiques, de préciser l'histoire de l'aménagement et de l'évolution des différentes pièces au sein de la structure et de rechercher l'âge absolu des vestiges afin d'approcher la date de construction du chaland. Le très bon état de conservation ainsi que la quantité des structures analysées nous permettent de présenter des résultats représentatifs de la grande majorité des vestiges conservés.

Dans l'ensemble, les caractéristiques de la charpenterie du chaland *Arles-Rhône 3* montrent une recherche de performance de la part des charpentiers dans la sélection des essences et le débitage des pièces architecturales. La structure de base et les pièces maîtresses sont entièrement réalisées en chêne caducifolié (sole, bouchains, charpente transversale,

varangue-emplanture, banc d'étambrai, extrémité de la proue, pelle de gouverne). Elle s'oppose ainsi aux parties hautes du bordé et aux aménagements internes où se mêlent diverses essences sélectionnées de manière opportuniste, les bois de résineux étant majoritaires (sapin en majorité, épicéa, pin de type sylvestre, chêne caducifolié). Le mât est la seule pièce en bois de frêne. Ces essences proviennent toutes du Bassin rhodanien. Qu'il s'agisse de chênes ou de résineux, les arbres employés sont majoritairement âgés (chênes au minimum de 32 à 158 ans, sapin au minimum de 160 à 234 ans). La quantité d'arbres nécessaire à la construction de la structure primaire du chaland (sole, bouchain, charpente transversale, bordé, mât), hors caisson et aménagement interne, est évaluée entre 50 et 77 arbres abattus.

D'une manière générale, la mise en œuvre des bois sur le chaland répond à des contraintes techniques et environnementales. Mais elle est aussi profondément empreinte de l'héritage du passé. Aussi, le chaland présente plusieurs caractéristiques connues de la charpenterie navale antique : la présence d'aubier et d'écorce qui souligne la recherche d'un rendement maximum de la matière première au détriment de la qualité des planches, l'équarrissage grossier sur bois de brin qui permet de conserver la grosseur naturelle des troncs, mais aussi le débitage des pièces maîtresses, comme celles constitutives de la sole, dans le cœur des grumes afin de leur procurer une stabilité dimensionnelle au séchage et le recours au cintrage à chaud, technique qui a été développée pour ployer les bordages de sole et former les levées avant et arrière ainsi que pour le ployage des bordés de flanc qui caractérisent la forme fuselée du chaland.

De même, *Arles-Rhône 3* relève des caractéristiques de la charpenterie mise en œuvre pour la construction des chalands gallo-romains d'origine européenne. Ainsi, les planches taillées au plus large possible dans une grume sont caractéristiques de l'héritage de la tradition de l'architecture navale de l'âge du Bronze. De même, le type de débitage des grumes sur plot se fait aussi au détriment du façonnage des cans où l'aubier est conservé à l'emplacement même des jointures et les fentes de dessiccation sont fréquentes au milieu des planches du bordé. Quant aux courbes, elles sont affaiblies par la découpe trop importante de leur coude. Comme pour les chalands de Bevaix et de Lyon Saint-Georges, le débitage des pièces suit sensiblement le même schéma et une riche panoplie d'outils de charpentier est identifiée. En particulier, avec une sole intégralement réalisée en bois de chêne caducifolié et un bordé constitué de deux demi-troncs de sapin, il rejoint fidèlement la famille des chalands du groupe Rhône-Saône.

La conception architecturale d'ensemble du chaland *Arles-Rhône 3* s'organise autour de son fond plat : toute l'architecture de sa coque repose ainsi, au niveau de sa conception générale (dimensions et formes) mais aussi au niveau de sa construction, sur la sole qui représente une unité architecturale cohérente. La rigidité longitudinale est ici assurée par les bordés monoxyles de transition principaux et les bordés de flanc en demi-tronc tandis que la rigidité transversale est assurée par la membrure. Les bouchains participent aussi de façon essentielle à la conception générale de la géométrie de la sole et, plus globalement, à celle de l'ensemble de la coque.

L'étude architecturale et le déroulement des séquences de construction (36) montrent que ce chaland relève d'une construction complexe et soignée avec, notamment, un agencement parfaitement symétrique des structures de la coque (bouchains et bordés de flanc), d'un bord à l'autre. Au-delà de la maîtrise des procédés de construction, révélateurs de pratiques parfaitement assimilées de longue date, le chaland *Arles-Rhône 3* témoigne aussi d'une conception élaborée avec une forme de coque fuselée et très étroite, singulière au sein de la batellerie gallo-romaine.

## Présentation et analyse du système mécanique

La découverte d'un mât de halage témoigne du mode de propulsion principal de ce chaland pour remonter le courant. Il s'agit d'une grume

en frêne, longue de 3,70 m, qui présente, en hauteur, deux cerclages métalliques vraisemblablement destinés à son haubanage, et une gorge avec des traces de passage du câble de halage. Inséré à travers le banc d'étambrai et dans la varangue-emplanture, il était disposé au tiers avant du chaland afin de rendre le halage efficace. L'hypothèse d'un second mât de dimensions plus importantes doté d'une voile est exclue. En revanche, il est possible qu'une petite voile d'appoint ait pu être gréée sur le mât de halage, lors de vents favorables, pour faciliter la descente.

Si le perchage est considéré comme le complément indissociable du halage, aucun vestige, ni indice en lien avec ce type de propulsion, n'a cependant été retrouvé sur l'épave. Les deux perches retrouvées à la proue sont trop petites pour avoir joué ce rôle propulsif et il pourrait s'agir de perches de sonde, également utilisées dans les manœuvres ou l'amarrage du bateau.

De même, si des rames ont été utilisées comme compléments à la navigation ou pour assurer les manœuvres, aucune n'a été retrouvée dans l'épave. Les rames faisant partie de l'armement de bord indispensable à tous bateaux, il est probable que le chaland en ait été doté; les orifices percés à l'interface des bordés de flanc en demi-tronc et des plats-bords, sur l'avant et l'arrière, permettent de supposer qu'elles aient pu être maintenues aux plats-bords au moyen de cordages.

La pelle de gouverne, ou rame-gouvernail, découverte en 2004 à environ 150 m en aval de l'épave *Arles-Rhône 3*, a été associée au chaland en raison de la concordance de leur datation et de leurs rapports de proportion. Il s'agit d'une pièce monoxyle en chêne caducifolié de 7,20 m de longueur dont il manque peut-être un peu plus d'1 m au niveau de l'extrémité arrière de la pelle qui aurait été arrachée et retaillée. Dans la partie supérieure du manche, un orifice circulaire permettait de recevoir un *clavus*, non conservé, pour la direction du bateau qui pouvait être assurée, depuis une plateforme située au niveau du plat-bord, soit par rotation axiale, soit par large débattement latéral de la rame.

## En lien avec l'arrimage, les manœuvres et l'amarrage du chaland : le matériel d'accastillage du chaland

De nombreux fragments de cordages ont été retrouvés sur l'ensemble de l'épave. De dimensions et de factures diverses, ils ont été inégalement préservés. La présence d'orifices percés sur le haut des cloisons du caisson ainsi qu'au niveau des plats-bords, l'existence d'un taquet ainsi que les traces d'usures observées en divers endroits du chaland attestent également de l'existence de cordages aujourd'hui disparus. Dans la partie supérieure des cloisons longitudinales du caisson, les cordages sont à mettre en relation avec la mise en place d'une bâche en tissu destinée à protéger une cargaison fragile ou périssable. Les cordages du plat-bord peuvent être mis en relation avec l'utilisation de rames éventuelles tandis que le taquet était destiné au blocage de cordages, en lien avec les manœuvres du chaland. A la proue, un fragment de cordage de dimensions plus importantes et bien conservé a été découvert en place. Il est à mettre en relation avec le maintien du mât, le contrôle de l'angle du câble de halage ou avec les manœuvres d'amarrage du bateau. Les trois éléments de cordage analysés, bien que fabriqués avec le même type de matériau (du liber), présentent des caractéristiques de fabrication diffé-

rentes. Ce constat suggère des utilisations requérant des qualités différentes, notamment en termes de résistance aux actions mécaniques de tractions, de maintien, de déformation et de souplesse.

En lien avec l'amarrage du chaland, il semblerait que l'extrémité d'une équoirre ait été découverte au niveau de la proue, en 2010. Destinée à assurer l'écartement du bateau par rapport à la berge et à le maintenir parallèle à celle-ci, l'existence de cette pièce – qui n'a pas été retrouvée lors de la fouille de 2011 – permet d'accréditer l'hypothèse que le chaland était amarré au moment de son naufrage.

## Restitution des formes et études hydrostatiques

Bien qu'elle ait été préservée de manière exceptionnelle, l'épave *Arles-Rhône 3* présentait des caractéristiques morphologiques (nombreuses dissymétries de construction, déformations de la structure, etc.) qui ont particulièrement compliqué le travail de restitution de l'ensemble du bateau. Le processus de recherche des formes a ainsi nécessité un travail simultané sur différents grands ensembles architecturaux afin de restituer fidèlement les principales inconnues morphologiques telles que l'ouverture des flancs ou bien encore le positionnement et l'importance des levées avant et arrière du chaland. Une fois cette étape finalisée, il s'avérait possible de compléter les parties manquantes du bateau en relation, notamment, avec ses appareils de propulsion et de direction : complexe relié à la manœuvre de la pelle de gouverne, installation de la pelle sur la poupe, fonctionnement et fixation du mât de halage. De cette étude de restitution découle aussi une étude hydrostatique, rendue possible par l'analyse de l'importance et de la répartition dans le bateau des poids et des volumes. L'étude de restitution donne finalement à voir un chaland très long et très étroit, de 31 m de long sur moins de 3 m de large, dont la capacité de charge maximale peut être évaluée aux alentours de vingt tonnes (correspondant au dernier chargement transporté par le chaland), pour un déplacement global proche des trente tonnes métriques et un enfoncement de 51,6 cm.

## La navigation du chaland

Pour descendre le fleuve, le chaland se laissait porter par le courant. Des rames d'appoint pouvaient néanmoins être utilisées soit pour accélérer la descente soit pour assurer la manœuvre dans les courants. Si les eaux du fleuve étaient basses, des perches de sondes pouvaient être utilisées. Pour la remonte, en revanche, il fallait vaincre le fort courant du fleuve et surmonter les obstacles qui se présentaient. La remontée du fleuve s'effectuait par halage. Jusqu'à la fin du xv<sup>e</sup> s, le halage sur le Rhône était assuré par des hommes (« halage au col »). Pour l'Antiquité, on ne dispose que de peu de documents sur le halage ; il s'agit de témoignages textuels (Martial, Ausone et Sidoine Apollinaire) et iconographiques (bas-reliefs de Cabrières-d'Aigues, de Colonzelle, d'Igel, de Neumagen, et sur la statue représentant *Le Tibre*) en relation avec le bassin rhodanien (Rhône, Saône et Durance), la Moselle et le Tibre. En termes de puissance, ce sont les documents du Moyen Âge qui renseignent le rapport de un haleur pour 1,5 tonne de charge utile. Ainsi, pour le chaland *Arles-Rhône 3* chargé au maximum de ses capacités, une vingtaine de haleurs étaient nécessaires.

selle fine, on compte trois céramiques sigillées sud-gauloises, trois céramiques à parois fines, deux céramiques communes engobées ; les céramiques communes comptent huit céramiques à cuisson réductrice et trois céramiques communes claires ; à ce mobilier s'ajoute une lampe présentant des traces d'utilisation.

Au regard de l'étude du mobilier céramique, les trois pièces en sigillée

## CHAPITRE 6. MOBILIER DE BORD ET CARGAISON

### Le mobilier de bord du chaland *Arles-Rhône 3*

Découverte à la poupe, la vaisselle de bord était séparée du dépotoir portuaire, qui recouvrait l'épave, par une couche d'argile d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur. A proximité d'un fond de *dolium*, utilisé comme brasero, la dotation de bord regroupe vingt pièces. Parmi la vais-



de La Graufesenque permettent de proposer une date du naufrage dans une fourchette chronologique comprise entre les années 50/55 et 65/70 ap. J.-C.

L'étude met par ailleurs en évidence des catégories dont la diffusion s'étend sur un large territoire, comme les sigillées de l'Aveyron ou encore les productions rhodaniennes. Deux autres types de céramiques présentent, en revanche, un intérêt particulier. Il s'agit des parois fines de Bétique dont l'axe de pénétration commerciale semble être contenu au niveau de la basse vallée du Rhône. De la même façon, l'urne non tournée de la vallée de l'Argens appartient à une catégorie dont la distribution côtière, par cabotage, apparaît de façon ponctuelle dans plusieurs ports du littoral situés entre Port-Vendres et Gênes. Arles semble également correspondre à la partie la plus septentrionale et occidentale de la diffusion des modelées varoises.

Le mobilier de bord en métal et en bois découvert sur l'épave provient également de l'arrière du chaland où un réa de poulie en bois et trois outils en fer ont été découverts. Le réa est un objet isolé, très usé et dépourvu de coussinet qui incite à penser qu'il s'agit là d'une pièce usagée mise au rebut. Cette pièce n'est sans doute pas liée à un élément d'accastillage et a été interprétée comme appartenant à un palan pour soulever toutes sortes de charges. Parmi les outils, la serpe vigneronne, encore pourvue d'une partie de son manche en bois, a pu servir à débroussailler les chemins de halage et à récolter le bois nécessaire pour alimenter le foyer. Elle a pu être utile, aussi, pour la taille de certains accessoires, comme les perches découvertes à l'avant du bateau. La houe, pourvue de son manche entièrement conservé, est un outil agricole dont la présence, sur le chaland, peut s'expliquer par la nécessité de confectionner des marches sur la berge ou encore de déplacer les blocs de pierre de la cargaison. Le fer plat à douille, enfin, a été interprété comme un écorçoir ou un racloir. Il a pu servir à se procurer de l'écorce pour allumer un feu ou à racler le fond du *dolium* pour le nettoyer des résidus de matière calcinée collés sur le fond et les parois.

En relation avec le fond de *dolium* remployé comme braséro à bord, des fragments de charbon de bois ont été découverts à l'intérieur du foyer ainsi que sur le fond de la coque, à proximité. À l'avant, c'est directement du bois de chauffage qui a été retrouvé, stocké à même la sole. Les charbons de bois du *dolium* ont fait l'objet d'une analyse anthracologique, tandis que les bois carbonisés découverts sur le fond de la coque et les bois de chauffage de l'avant ont fait l'objet d'une analyse xylogologique. Les résultats révèlent l'utilisation, pour l'alimentation du foyer, d'essences issues de la végétation méditerranéenne (filaire, nerprun, frêne) et de taxons exogènes, caractéristiques d'une région plus septentrionale de la vallée du Rhône (hêtre) mais aussi de l'environnement montagnard et

alpin (sapin et mélèze/épicéa) qui impliquent un approvisionnement extérieur à la Basse-Provence. Il est possible que les planches abîmées du caisson, en résineux, aient servi à alimenter le foyer à moins qu'il ne s'agisse de récupération de chutes de bois provenant de chantiers navals. Le bois de chauffage, stocké à la proue, se présente sous forme de quatre branches de bois de chêne vert non écorcées, grossièrement élaguées, sans doute récupérées parmi la végétation locale disponible pour ses qualités de combustible.

### La cargaison du chaland *Arles-Rhône 3* : un chargement de pierres de construction

L'étude géologique a permis de caractériser les blocs de la cargaison et d'en déterminer la provenance. L'analyse pétrographique montre qu'il s'agit d'un calcaire bioclastique appartenant à la famille des molasses burdigaliennes, de type grainstone ou biosparite avec de nombreux bioclastes récifaux. Les essais pétrophysiques (porosité, capillarité, vitesse du son...) permettent de classer ce matériau parmi les meilleures des molasses burdigaliennes de Provence pour la construction. Ces blocs proviennent vraisemblablement des carrières de Saint-Gabriel (*Ermaginum*). Les deux matériaux présentent le même microfaciès et les mêmes propriétés physiques. Des pierres comparables ont été identifiées sur le site de la Verrerie, un quartier de *domus* datées du 1<sup>er</sup> s. av. au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C., à Arles. Elles ont aussi été retrouvées et analysées sur plusieurs sites d'occupation romaine en aval d'Arles, confirmant que la pierre de Saint-Gabriel était transportée et employée pour la construction en Camargue à cette époque.

Constitué de 21 tonnes de blocs de calcaire ordinaires, le chargement, grâce aux analyses géologiques, permet ainsi de reconstituer le dernier voyage du chaland *Arles-Rhône 3*. Le trajet entrepris par ces pierres, de la carrière jusqu'au site du naufrage, par la voie terrestre ou par la voie d'eau (Duransole), peut être discuté. De même, deux hypothèses peuvent être proposées pour la destination finale que ce chargement n'aura jamais atteinte. La première pointe les chantiers arlésiens (pour la construction de *domus*, l'aménagement de berges...) tandis que la seconde envisage la Camargue, région où font défaut les ressources lithiques (pour la construction de *villae*, de fermes, de voies, de berges...). Cette découverte met en évidence un commerce méconnu, dont l'importance est souvent sous-estimée, et qui permet d'approvisionner soit des chantiers de construction nécessitant un apport important de pierres soit des régions où la pierre fait défaut.

## CHAPITRE 7. DATATION, NAUFRAGE ET DURÉE DE VIE DU CHALAND ARLES-RHÔNE 3

### La datation du chaland

Parmi les différents marqueurs chronologiques dont on dispose pour le chaland *Arles-Rhône 3* (datation <sup>14</sup>C, dendrochronologie, matériel archéologique, mobilier de bord et monnaie votive), c'est l'étude dendrochronologique qui nous permet d'approcher au mieux la date de construction du chaland. Si elle n'a pas permis de connaître la date exacte de l'abattage des arbres, elle propose une fourchette chronologique inscrite dans les années 51-60, avec une forte probabilité pour un abattage, et donc une construction, dans la première décennie de la deuxième moitié du I<sup>er</sup> s. de notre ère.

Les études dendromorphologiques conduites sur le site proposent quant à elles un *terminus post quem* à la perte du chaland fixé à 66 ap. J.-C. Par conséquent, si on croise les données chronologiques issues de la datation du mobilier de bord et des datations radiocarbone (intervalle 2 sigma) des stratigraphies, et si l'on retient la limite radiocarbone supérieure des dépôts sous-jacents, le naufrage peut être situé entre 66 et le début des années 70 ap. J.-C.

### La cause du naufrage

Trois explications peuvent être avancées pour expliquer le naufrage violent et rapide de ce chaland, mais l'hypothèse d'une crue semble être la plus probante. La couche d'argile qui recouvrait l'intérieur de l'épave, scellant le mobilier de bord contre le fond de la coque et que l'on retrouve dans les interstices des pierres de chargement, révèle en effet un épisode de décrue qui a succédé immédiatement à une crue. Un tel événement expliquerait que le bateau ait été englouti rapidement, notamment si celui-ci était, comme on le pense, amarré et qu'il était alors pleinement chargé avec à peine 23 cm de franc-bord libre. Une rapide montée du Rhône aurait alors fait passer l'eau par-dessus bord, faisant sombrer le chaland au fond du fleuve. Cette hypothèse recoupe parfaitement les données sédimentaires mises en évidence par les analyses géomorphologiques du site ainsi que les attestations de dépôts de crue dans des stratigraphies archéologiques de la rive droite du Rhône pour la deuxième moitié du 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C.

## La question de la durée de vie d'Arles-Rhône 3 et de celle de la longévité des chalands gallo-romains du bassin rhodanien

La question de la durée de vie d'un bateau est une question généralement difficile à aborder, notamment dans le cas des épaves antiques. Pour l'épave *Arles-Rhône 3*, l'étude révèle cependant une durée de vie maximale de l'ordre d'une vingtaine d'années, comprise entre 50 et le début des années 70 ap. J.-C. Si l'on considère que la coque du chaland, bien que présentant de nombreuses réparations, ne semblait pas attester d'une utilisation très longue, cette durée de vie peut sans doute être réduite à

moins de dix ans, voire moins de cinq ans. Mais la question de la longévité de ce chaland, c'est-à-dire sa durée de vie programmée dans des conditions optimales d'utilisation, mérite réflexion dans la mesure où cette discussion n'a jamais été engagée pour les chalands gallo-romains du bassin rhodanien. Pour le moment, en l'absence de données conséquentes, seuls les documents du Moyen Âge permettent de révéler que, selon les types de bateaux, la qualité de leur construction et de leur entretien mais aussi de leur utilisation, la longévité des barques du Rhône s'inscrit dans une fourchette chronologique très étroite, comprise entre six ans et une douzaine d'années.

## CHAPITRE 8. ORIGINE, FONCTION, ZONE DE VIE, ESPACE DE NAVIGATION ET ARMEMENT DU CHALAND

### L'origine du chaland : le lieu de construction présumé

Si les chênes utilisés pour la construction du chaland proviennent de la région de Chalon-sur-Saône et les bois de résineux des montagnes alpines ou jurassiennes/vosgiennes, les analyses moléculaires et isotopiques, de même que les analyses polliniques réalisées sur plusieurs échantillons de matériaux d'étanchéité, montrent que la poix utilisée pour la construction et les réparations a été fabriquée en région méditerranéenne. Le lieu de découverte de l'épave, son espace de circulation lors de son dernier voyage et l'étude du mobilier de bord, qui met en évidence des céramiques dont la circulation semble circonscrite à la basse vallée du Rhône, permettent de retenir l'hypothèse d'un chaland inscrit dans la section inférieure du Rhône et, donc, de privilégier une construction dans cette aire géographique. Dans cette perspective, les bois auraient alors été acheminés par flottage, une pratique bien attestée dès l'Antiquité, et notamment pour le Rhône, dans le cadre d'un commerce organisé. Si une aire de construction en région méditerranéenne est probable, l'hypothèse d'une construction du chaland dans les chantiers navals d'Arles qui, selon le témoignage de César, devaient réunir les moyens logistiques, techniques et humains nécessaires à la construction d'un tel bateau, est tentante. Les sept inscriptions, découvertes imprimées plusieurs fois dans des planches du chaland, sembleraient ainsi correspondre à des logiques de stockage des bois, à mettre en relation avec un arsenal important.

### La fonction du chaland

La fonction du chaland *Arles-Rhône 3* est celle d'une unité fluviale de transport. Le dernier chargement transporté par ce bateau témoigne d'un transport de matériaux pondéreux à destination d'Arles (pour l'aménagement des berges, la construction de monuments publics ou encore d'une *domus*) ou de la Camargue (construction de villas, fermes, voies, berges *etc.*). Le caractère amovible et modulable du caisson destiné à recevoir le chargement de pierres conduit également à envisager que d'autres types de cargaison aient pu être transportés sur ce chaland.

### La vie à bord

Une zone de vie était aménagée à bord. Située entre le tableau de poupe et la zone du barreau, sur l'arrière, elle comprenait un mobilier de cuisine

et des outils. Autour d'un fond de *dolium* réutilisé comme foyer, ce sont des céramiques de préparation (bouilloires, mortier) et de la vaisselle (bols, assiettes), qui attestent d'une activité de cuisine à bord. Le comptage de cette vaisselle permet de déterminer la présence probable de trois bateliers dont l'un a gravé ses initiales (AT) sur le fond d'une assiette et sur le col d'une cruche. Des outils multifonctionnels (serpe vigneronne, houe, fer plat à douille) étaient également utilisés par les bateliers pour de menus travaux à bord.

### L'espace de navigation du chaland et la question de son armement

Si la forme du chaland *Arles-Rhône 3* semble répondre parfaitement aux exigences d'une navigation à fort courant telle que celle rencontrée en amont d'Arles, sa capacité de chargement limitée tend à l'inscrire dans un circuit économique local, à l'image de ce que nous révèle son dernier voyage. Naviguant sur la section inférieure du Rhône, on imagine un chaland assurant des rotations régulières pour le transport de marchandises : matériaux de construction – ou tout type de matériaux pondéreux – à la descente et un chargement plus léger à la remonte comme des animaux (chèvres et/ou moutons) ou encore des céréales, des ballots de laine et du sel, au retour de Camargue. Les questions de l'armement du chaland et de l'organisation de la navigation sur le fleuve demeurent néanmoins entières. De même, il est impossible de répondre à la question des contrats d'affrètements et la possibilité d'un commanditaire public, avec un chaland intervenant dans le cadre de « missions de service public », comme celle d'un commanditaire privé (un propriétaire arlésien ?) peut être envisagée.

Au-delà des problématiques soulevées par le chaland *Arles-Rhône 3* et des hypothèses qui ont pu être avancées, l'étude de cette épave pose finalement la question plus globale de l'économie des transports par eau sur le Rhône à l'époque romaine. Ainsi, pour le transport des matériaux et autres marchandises sur le fleuve, si on peut imaginer une noria de bateaux, et notamment de chalands, à la descente comme à la remonte, sur des sections plus ou moins courtes du fleuve, en fonction des intérêts économiques et des caractéristiques architecturales de ces bateaux, et selon des rythmes imposés par le fleuve, il reste encore tout à écrire sur le sujet.

## CHAPITRE 9. LE CHALAND ARLES-RHÔNE 3 DANS LA BATELLERIE GALLO-ROMAINE : ÉTUDE TYPOLOGIQUE ET INTERPRÉTATION HISTORIQUE

### Retour sur la tradition « Rhône-Saône »

L'évolution des problématiques archéologiques d'une part, l'enrichissement des sources archéologiques au cours de la dernière décennie d'autre part (neuf épaves de chalands datées du I<sup>er</sup> au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C. fouillées au sein du bassin « Rhône-Saône »), et enfin l'évolution des méthodes de fouille, d'enregistrement et de traitement post-fouille des données archéologiques ont conduit à modifier et à renouveler le questionnement historique sur l'architecture navale fluviale « gallo-romaine ».

La tradition architecturale « Rhône-Saône » est attestée dès le I<sup>er</sup> s. ap. J.-C. avec les épaves de la place Tolozan à Lyon (30 ap. J.-C.), du pont antique de Chalon-sur-Saône (50-70 ap. J.-C.) d'*Arles-Rhône 3* (années 50 ap. J.-C.). A ces épaves s'ajoutent celles du Parc Saint-Georges à Lyon datées du I<sup>er</sup> au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C. ainsi que l'épave *Arles-Rhône 5* (provisoirement datée entre 51 av. J.-C. et 135 ap. J.-C.). Ces épaves construites « sur sole » relèvent d'une architecture monoxyle-assemblée à l'exception de l'épave PSG *Ep. 8* (années 55 ap. J.-C.) dont la construction « sur sole » est intégralement assemblée.

Les caractéristiques les plus significatives de l'architecture navale fluviale de tradition « Rhône-Saône » renvoient à des influences techniques d'origine méditerranéenne et maritime : recours systématique pour l'étanchéité des coutures entre les pièces assemblées à des tissus poissés disposés selon la technique du lutage (caractéristique commune à l'ensemble des épaves) ; pré-assemblage des virures de la sole au moyen d'un réseau de tenons (non chevillés) enfoncés dans des mortaises (épaves de Tolozan, Chalon-sur-Saône et PSG *Ep. 8*) ; usage de bandes de plomb clouées et recouvrant intérieurement les coutures de la sole et des flancs à la façon des « palâtres » de la construction navale fluviale (épaves PSG *Ep. 2* et *Ep. 4*).

A ces trois caractéristiques partagées avec la construction navale maritime antique s'ajoute une quatrième renvoyant à une tradition architecturale spécifiquement fluviale et représentant une sorte de « mémoire » de l'architecture monoxyle : l'emploi de demi-troncs de résineux pour la réalisation des flancs des chalands à structure monoxyle-assemblée.

### L'épave *Arles-Rhône 3* et la tradition « Rhône-Saône »

Une des trois signatures architecturales d'origine maritime et méditerranéenne est présente dans l'épave *Arles-Rhône 3* : l'étanchéité au moyen de tissus poissés. Et la signature architecturale d'origine fluviale et continentale est remarquablement attestée avec des flancs constitués de demi-troncs de sapin de 26 m de longueur chacun. A ces caractéristiques communes des bateaux de tradition « Rhône-Saône » se greffent des caractéristiques originales qualifiables de « signatures architecturales de chantier » dont la plus remarquable, sur le plan structural, porte sur la nature mixte des bouchains : bordés monoxyles pour le « corps » de la coque, bouchains composés et assemblés pour la levée arrière et bouchains mixtes, composés et assemblés, associés à des bordés monoxyles de transition, pour la levée avant.

Du point de vue morphologique, la « signature architecture » originale la plus visible du chaland *Arles-Rhône 3* concerne la géométrie de sa coque qui se rattache globalement à la classe des « bateaux polygonaux de type octogonal » de la typologie établie par Béat Arnold mais avec une géométrie des proportions bien particulière caractérisée par un coefficient d'allongement (rapport longueur/largeur) de 1/10 qui s'avère être le plus élevé des épaves de bateaux fluviaux de tradition « gallo-romaine » dont la moyenne la plus haute se situe entre 1/6 et 1/7. Cette finesse de la coque présente la particularité d'être associée à une très longue levée avant. Une autre illustration de l'originalité morphologique du chaland *Arles-Rhône 3* porte sur la partie de la coque réservée

à la cargaison qui n'occupe pratiquement que la moitié du rectangle circonscrit à la flottaison alors que dans le cas de l'épave *De Meern 1*, par exemple, elle constitue près des trois quarts de ce même rectangle de référence. Ces deux valeurs sont révélatrices de deux choix architecturaux et fonctionnels : pour un coefficient d'allongement très élevé et de valeur proche, on constate l'existence de deux géométries très différentes se traduisant pour l'épave *De Meern 1* par une simplicité de forme favorisant l'espace destiné à la cargaison et, pour l'épave *Arles-Rhône 3*, par une plus grande complexité de forme au détriment de l'espace réservé à la cargaison.

La question centrale qui est posée est celle de l'interprétation de ces « signatures architecturales de chantier » du chaland *Arles-Rhône 3*.

En termes de poids, le « coefficient de lourdeur » (rapport du déplacement lège (coque nue) pour une longueur de coque de 1 m) de l'épave *Arles-Rhône 3* s'établit à 0,26 t/m et pour l'épave PSG *Ep. 4*, qui est de même tradition et de longueur comparable, à 0,67 t/m soit presque trois fois le coefficient précédent. Ces chiffres confirment le fait que les charpentiers du chaland d'Arles ont fait le choix d'une construction relativement légère en correspondance avec un coefficient d'allongement L/l très élevé de 1/10.

En termes de capacité de charge, le « coefficient de rentabilité » (rapport entre le port et une longueur de coque de 1 m), est de 0,69 t/m dans le cas d'*Arles-Rhône 3* et de 1,96 t/m dans le cas du chaland PSG *Ep. 4*. Ce coefficient, au plan de l'économie des transports par eau, apparaît beaucoup plus favorable dans le cas de l'épave PSG *Ep. 4* que dans celui du chaland *Arles-Rhône 3*. Toutefois, cette différence de « coefficient de rentabilité » en valeur absolue, en correspondance avec les capacités de charge, serait sans doute à relativiser en fonction, d'une part, de la nature des transports par eau (transport de proximité en amont et en aval d'Arles dans le cas du chaland *Arles-Rhône 3* et à longue distance dans celui du chaland PSG *Ep. 4*) et, d'autre part, selon les diverses navigabilités des secteurs considérés du bassin « Rhône-Saône ».

### Le chaland *Arles-Rhône 3* et la cité portuaire d'Arles

L'une des questions importantes évoquée concerne le rôle de la cité d'Arles et de son port fluviomaritime, lieu d'échanges et d'influences techniques, au sein de la tradition architecturale « Rhône-Saône ».

Les dimensions imposantes comme la complexité de la structure du chaland *Arles-Rhône 3* démontrent que les chantiers navals arlésiens, outre des possibilités importantes d'approvisionnements en bois de taille imposante, avaient une grande maîtrise technique, en termes de savoir et de savoir-faire, qui ne peut se comprendre que par rapport à des pratiques techniques inscrites dans un passé ayant intégré les influences des chantiers navals maritimes méditerranéens, le chaland *Arles-Rhône 3* reproduisant ainsi une architecture d'unités similaires antérieures à l'époque de sa construction.

Construire un bateau de 31 m de long comme celui d'*Arles-Rhône 3* soulève, par ailleurs, deux questions principales : celle de la nature du chantier naval avec ses moyens techniques, économiques et humains (main d'œuvre spécialisée) d'une part et celle de l'utilisation du chaland d'autre part à savoir : qui affrétait, pour qui, dans quel cadre et avec quels moyens ?

La pénétration de l'influence romaine en Gaule le long de l'axe « Rhône-Saône » et la position stratégique d'Arles à l'interface des influences des techniques de construction maritime venues de la Méditerranée et de celles fluviales issues de la Gaule continentale, conduit aussi à s'interroger sur l'importance des chantiers navals d'Arles et sur leur rôle dans le développement et la diffusion vers l'amont de la tradition architecturale « Rhône-Saône ».

## Conclusion

Au terme de la réflexion sur l'interprétation historique de l'épave du chaland *Arles-Rhône 3*, il apparaît manifeste que c'est dans une perspective de grande diversité architecturale qu'il faut replacer cette épave qui, au sein de la tradition « Rhône-Saône », ne représente ainsi qu'une « famille architecturale », plus particulière au Bas-Rhône et à « l'espace

nautique arlésien », à côté d'autres familles plus propres aux espaces nautiques d'amont comme la famille constituée par les épaves des chalands du Parc Saint-Georges.

Après les épaves de Lyon, l'épave *Arles-Rhône 3* contribue à son tour à l'élaboration de cette « nouvelle histoire » de l'architecture nautique fluviale antique.

# ABSTRACTS

## CHAPTER 1. A OVERVIEW OF THE CAMPAIGNS AND RESEARCH ON THE *ARLES-RHÔNE 3* SHIPWRECK

The *Arles-Rhône 3* shipwreck was discovered in 2004 during an archaeological mapping operation undertaken by the Drassm in the Rhône at Arles. The wreck was located on the right bank of the river between 4 to 9 m depth and beneath 40 cm to 2 m of sediment that corresponded to layers of port refuse of the Roman city. First assessed in 2005 and 2006, soundings were then taking in 2007 before a programme of excavations was established beginning in 2008 under the joint supervision of archaeologists from the Arkaeos association, the Centre Camille Jullian and the Museum of Arles Antique. Three years of excavation revealed the exceptional state of preservation of this Gallo-Roman barge. It appeared that the hull was almost entirely conserved along with the internal layout for loading and the inner furniture, and thus the General Council of the Bouches-du-Rhône in agreement with the Drassm, has decided that, after excavation, the wreck would be lifted from the site with a view to restoration and eventual public exhibition. The excavation and raising of the barge took place in 2011, carried out by the teams of the Arles Museum of Antiquity, associated to the O'Can and Ipso Facto companies, with the support of the Drassm. In the end, it took 237 days of excavation involving some 5700 dive hours in order to excavate more

than 1000 m<sup>3</sup> of the port refuse sediment that enveloped the wreck, of which some 900 m<sup>3</sup> were sifted on land as part of the dig. The stratigraphy of the refuse layers in this immediate site was documented and the archaeological material found within was handed over to the Museum of Arles Antique, which now exhibits a part of these collections while the remainder is under study and analysis. After excavation and documentation *in situ*, the wreck was lifted onto land in ten sections, which were then recorded and surveyed in 3D using a C-Track imaging tool. There then followed a series of treatments in the ARC-Nucléart laboratory in Grenoble involving immersion in PEG solutions, freeze-drying and a complementary treatment by impregnation with a polyester resin and gamma radiation for the bow and mast. Thereafter, the 200-odd pieces of the boat were reassembled by restorers of the Grenoble workshop in collaboration with boilermakers from the Cic-Orio company, while restorers from A-Corros were responsible for the metallic elements of the wreck. The barge is now exhibited as if navigating, with a part of its load, its internal furnishing and sailing gear, within a specially built wing on the Museum of Arles Antique dedicated to the sea-river activities of Arles port in the Roman era.

## CHAPTER 2. METHODOLOGY. EXCAVATING UNDERWATER, ANALYSIS ON LAND: DEFINING THE OPERATIONAL PROCEDURES

Work conditions in the Rhône are generally difficult because of the current and reduced visibility. Despite these difficulties, the *Arles-Rhône 3* site, comprising the port refuse layers and the wreck of the barge, was able to be excavated using the classic methodology adapted for underwater archaeological sites. From the technical side, air suction hoses were used in 2010 and 2011 during excavation of the refuse layers covering the wreck. A sifting system was set up on the surface in 2011 in order to recover what was ejected from the suction hoses and sort through the material that had not been directly lifted from the site. On the other hand, only water suction hoses were used to clear and clean the hull of the wreck, which was then systematically surveyed. Between 2008 and 2011, a full series of core samples was taken from between the wreck and the quay, between the wreck and the channel and under the wreck in order to record the sedimentary and geomorphological environment of the barge at the moment of its sinking.

At the end of four years of excavation, the ensemble of methods and

techniques employed successfully led to the excavation, documentation and lifting of the wreck in its entirety. Above all, the final campaign witnessed the development of new excavation strategies and the establishment of complex operating procedures required to ensure the management, from dig to museum, of a diverse mass of archaeological elements (more than 3000 objects and almost 1200 crates of material) and also the sections and wood of the wreck from dig to restoration lab. The wood was the object of survey and observation underwater, when the sections were lifted, on the site, within the restoration lab and after treatment, and lastly inside the museum once the barge had been reassembled. A full complement of samples of organic material (pitch cloth, pitch, fragments of rope, fungi that had attacked the wood, charcoal) was taken to be analysed. In sum, one can consider that this publication presents an almost comprehensive study of the barge in all its aspects as undertaken by some 20 specialists.

## CHAPTER 3. THE CONTEXT OF THE WRECK

### The historical and archaeological context

In the middle of the 1<sup>st</sup> century AD, when the *Arles-Rhône 3* barge sunk into the waters of the Rhône, Arles had been a Roman colony for a little more than 100 years. The arrival of the Romans had completely changed the look of the town, which was already 500 years old. From the 30s BC, extensive works had taken place essentially on the left bank of the Rhône with considerable infill that led to the raising of the riverbanks. Also, in the Augustan period, the town was endowed with a forum, a theatre, and an arch located on the shores of the Rhône that would mark the crossing of a first pontoon bridge on the river. On the right bank, excavations would suggest that from the Augustan period this area was mostly occupied by light industry and trade.

Under Roman colonisation, the city of Arles was to develop rapidly. Its favourable location at the crossroads of major communication axes (roads, river and sea) would contribute to its growing wealth. The port of Arles would thus receive all the products of the Mediterranean and ensure their redistribution to the interior of the country (up to the *limes*) thanks to the south-north highway formed by the Rhône and its tributaries. And in reverse, it received products coming from the hinterland that were then spread throughout the Mediterranean. Shipping ensured the delivery and transit of these goods. Presently, we know of some 15 wrecks, dating from between the 1<sup>st</sup> century BC and the 4<sup>th</sup> AD, in the Rhône at Arles. These have been identified as river barges, sea-river vessels and small sea-going ships, and the variety of those wrecks that have been investi-

gated reflects the diversity of boats that plied the waters of the Rhône and called at the port of Arles in the Roman era. These wrecks are also evidence of the necessary complementarity between these different types of vessel. On the other hand, it is, above all, the hundreds of thousands of amphorae and ceramics that the Rhône holds which informs us as to the nature of exchange and trade flows. That which we have qualified as “port refuse” covers a much more complex character and it is, in the end, within this jumble of amphorae, ceramics and a thousands other objects as much related to internal fittings and shipping gear as to the consumption and craft activities of the town at the same period that the *Arles-Rhône 3* wreck was discovered. The build up of these refuse layers falls between the sinking of the barge and a *terminus ante quem* dated to around 140 AD.

### The palaeo-environmental context

The *Arles-Rhône 3* wreck, once set within its archaeological, geomorphological and sedimentological context, can lead to a proposed morphology of the Rhône channel that crossed Arles around the 1<sup>st</sup> century AD. The heavy works and banking of the channel played a probable role in the changing of hydraulic conditions that contributed to a contraction of the channel and improvement of its functioning. According to the stratigraphic data, the sinking occurred during a hydrological event of great intensity whose *terminus post quem*, as revealed by sedimentary sequence dating, is set at 66 AD.

## CHAPTER 4. BURIAL OF THE WRECK AND HUMAN ACTION: DYNAMISM AND STATE OF PRESERVATION OF THE REMAINS

Although the wood of the barge has been deformed or eaten away in places where it suffered greater or lesser damage (splits, cracks etc.) from multiple causes (sinking, burial, lifting, restoration treatment and handling), the overall state of preservation can be considered as good, if not very good. A precise reading and comprehensive study of its architectural characteristics is possible.

With the hull being almost complete – the preserved remains represent a little over 93 % of the entire hull – and the ensemble of internal fittings preserved, the *Arles-Rhône 3* wreck is probably one of the best preserved inland waterways vessels of antiquity.

## CHAPTER 5. THE BARGE

### The hull: an architectural study

*Arles-Rhône 3* wreck is a flat bottomed barge, the bottom being made of six large planks set two by two in three rows. To either side of the bottom, bilge strakes mark the transition from bottom to sides of the craft. Shaped like a flat L, they are made of a single piece of wood for most of the hull and composite at front and back. The sides of the craft are composed of impressive pieces: half trunks of recut fir topped to front and back by planks of the gunwale. The bilge strakes and the half-trunk side planking ensure the longitudinal rigidity of the boat while transversal rigidity is provided by 47 floor timbers and 20 knees set within the hull of. Among these floor timbers there is a mast step set in the front third of the boat that is much bigger than the others and has a squared mortise carved out of its centre to receive the mast foot. The mast is supported higher up as it passes through a thwart serving as mast partner. It was ahead of this mast step as the bow rises that a votive coin was discovered. The boat builders had slotted a silver denarius struck in Rome in 123 BC between the bilge strake and a stringer to the starboard side in order to bring good luck to the barge.

The bottom planking was assembled using transversal nails only at the edges of their joints and it was the attachment of the transversal wooden elements to the bottom and to the bilge strakes using many iron nails that maintained and ensured a cohesive whole. The sides were also affixed by nails to the bilge strakes and the frames. In total 1 700 nails were used, in two sizes (large and small) depending on the structural element being assembled. In addition four iron spikes were used to hold the mast thwart to the sides. Numerous iron fittings were found, notably to block the gaps that marked the extension of the sides towards the front and also on the bow itself, which is ringed with a veritable metal frame. Five nails were taken for metallographic analysis and this revealed very specific inclusions that would indicate high quality production. The material used was an iron-carbon alloy of which the carbon content would class it as at the limit between iron and steel. One of the nails showed the structural characteristics of mild steel. Micrographic images revealed a hot forging of the shank leading to a reduction in the size of the grains, thus improving the mechanical properties of the shank.

The watertightness of the hull was ensured by a luting technique involving pitch cloth inserted between the planks before assembly. An

analysis of the textiles has shown that the cloth was re-used woollen rags, selected according to their weave and mixed together before being soaked in pitch. This same substance, a heated pine resin, was also applied to the inside and outside of the hull once it had been constructed. The pitch was subjected to molecular and isotopic analyses – gas chromatography and mass spectrometry (GC/MS) – in order to determine the composition. The results indicated that the analysed samples were of pure coniferous pitch, produced at temperatures ranging between 300 °C and 350 °C, that then underwent a variety of changes which happened when the barge was navigating and then within the environment that enveloped the wreck. The isotopic analyses revealed that the pitch was all of the same, very probably Mediterranean origin. These results matched up with those of the pollen analyses that were also undertaken on the pitch. The recording of Mediterranean taxa (*Pinus halepensis* s., *Quercus ilex*, *Olea*, *Phillyrea*, scrubland trees such as *Quercus suber*, *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, and herbaceous species like *Hypocoum*, *Turgenia latifolia*) in all the samples seems to indicate that the pitch used in the construction and repairs of the boat was manufactured in the Mediterranean region at low altitude (preponderance of oak types) on the one hand and at middling altitude (presence of beech) on the other.

Several types of repairs were recorded on the *Arles-Rhône 3*. These were essentially repairs to cracks (in the bottom planking and the sides) that were made using pitch cloth or just the pitch itself. On the bow, small thin planks, equivalent to the french “palâtres”, were set over a number of seams to hold in place and protect the assembly joints. In order to fill the gaps in the half-trunk side planking, panels were also nailed on the top as well as on the inside and outside surfaces of the planks. These repair panels were probably placed to act as a back up to wood that was badly damaged by a fungal rot identified through mycological analysis on a couple of samples as *Cadophora fastigiata*. It has not, however, been possible to determine the moment when this fungus came in contact with the wood (before or after the construction, but also before or after the launching of the boat). A crack in the mast partner thwart was also repaired using nails and with the addition of a stanchion between the thwart and the mast step. For all these repair works, the question as to chronology and the moment they were done needs to be asked. Were they preventative actions at the moment of construction or remedial measures afterwards when the barge was in operation? Despite close observation, it has often been difficult to decide between the two. Nevertheless, the question as to the moment when these operations were realised is important in order to be able to estimate the quality of construction, the life span of the barge and the possible causes of sinking.

Another peculiarity of this wreck is that it has retained all its interior fittings. As regards the on-board furnishings discovered to the aft, protective planks were set against the bottom planks, stuck with pitch or directly onto the floor timbers. As for the cargo, a veritable hold over a length of almost 16 m was set up in the central section of the barge. This was made of fully detachable elements (in all, 140 longitudinal and transversal pieces plus lateral and transversal partitions), was closed on four sides and open to the air and represented a volume of between 13,33 m<sup>3</sup> and 19,20 m<sup>3</sup>.

Ten elements of the barge, including eight from the hold, bear seven different inscriptions marked with a hot iron and seven graffiti. Where comprehensible, the former refer to names, perhaps used as an order for storing the planks and/or identifying the builders. The graffiti appear as cross-hatching composed of a series of X or IX and of an angular R. Most probably they helped to identify planks or groups of planks.

In connection with the architectural study, the work done on the wood of the barge is part of the research into the technical history of Gallo-Roman water transport. Four disciplines were involved in the structural analyses: xylology, traceology, dendromorphology and dendrochronology. The aim is to define the raw material economy followed by the ancient carpenters precisely to identify the history of the development and evolution of the different pieces within the structure and to search for the absolute age of the remains in order to reveal the construction date

of the barge. The very good state of preservation as well as the quantity of the structures analysed has meant that we can present representative results for the great majority of the preserved remains. Overall, the characteristics of the woodwork of the *Arles-Rhône 3* barge show that the carpenters’ choice of tree species and cutting of the architectural pieces were aimed at quality performance. The basic structure and key components were all made from deciduous oak (bottom, bilge strakes, transversal woodwork, mast-step, mast partner thwart, extremity of the bow, steering oar). This is in contrast to the upper parts of the planking and internal arrangements, where different wood species are mixed in an unplanned manner, with softwood being in the majority (mostly fir, spruce, Scot’s type pine and deciduous oak). The mast is the only piece of ash. All of these species come from the Rhône valley and had to be transported by floating or hitch to shipyards. Whether oak or softwood, the trees used were mostly aged (oak a minimum of 32 to 158 years, fir a minimum of 160 to 234 years). The number of trees required for the construction of the initial structure of the barge (bottom, bilges, transversal woodwork, planking and mast), without the hold and internal fittings, is calculated at between 50 and 77 felled trees.

In general, the application of timber on the barge was dictated by technical and environmental constraints, but it was also profoundly marked by past heritage. The barge presents several known characteristics of ancient naval carpentry: the presence of sapwood and bark, which points out a desire to maximise the use of the raw material to the detriment of the quality of the planks, the rough canting of the log that retains the natural thickness of the trunks. There is also the cutting of the key pieces, such as those that compose the bottom, from the heart of the log in order to ensure that dimensions remain stable during drying, as well as the use of hot bending, a technique that was developed to curve the bottom planking and begin the upturn to fore and aft of the barge and also to curve the sides which give its special tapered form.

At the same time, *Arles-Rhône 3* also displays characteristics of the kind of carpentry applied in the construction of Gallo-Roman barges of European origin. The extraction of the widest possible planks from the rough log is characteristic of the traditional heritage of Bronze Age naval architecture. Also, the live cutting of the logs “débitage sur plot” is detrimental to the way the cans edges are shaped, leaving sapwood where joints will be, and drying cracks are often apparent in the middle of the planking. As for the frames, they are weakened because the elbow is too cut. Similar to the barges of Bevaix and Lyon Saint-Georges, the cutting of elements clearly follows the same plan and a wide selection of carpentry tools has been identified. The fact that the bottom is entirely made from deciduous oak and the sides are composed of two fir half-trunks faithfully connects the vessel to the barge family of the Rhône-Saône group.

The overall architectural design of the *Arles-Rhône 3* barge is organised around its flat bottom. From general design (dimensions and form) to construction, the architecture of the hull thus rests on the bottom, which represents a coherent architectural unit. Longitudinal rigidity is ensured by the principal transition planking being single-piece and the side planking being half-trunks, while transversal rigidity rests on the cross timbers. The bilge strakes also play an essential role in the general design of the bottom geometry and in the ensemble of the hull.

The study of the architecture and the sequences of construction (36) has provided evidence of a barge born of complex and careful construction with, in particular, a perfectly symmetrical layout of the hull structures (bilge strakes and side planking). But aside from the proficiency in construction processes that reveal longstanding mastery of practices, the *Arles-Rhône 3* barge also testifies to an advanced design with a very thin and tapered hull that stands alone within Gallo-Roman water transport.

## Introduction and analysis of the mechanical system

The discovery of a hauling mast is evidence of the main means of upstream propulsion. It was made of a 3,7 m long ash pole with two metal

bands at the top probably intended for shrouds, and a groove with traces of the towrope. Inserted through the mast partner thwart and into the mast step, it stood at the front third of the barge for efficient towing. The notion of a second larger mast for a sail has been rejected. On the other hand, it is possible that a small back-up sail might have been rigged to the hauling mast when the winds were favourable for downstream transport.

While poling is considered as a standard complement to hauling, no remains or related signs connected with this form of propulsion have been found on the wreck. The two poles found in the bow are too small to have been used in such a role, and they could be sounding poles, used either when manoeuvring or mooring the boat.

Likewise, while oars could be used to help navigation or to assist in manoeuvres, none has been found on the wreck. Since they are an indispensable part of every boat's equipment, it is probable that the barge had some and the holes pierced at the juncture between the half-trunk side planking and the gunwales fore and aft might suggest that oars were attached to the gunwales by rope.

The steering oar discovered in 2004 some 150 m downstream from the *Arles-Rhône 3* wreck has been associated with the barge because of similar dating and suitable proportions. It is a single piece of deciduous oak, 7.2 m long, from which slightly more than 1 m is missing from the farthest extremity of the blade that must have been broken and then recut. In the upper part of the handle, a circular hole will have held a now-missing *clavus* for steering the boat, which will have been done from a platform set at the level of the gunwale, either by axial rotation or wide lateral sweeps of the oar.

## Stowage, manoeuvring and mooring the barge: the fittings

Numerous fragments of rope were found throughout the wreck. Of different sizes and manufacture, they were not uniformly preserved. The presence of holes pierced through the upper part of the hold partitions as well as in the gunwales, the discovery of a cleat and the traces of wear at different points of the barge would all testify to the existence of ropes that have since disappeared. In the upper part of the hold's longitudinal partitions, the ropes would have been to secure a canvas sheet designed to protect any fragile or perishable cargo. Ropes on the gunwales could have been related to the use of oars, while the cleat was for securing ropes during manoeuvres of the barge. Towards the bow, a well preserved rope fragment of larger dimensions was discovered in place. It could be connected to staying the mast, controlling the angle of the towrope or mooring manoeuvres of the boat. The three pieces of rope that were analysed were made from the same material (liver) but with different manufacturing characteristics. This would suggest uses requiring different qualities in terms of resistance to the mechanical demands of traction, staying, strain and flex.

## CHAPTER 6. ON-BOARD EQUIPMENT AND CARGO

### The on-board equipment of the *Arles-Rhône 3* barge

The boat's tableware was discovered in the stern, separate and distinguishable from the port refuse that covered the wreck with a roughly 20 cm-thick layer of clay. The crew equipment was composed of twenty vessels found close to the lower section of a *dolium*, which had been re-used as a brazier. The fine wares comprised three South Gaulish Terra Sigillata vessels, three thin-walled wares and two colour coated wares. The coarse wares included eight reduction-fired vessels and three plain buff wares. A lamp bearing signs of use was also present.

The three silligated pieces from La Graufesenque have led to a proposed dating of the sinking to between 50/55 and 65/70 AD.

Also in connection with mooring the barge, it would seem that in 2010 the end of a mooring arm was discovered near the prow. This element would ensure that the boat was held away from and parallel to the bank and its existence would give credit to the hypothesis that the barge was moored at the time of its sinking.

## Reconstitution of the form and hydrostatic studies

Although exceptionally preserved, the *Arles-Rhône 3* wreck presented certain morphological characteristics (numerous asymmetries in construction, structural deformations) that made the reconstitution of the ensemble of the boat particularly complicated. The process of researching the forms thus required simultaneous work on different large architectural ensembles in order to reconstitute faithfully the unknown morphological principals, such as the angle of the sides and the position and extent of the upturn to fore and aft of the barge. Once this stage was achieved, it then became possible to complete the missing parts of the boat, most notably those involved in the propulsion and steering gear: the apparatus for manoeuvring the steering oar, the installation of this oar at the stern, the fixing and functioning of the hauling mast. The study required for reconstitution led to one of hydrostatics, made possible through an analysis of the size and spread of weight and volumes throughout the boat. In the end, the reconstitution study led us to a very long and very slender barge, 31 m by less than 3 m, with a maximum load capacity of perhaps around 20 tons (corresponding to the last load transported by the barge), an overall displacement of 30 metric tons and a draft of 51.6 cm.

## The navigation of the barge

When heading downstream, the barge was carried by the current. Nonetheless, extra oars could have been used either to speed up passage or to assist in manoeuvres with the current. Depending on the state of the river, if the water was low, sounding poles could have been used. On the other hand, navigation upstream meant fighting against the river's strong current and the obstacles this presented. Indeed, upstream sailing was done by towing. Until the end of the 15<sup>th</sup> century, hauling on the Rhône was by manpower. From antiquity, we have very few documents regarding this activity. There are textual (Martial, Ausonius and Sidoinius Apollinaris) and iconographic references (bas-reliefs at Cabrières-d'Aigues, Colonzelle, Igel, Neumagen and on a statue representing the Tiber) that refer to the Rhône basin (Rhône, Saône and Durance), to the Mosel and the Tiber. As to their strength, documents from the middle ages give us the ratio of one hauler to 1.5 tons of payload. So, for the *Arles-Rhône 3* barge, loaded to capacity, some 20 haulers would have been required.

The study has also identified categories that were widespread across a large territory, for example the silligated ware of the Aveyron and production of the Rhône basin. On the other hand, two other types of ceramics that were present are of particular interest. These were the thin-walled ceramics of Hispania Baetica, whose commercial penetration appears to have been limited to the lower Rhône valley. In the same way, the hand-built urn from the Argens valley represents a category whose coastal distribution by boat appears occasionally in several ports located between Port-Vendres and Genoa. Arles would also seem to correspond to be the most northerly and westerly distribution point of models from the Var.

The metal and wooden equipment discovered on-board the barge was also located to the rear. A wooden pulley sheave and three iron tools were

found. The sheave was an isolated object, very worn and without the bearing block, which might suggest that it was a used piece that had been scrapped. This was probably not part of the deck fittings but has been interpreted as belonging to a hoist for lifting all sorts of loads. Among the tools, a billhook, still with part of its wooden handle, could have been used to clear the towpath of vegetation and cut wood necessary for the cooking fire. It could also have been useful in cutting certain extra tools, such as the poles discovered in the front of the boat. A hoe, with its handle still entirely preserved, is an agricultural tool and its presence on the barge can be explained by the need to cut steps in the riverbank or move blocks of stone in the cargo. The flat piece of iron with a socket has been interpreted as a bark peeler or a scraper. It could have been used for gathering bark for kindling or to scrape the interior of the *dolium* to clean it of burnt matter sticking to the bottom and sides.

Fragments of charcoal were found inside the *dolium*, as well as nearby on the floor of the hull. To the front, heating wood was found, stored on the very bottom of the boat. The charcoal from the *dolium* underwent anthracological analysis while the carbonised wood found in the bottom of the hull and the heating wood from the front underwent xylological analysis. The results revealed that the brazier used Mediterranean species (olive, buckthorn and ash) and external taxa, characteristic of a more northerly region of the Rhône valley (beech) and also from a mountain and Alpine environment (pine, larch/spruce) that imply supplies from outside the lower Provence region. It is possible that damaged conifer planks from the hold were used in the fire, or perhaps off-cuts from boatyards were used. The heating wood, stored in the bow, was four oak branches, still green, with bark and only roughly stripped. This was most probably taken from the available local vegetation and chosen for its combustible qualities

## The cargo of the *Arles-Rhône 3* barge: a load of building stone

A geological study of the cargo blocks led to their identification and determination of their provenance. The petrographic analysis showed that they were of bioclastic limestone belonging to the family of Burdigalian molasse, of grainstone type or biosparite with reef bioclasts. Petrophysical tests (porosity, capillarity, sonic logging etc.) have led to a classification of these materials as among the best Burdigalian molasse in Provence for construction. These blocks most probably come from the quarries of Saint-Gabriel (*Ernaginum*). The two materials present the same micro-features and the same physical properties. Comparable stone has been identified on the Verrerie site, a residential quarter dating from the 1<sup>st</sup> century BC to 3<sup>rd</sup> AD in Arles. The same stone has also been discovered and analysed on several sites of Roman occupation downstream from Arles, thus confirming that the stone of Saint-Gabriel was transported and used in construction in the Camargue at this period.

Thanks to the geological analyses of this load of 21 tons of limestone, we can try to reconstruct the last voyage of the *Arles-Rhône 3* barge. The route taken by these stones from the quarry to the wreck site, either by land or water, can be discussed, however, two theories can be put forward as to the final destination that the cargo never reached. The first could be the building sites of Arles, for the construction of housing or work on river banks, while the second looks towards the Camargue, a region short of stone supplies for the construction of villas, farms, roads and embankments. This discovery sheds light on a little-known trade whose importance is often underestimated but which provided both building sites requiring a considerable extra supply of stone and regions that had none.

## CHAPTER 7. DATING, SINKING AND LIFESPAN OF THE *ARLES-RHÔNE 3* BARGE

### Dating the barge

Among the different chronological approaches available for the *Arles-Rhône 3* barge (<sup>14</sup>C dating, dendrochronology, analysis of archaeological material, on-board equipment and the votive coin), it is dendrochronology that has served best in revealing the construction date of the barge. Nonetheless, it has not led to an exact date for the felling of the trees but has suggested a time span from 51 to 60's AD and thus a strong probability that the trees were cut and the boat built in the first decade of the second half of the 1<sup>st</sup> century AD.

Dendromorphological studies undertaken on site proposed a *terminus post quem* for the loss of the barge at 66 AD. As a result, if we cross-reference the chronological data from the dating of the on-board equipment and the radiocarbon dating (2 sigma interval) of the stratigraphy, and if one considers the radiocarbon upper limit of the underlying deposits, the sinking could have occurred between 66 and the beginning of the 70s AD.

### The cause of the sinking

Although three explanations can be put forward as to the violent and swift sinking of the barge, the hypothesis of a spate seems the most convincing. The layer of clay that covers the interior of the wreck, sealing the on-board furnishings against the bottom of the hull, and which can be found in the gaps between the cargo of stones, reveals that there was an immediate fall in the water level after the spate. Such an event would explain how the boat was rapidly engulfed, especially if it was, as we

believe, moored and fully laden with barely 23 cm of freeboard. A quick rise in the Rhône would have sent the water over the gunwales leaving no other possibility than that the barge should sink to the bottom of the river. This hypothesis sits perfectly with the sedimentary data that was revealed by the geomorphological analyses of the site, as well as the evidence from flood deposits in the archaeological stratigraphy of the right bank of the Rhône for the second half of the 1<sup>st</sup> century AD.

### The question of the lifespan of *Arles-Rhône 3* and that of the longevity of Gallo-Roman barges of the Rhône basin

The question as to the lifespan of a boat is generally a difficult one, especially in the case of ancient wrecks. As regards the *Arles-Rhône 3*, however, studies have revealed a maximum lifespan of some 20 years, from 50 to the beginning of the 70s AD. If one considers that the hull of the barge, despite displaying numerous repairs, does not seem to show signs of very long use, this lifespan could perhaps be reduced to less than 10 years, or even less than 5. But the question as to the longevity of this barge, that is to say, the expected lifespan in optimal working conditions, is worth consideration because such a discussion has never been had regarding Gallo-Roman barges of the Rhône basin. For the moment and in the absence of sufficient data, there are only medieval documents to tell that, depending on the type of boat, the quality of construction, maintenance and use, the longevity of Rhône barges fits into a very narrow time frame of between 6 and a dozen years.



## CHAPTER 8. ORIGIN, FUNCTION, LIVING SPACE, ZONE OF TRANSPORT GEOGRAPHY AND FITTINGS

### The origin of the barge: the presumed construction site

While the oak used in the building of the barge came from the region of Chalon-sur-Saône and the conifer wood from the Alps or the Jura or Vosges mountains, molecular and isotopic analyses, as well as pollen analyses undertaken on several samples of roofing material have shown that the pitch employed in construction and repairs was manufactured in the Mediterranean region. The discovery site of the wreck, the area of movement during its last voyage and the study of the on-board material, which reveals ceramics whose circulation seems limited to the lower Rhône valley, would support the theory that the barge belongs to the lower section of the Rhône, thus favouring the idea of its construction being in this geographical zone. Within this perspective, the wood would have been floated down river, a practice that is well attested since antiquity, and particularly on the Rhône, as part of an organised trade. If a Mediterranean region construction site is probable, the hypothesis of the barge's construction in the boatyards of Arles, which according to the testimony of Caesar brought together all the necessary logistical, technical and human means to build such a boat, is tempting. The seven inscriptions that have been found marked several times on the planks of the barge would seem to correspond to an organised wood storage system suggesting a sizeable dockyard.

### The function of the barge

The function of the *Arles-Rhône 3* barge was that of a river transport unit. The last load transported by this boat shows that it carried heavy material destined for Arles (for development of embankments, building of public monuments or a house) or else for the Camargue (construction of a villa, farm, roads, embankments etc.). The detachable and adjustable nature of the hold designed to receive the load of stones leads to the notion that other types of cargo could also have been transported on this barge.

### Life on-board

A living area was provided on-board. Located to aft, between the transom and the helmsman's post, it included kitchenware and tools. Around the lower section of a *dolium* re-used as a hearth, there were various ceramics for preparing food (kettles, a mortar) and tableware (bowls, plates) that attested to on-board cooking. A count of this tableware determined the probable presence of three boatmen, one of who had engraved his initials (AT) on the reverse of a plate and on the neck of a jug. Some multi-use tools (billhook, hoe, flat iron) were also used by the boatmen for various chores on board.

### The zone of transport geography of the barge and the question of its outfitting

While the form of the *Arles-Rhône 3* barge seems to fit perfectly the demands of navigation in a strong current, as is found upstream from Arles, its limited load capacity tends to set it within a local economic circuit, in keeping with what we know of its final voyage. Sailing on the lower section of the Rhône, one can imagine the barge being involved in a regular turnaround of goods transport: construction material or any other heavy stuff when heading downstream, and a lighter load, such as livestock (goats and/or sheeps), grain, salt or bales of wool, when returning upstream from the Camargue. The questions of the outfitting of the barge and of the organisation of its navigation on the river are, however, still unanswered. Likewise, it is impossible to answer the questions about chartering agreements and one can imagine the possibility of a public contractor, with the barge involved in "public sector work", or of private contractor, perhaps a (land) owner from Arles.

Despite the challenges raised by the *Arles-Rhône 3* barge and the various theories that can be put forward, the study of this barge in the end asks the more general question about the economy of water transport on the Rhône in the Roman era. Thus, regarding the transport of materials and other goods on the river, one can imagine a fleet of boats, especially barges, moving up and down stream on more or less short reaches of the river as a function of economic interests and the architectural nature of the boats, and according to the rhythm of the river. There would appear much to be written about the subject.

## CHAPTER 9. THE ARLES-RHÔNE 3 BARGE WITHIN GALLO-ROMAN WATER TRANSPORT: A TYPOLOGICAL STUDY AND HISTORICAL INTERPRETATION

### A return to the Rhône-Saône tradition

The evolution of archaeological issues on the one hand, the increase in archaeological sources over the last decade on the other (nine barge wrecks dating from the 1<sup>st</sup> to 3<sup>rd</sup> centuries AD excavated in the Rhône-Saône basin) and also the development of methods of excavation, recording and post-excavation management of archaeological data have all led to a modification and up-dating of the historical questions surrounding Gallo-Roman river craft architecture.

The Rhône-Saône architectural tradition is attested from the 1<sup>st</sup> century AD with the wrecks of Place Tolozan in Lyon (30 AD), the old bridge at Chalon-sur-Saône (50-70 AD) and the *Arles-Rhône 3* (50s AD). And we can add those of the Parc Saint-Georges in Lyon dated from the 1<sup>st</sup> to 3<sup>rd</sup> century AD, as well as the *Arles-Rhône 5* wreck (provisionally dated to between 51BC and 135 AD). These wrecks were bottom-based constructions and fall within an "extended log boat" architecture, with the excep-

tion of the *PSG Ep. 8* (circa 55 AD) whose bottom-based construction is entirely planked.

The most significant characteristics of the Rhône-Saône tradition of river craft architecture are based on technical influences of a Mediterranean and maritime origin. There is the systematic luting with pitch cloth to ensure watertightness of seams between the assembled pieces (a common characteristic of all the wrecks): the pre-assembly of the bottom strakes using non-plugged tenons in mortises (the Tolozan, Chalon-sur-Saône and *PSG Ep. 8* wrecks): the use of nailed strips of lead covering the internal seams of the bottom and sides similar to the "palâtres" of river craft architecture (*PSG Ep. 2* et *Ep. 4* wrecks).

Along with these three characteristics shared with maritime naval construction there is a fourth that harks back to an architectural tradition that is specifically fluvial and represents a sort of "memory" of log boat architecture. It is the use of conifer half-trunks in the sides of barges of extended log boat structure.

## The Arles-Rhône 3 and the Rhône-Saône tradition

One of the three architectural signatures of Mediterranean maritime origin is present on the *Arles-Rhône 3* wreck: watertightness by means of pitch cloth. Meanwhile, the architectural signature of continental and fluvial origin is most remarkably attested in the sides made of half-trunk fir wood, some 26 m long each. Alongside these characteristics common to boats of the Rhône-Saône tradition, there are other original characteristics that can be qualified as “boatyard” architectural signatures, the most remarkable of which, from the structural point of view, is the mixed nature of the bilge strakes: monoxylous bilges for the “body”/major part of the hull; composed and assembled for the stern; mixed bilges (composed and assembled, associated with monoxylous bilges) for the prow.

When considering the morphology, the most visible original architectural signature of the *Arles-Rhône 3* barge concerns the geometry of the hull, which fits into the class of “polygonal boats of octagonal type” as established by Béat Arnold. However, the proportional geometry is quite particular and is characterised by an elongation coefficient (ratio length/width) of 1/10, which is higher than the river barge wrecks of the Gallo-Roman tradition, where the mean is between 1/6 and 1/7. Such a slender hull is a particularity associated with the very long rising bow. Another illustration of the morphological originality of the *Arles-Rhône 3* barge is to be seen in the section of the hull reserved for the cargo. This occupies almost the half of the flotation rectangle, whereas in the *De Meern 1* wreck, for example, nearly three quarters of this same rectangle was dedicated to the hold. These two figures reveal two architectural and functional choices. For one high elongation coefficient, of similar value, we witness the existence of two very different geometries, which in the case of the *De Meern 1* translates into a simplicity of form favouring the space for the cargo, and in the case of the *Arles-Rhône 3* means a greater complexity of form to the detriment of the space reserved for cargo.

The central question to be asked is how to interpret these boatyard architectural signatures of the *Arles-Rhône 3* barge.

In terms of weight, the “heaviness coefficient” (ratio of light displacement [bare hull] to 1 m of hull length) of the *Arles-Rhône 3* wreck is calculated at 0,26 t/m, whereas the *PSG Ep. 4* wreck, of the same tradition and comparable length, stands at 0,67 t/m, nearly three times greater. These figures confirm that fact the builders of the Arles barge chose a relatively light construction matched with a very high elongation coefficient L/W of 1/10.

As for the loading capacity, the “profitability coefficient” (ratio between carriage and 1 m of hull length) is 0,69 t/m for the *Arles-Rhône 3* wreck and 1,96 t/m for the *PSG Ep. 4*. This coefficient, as regards the economy of water transport, appears much more favourable in the case of the *PSG Ep. 4* wreck than that of the *Arles-Rhône 3* barge. All the

same, this difference in “profitability coefficient”, as an absolute value, in relation to the loading capacities will probably have to be seen relatively as a function, on the one hand, of the nature of the transport (short haul up and downstream from Arles in the case of the *Arles-Rhône 3* and long distance for the *PSG Ep. 4*) and on the other, depending on the different navigation conditions of the sections of the Rhône-Saône basin under consideration.

## The Arles-Rhône 3 barge and the port city of Arles

One of the important questions that arises is the role of the city of Arles and its sea-river port, as a place of exchange and of technical influences, within the Rhône-Saône architectural tradition.

The impressive dimensions and the structural complexity of the *Arles-Rhône 3* barge demonstrate that the boatyards of Arles, beyond their access to supplies of sizeable wood, had a technical expertise in terms of knowledge and know-how that can only be understood in relation to past technical practices that integrated influences from Mediterranean maritime shipyards. The *Arles-Rhône 3* thus reproduced an architecture similar to vessels from long before its construction.

The building of a boat of 31 m in length, like the *Arles-Rhône 3*, raises two principal questions: that of the nature of the boatyard and its technical, economic and human (specialist workforce) resources, and that of the use of the barge. Who chartered it, for what, in what context and with what means?

The penetration of Roman influence into Gaulle along the Rhône-Saône axis and the strategic position of Arles at the interface between Mediterranean influences in maritime construction techniques and those riverine influences from the hinterland, leads one to consider the importance of the Arles boatyards and their role in the development and diffusion upstream of the Rhône-Saône architectural tradition.

## Conclusion

After much reflexion on the historical interpretation of the *Arles-Rhône 3* wreck, it seems clear that this craft should be seen within the perspective of a great architectural diversity. While part of the Rhône-Saône tradition, the barge is merely the representative of an “architectural family” particular to the Lower Rhône and to the “Arles zone of transport geography”, and it sits next to other families that belong to upstream zones of transport geography, like the family constituted by the barge wrecks of the Parc Saint-Georges.

After the wrecks of Lyon, it is now the turn of the *Arles-Rhône 3* wreck to contribute to the writing of the “new history” of ancient river-going architecture.

# ANNEXE 1. GLOSSAIRE

Relatif aux termes techniques de la batellerie gallo-romaine, de la dendrologie, des champignons retrouvés dans le bois du bateau, de l'étude technique des tissus, de l'étude moléculaire et isotopique des poix et des analyses polliniques ainsi que des études géomorphologiques (en lien avec les définitions, voir aussi les fig. 48 et 329).

**Anguiller (n. m.)** : canal ou trou de faible dimension taillé dans une membrure pour permettre à l'eau présente dans le fond de circuler et de s'accumuler au point le plus bas.

**Armure de tissage (n. f.)** : mode d'entrecroisement des fils de chaîne et de trame. Quel que soit le type de métier à tisser utilisé, les fils de trame passent perpendiculairement au dessus et au-dessous des fils de chaîne. Le type d'armure varie en fonction du nombre de fils de chaîne pris ou laissés par le fil de trame.

**Armure cannelé (ou Gros de Tours) (n. f.)** : lorsque le mot cannelé n'est suivi d'aucun qualificatif, il désigne une armure à rapport de deux fils dont les côtes sont uniquement dues à l'insertion de plusieurs coups de trame consécutifs dans le même pas.

**Armure sergé (n. f.)** : armure caractérisée par des côtes obliques en déplaçant d'un seul fil, vers la droite ou vers la gauche, tous les points de liage à chaque passage de la trame.

**Armure toile (n. f.)** : armure dont le rapport se limite à deux fils et deux coups et dans laquelle les fils impairs et pairs alternent à chaque coup, au-dessus et au-dessous de la trame.

**Armure toile équilibrée (n. f.)** : tissu en armure toile dont les fils de chaîne et de trame sont semblables et répartis en densité égale dans un sens et dans l'autre.

**Ascomycète (n. m.)** : lignée de champignons comportant un grand nombre d'espèces, dont les levures, et de nombreux champignons comestibles (truffes, morilles).

**Aubier (n. m.)** : partie périphérique fonctionnelle du bois, riche en substances de réserve et très facilement dégradable.

**Avulsion (n. f.)** : déplacement définitif d'un chenal au cours d'une crue ; cette mobilité est souvent liée à des facteurs combinés de colmatage du chenal et d'évènements de crue.

**Banc d'étambrai (n. m.)** : pièce transversale située dans la partie supérieure du bateau et servant au maintien et au passage du mât.

**Banc de mât (n. m.)** : voir banc d'étambrai.

**Barrot (n. m.)** : pièce transversale de la charpente d'un bateau allant d'un bord à l'autre. Les barrots permettent de soutenir les ponts.

**Batelier (n. m.)** : le terme de « marinier » est plutôt employé dans le nord de la France tandis que le terme de « batelier » s'emploie plutôt dans le sud et le centre du pays. Pour le chaland *Arles-Rhône 3*, on parlera de préférence de « batelier ».

**Biomarqueur (n. m.)** : composé plus ou moins dégradé dont la structure a conservé suffisamment de spécificité pour être reliée à son précurseur typique d'un organisme biologique particulier (= « fossile moléculaire »).

**Biotope (n. m.)** : milieu biologique homogène au sein duquel vivent des organismes végétaux et animaux.

**Bloc (n. m.)** : élément rocheux brut ou taillé, de dimensions trop importantes pour être porté par un seul homme.

**Bordage (n. m.)** : voir « sole ».

**Bordé (n. m.)** : dans la construction de type fluvial, les bordés correspondent aux planches constitutives des flancs du bateau.

**Bordé de flanc en demi-tronc (n. m.)** : bordé composé de bordages massifs taillés dans des demi-troncs d'arbre.

**Bordé monoxyle de transition (n. m.)** : voir « bouchain ».

**Bouchain (n. m.)** : le bouchain correspond à la partie de coque comprise entre le fond et les flancs. Dans la batellerie gallo-romaine, la pièce qui assure cette liaison entre le fond et les flancs est le plus souvent monoxyle et est taillée en forme de C ou de L. Elle est alors appelée « bordage de bouchain monoxyle » ou « bordé monoxyle de transition ». Le bouchain peut néanmoins être constitué de deux pièces – un bordage de sole et un bordage vertical – assemblées entre elles au moyen de clous ou de chevilles ; on parle alors de « bouchain composé ».

**Brasier (n. m.)** : dépôts liés aux déchets de taille ou d'égalisation d'un parement suite à sa pose.

**Caisson (n. m.)** : ensemble des aménagements internes disposés dans la partie centrale du chaland et destiné à contenir et maintenir en place la cargaison transportée. Le caisson est constitué d'une série de pièces amovibles qui en délimitent les contours (cloisons) et viennent recouvrir le fond du bateau (longerons, traverses et vaigres).

**Calfatage (n. m.)** : technique d'étanchéité qui consiste à insérer en force un matériau d'étanchéité (généralement de la mousse maintenue en place par une latte fixée par de petits clous) entre deux pièces de charpente (bordages majoritairement) d'architecture déjà réunies. Cette technique trouve une origine continentale, située au nord des Alpes. S'oppose à la technique du lutage.

**Carottage (n. m.)** : prélèvement sédimentaire ou de roche réalisé sous la forme d'un cylindre de quelques centimètres de diamètre et de longueur variable et permettant une étude stratigraphique des dépôts.

**Cellulolytique (adj. inv.)** : qui dégrade la cellulose, constituant principal de la paroi cellulaire des végétaux.

**Chaîne, fils de chaîne (n. f.)** : fils que l'on tend sur un métier à tisser et qui sont disposés dans le sens de la longueur du tissu (sur des métiers à tisser verticaux, ils correspondent aux fils tendus dans le sens vertical).

**Chaland (n. m.)** : bateau à fond plat destiné à assurer le transport de marchandises ou d'hommes sur des fleuves ou des rivières.

**Charpente transversale (n. f.)** : la charpente transversale correspond à la membrure de la coque ; elle est constituée, dans la construction sur sole, d'un ensemble de pièces rectilignes et courbes. En fonction de sa structure et de son emplacement, chaque élément de la membrure porte un nom spécifique.

**Chromatographie gazeuse (CG) (n. f.)** : technique analytique de séparation des constituants d'un mélange complexe en fonction de leurs propriétés. Ces derniers sortent du système chromatographique les uns après les autres et peuvent ainsi être analysés séparément par le détecteur (par exemple : un spectromètre de masse).

**Clavus (n. m.)** : Petite pièce de bois insérée de façon perpendiculaire dans une mortaise aménagée dans le manche de la pelle de gouverne et faisant office de barre.

**Compétence (n. f.)** : capacité de transport des sédiments par un cours d'eau.

**Conditions anoxiques** : conditions dans lesquelles l'oxygène n'est pas disponible pour la respiration des êtres vivants, lesquels sont alors dans l'obligation de fermenter.

**Coque (n. f.)** : ensemble de la charpente et de l'enveloppe extérieure (le bordé) d'un bateau.

**Courbe (n. f.)** : pièce de construction à deux bras qui forment un angle plus ou moins ouvert et qui permet de relier les bordages du fond à ceux du flanc.

**Crevasse (n. f.)** : percée de la berge par un chenal temporaire créant un dépôt en éventail, généralement sableux et parcouru par un ou plusieurs chenaux.

**Cycles biogéochimiques** : cycles des éléments minéraux (carbone, azote, phosphore, fer, *etc.*), comprenant leur fixation par les êtres vivants, leur passage dans la nécromasse, et leur transformation sous forme minérale, disponible pour de nouveaux êtres vivants.

**Diterpène (n. m.)** : classe de composés di- ou tricycliques constitués de quatre unités isoprène (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>), soit vingt atomes de carbone, retrouvés typiquement dans les résines de conifères.

**Duramen (n. m.)** : partie interne du bois, correspondant aux zones d'accroissement les plus anciennement formées, qui ne comportent plus de cellules vivantes.

**Écart (n. m.)** : assemblage à mi-bois, de forme plus ou moins complexe, entre deux pièces de charpente.

**Écart à empatture (n. m.)** : assemblage entre deux pièces de bois qui s'emboîtent longitudinalement l'une dans l'autre.

**Écart en adent (n. m.)** : assemblage de pièces de bois comportant des entailles en forme de dents.

**Écart franc (n. m.)** : assemblage (aboutage) entre deux pièces de bois disposées bout à bout.

**Écosystème (n. m.)** : système biologique composé du milieu physique et des organismes vivants.

**Emplanture (n. f.)** : massif en bois présentant une cavité dans laquelle vient se loger le pied du mât. Dans la batellerie gallo-romaine, l'emplanture se présente le plus souvent sous forme de varangue-emplanture, d'échantillonnage important, disposée de façon transversale par rapport à l'axe du bateau.

**Épars (n. m.)** : voir varangue.

**Épontille (n. f.)** : pièce de charpente verticale soutenant les barrots.

**Équoirre (n. f.)** : longue pièce de bois destinée à assurer l'écartement du bateau par rapport à la berge et à le maintenir parallèle à celle-ci.

**Étoupe (n. f.)** : partie la plus grossière des fibres libériennes, séparée lors du teillage. Dans l'antiquité, elle servait à l'étanchéité des navires et à la fabrication des mèches de lampes (*cf.* Pline l'Ancien). Récemment encore, elle était utilisée pour le tissage des toiles de sac ou pour le rembourrage des matelas.

**Facès (n. m.)** : caractères sédimentologiques et/ou paléontologiques d'un dépôt ou d'un milieu de sédimentation.

**Fargue (n. f.)** : planche posée de chant au-dessus du plat-bord pour rehausser le flanc et empêcher l'eau de pénétrer dans la coque. Synonyme de longière.

**Fibre (n. f.)** : filament délié d'origine animale, végétale ou minérale, susceptible d'être utilisé pour la fabrication des fils.

**Fil (n. m.)** : forme longue et déliée, sous laquelle se préparent et s'utilisent les différentes matières textiles.

**Fil retors (n. m.)** : fil constitué de deux ou plusieurs fils simples retordus ensemble. Le sens de torsion adopté lors du retordage est souvent contraire à celui de la première torsion.

**Fil simple (n. m.)** : fil constitué par la torsion de plusieurs fibres élémentaires, plus ou moins courtes et régulières selon la matière.

**Filage (n. m.)** : fabrication d'un fil continu à l'aide de fibres textiles préalablement préparées. On peut filer sans instrument, en tordant des faisceaux de fibres entre les mains ou entre une main et une autre partie du corps.

**Géomorphologie (n. f.)** : étude des formes du relief et des processus de mise en place des formes tant sur le plan descriptif que quantitatif.

**Granulométrie (n. f.)** : étude de la répartition des grains par taille d'une roche meuble ou solide.

**Hétérotrophe (adj.)** : se dit d'un organisme incapable de synthétiser seul les molécules carbonées nécessaires à son métabolisme (on l'oppose aux autotrophes, végétaux capables d'assimiler le dioxyde de carbone pour fabriquer leurs sucres).

**Joint en sifflet (g. n. m.)** : assemblage entre deux pièces de bois sous forme de biseau.

**Lamines** : fines couches sédimentaires inférieures au cm.

**Levée (n. f.)** : les levées correspondent aux parties relevées de la sole, à l'arrière et à l'avant, pour la fermeture des extrémités des bateaux fluviaux. La courbure vers le haut, entre le départ de la levée et l'extrémité du bateau, peut être plus ou moins importante. Très souvent, la courbure s'accompagne d'un rétrécissement en largeur. La levée permet au bateau d'aborder frontalement une berge ou un quai en pente, et de s'y échouer en partie, afin de charger ou décharger le fret par l'avant. Sa forme est adaptée à l'espace de navigation dans lequel il évolue.

**Limes (n. m.)** : nom donné par les historiens modernes aux systèmes de fortifications établis le long de certaines des frontières de l'Empire romain.

**Lône (n. f.)** : terme utilisé à l'origine pour le Rhône et étendu ensuite à d'autres cours d'eau. Une lône est un ancien bras du fleuve qui reste en retrait du lit de celui-ci et se trouve alimenté en eau par infiltration ou en période de crue, au cours desquelles son tracé pouvait alors être modifié.

**Longeron (n. m.)** : longue et étroite planche de bois disposée longitudinalement, dans l'axe de la coque (et de façon perpendiculaire sur le dos des varangues), et destiné à recevoir les traverses du fond du caisson.

**Longière (n. f.)** : dans la batellerie rhodanienne, longue pièce de bois destinée à surélever le bordage au-dessus du plat-bord. Synonyme de fargue.

**Louisine (n. f.)** : armure taffetas (ou toile) produite par groupes de deux fils ou plus dans le sens chaîne.

**Lutage (n. m.)** : technique d'étanchéité qui consiste à mettre en place un matériau d'étanchéité (généralement un tissu enduit de poix) avant la réunion des planches. S'oppose à la technique du calfatage.

**Lyophilisation (n. f.)** : procédé de séchage qui permet de sublimer la glace dans l'objet sous forme de vapeur d'eau afin d'éviter la déformation du bois.

**Maille (n. f.)** : écartement entre les éléments de la membrure.

**Marinier (n. m.)** : voir batelier.

**Mât (n. m.)** : longue pièce de bois verticale placée entre le milieu et l'avant de la coque destinée à recevoir un gréement pour sa propulsion. Sur les navires de type fluviomaritime et les bateaux fluviaux, le mât est le plus souvent placé au tiers avant et permet le halage du bateau pour sa remontée du fleuve. Le mât peut être le même que celui utilisé pour porter la voile ou il peut s'agir d'un mât de halage exclusif.

**Mélanisé (adj.)** : pourvu de mélanine. Ce pigment protecteur est particulièrement résistant aux attaques par les autres organismes, ainsi qu'aux variations environnementales. Il permet aux êtres vivants de patienter sous une forme de vie ralentie (spore, sclérote...).

**Membrure (n. f.)** : ensemble des pièces de la charpente transversale recouverte par le bordé. Élément de la charpente transversale d'un navire.

**Messicole (adj.)** : se dit des plantes associées à la culture des céréales.

**Métier à tisser vertical à poids (g. n. m.)** : métier à tisser dont les montants peuvent être verticaux ou légèrement inclinés et dont les fils de chaîne sont tendus verticalement à l'aide de poids fixés à leur extrémité inférieure.

**Métier à deux ensouples (g. n. m.)** : métier à tisser (ou à tapisserie) dont les montants sont verticaux et les fils de chaîne tendus verticalement entre deux rouleaux horizontaux (en haut en en bas) sur lesquels ils sont enroulés.

**Moellon (n. m.)** : élément rocheux, brut ou taillé, de dimensions assez faibles pour pouvoir être porté par un seul homme.

**Mycélium (n. m.)** : partie végétative des champignons, constituée de filaments très fins.

**Nécromasse (n. f.)** : ensemble des déchets forestiers constitués par les cadavres animaux et végétaux.

**Organique (adj.)** : se dit d'éléments minéraux (carbone, azote...) piégés dans les êtres vivants.

**PEG (n. m.)** : les polyéthylènes glycols (abrégiés en PEG) sont des résines synthétiques hydrosolubles fabriquées à partir de l'oxyde d'éthylène. Outre leur application en médecine, en cosmétique et dans l'alimentaire, ils sont largement utilisés dans les procédés de stabilisation des bois archéologiques gorgés d'eau.

**Plancher de cale (n. m.)** : ensemble des planches, ou vaigres, recouvrant la face intérieure des membrures. Synonyme de vaigrage.

**Plat-bord (n. m.)** : ensemble des pièces fixées horizontalement sur le sommet de la muraille d'un bateau.

**Poaceae (n. f.)** : famille de plantes monocotylédones, très répandue sur la planète et qui comporte des herbacées sauvages et des herbacées cultivées comme, par exemple, des céréales. Synonyme de Graminées.

**Pollen (n. m.)** : cellule reproductrice des plantes à fleurs (phanérogames).

**Poupe (n. f.)** : partie arrière d'un bateau.

**Premier percentile granulométrique** : il s'agit de la taille granulométrique représentant 1 % de la fraction la plus grossière d'une distribution granulométrique pour un échantillon.

**Proue (n. f.)** : partie avant d'un bateau.

**Réduction (n. f.)** : nombre de fils disposés côte à côte, en chaîne comme en trame, le plus souvent pour un centimètre de tissage. On parle également de contexture ou de densité (terme impropre).

**Saproxylrique (adj.)** : se dit d'un organisme capable de dégrader le bois mort, pour y puiser son carbone et son azote (organiques donc).

**Sédimentologie (n. f.)** : étude des roches meubles ou dures formées à la surface de la terre par l'érosion des roches endogènes ou formées par les processus de précipitation des carbonates, par les processus biologiques ou bioclastiques.

**Seuil (n. m.)** : extrémité plus ou moins large d'une levée.

**Sole (n. f.)** : caractéristique des embarcations fluviales, la sole correspond au fond plat, dépourvu de quille ou de tout élément axial. La sole est ainsi constituée de planches (les bordages) disposées à franc-bord, les unes contre les autres. Adapté à un espace de navigation en eaux intérieures, le fond plat est une nécessité qui permet aux bateaux fluviaux de naviguer dans les eaux les plus basses, tout en portant un maximum de fret.

**Spectrométrie de masse (SM) (g. n. f.)** : technique d'analyse permettant de détecter et d'identifier des molécules d'intérêt sous forme d'ion par mesure de leur poids moléculaire et par caractérisation de leur structure chimique grâce à leur fragmentation.

**Spore (n. f.)** : cellule reproductrice des cryptogames (fougères, mousses, champignons).

**Succession forestière (g. n. f.)** : évolution naturelle de la végétation, qui conduit de la pelouse à la forêt sous nos climats.

**Suspension graduée (g. n. f.)** : les sédiments sont transportés dans la colonne d'eau mais subissent des déplacements verticaux importants en fonction de la plus ou moins grande vitesse des courants.

**Suspension uniforme (g. n. f.)** : les sédiments sont transportés dans la colonne d'eau toujours à la même position dans la colonne d'eau.

**Suspension pélagique (g. n. f.)** : les sédiments restent de façon prolongée dans la colonne d'eau, leur chute est très lente; il s'agit de zone de décanation lente, protégée en bordure du chenal ou dans la plaine d'inondation en l'absence quasi-complète de courant.

**Tasseau (n. m.)** : longue pièce de bois fine de section carrée disposée de chaque côté du chaland, sur le haut des bouchains, et destinée à recevoir les extrémités des traverses du caisson.

**Traverse (n. f.)** : pièce transversale de section quadrangulaire appartenant au fond du caisson; disposées au-dessus des varangues, sur les longerons, les traverses sont destinées à recevoir les vaigres du plancher de cale.

**Thylle (n. f.)** : dans la partie interne du bois, excroissance constituée d'un amas de produits de réserve ou d'excrétion qui se forme sur les parois internes d'un vaisseau et qui finit par empêcher la circulation de la sève.

**Tissu (n. m.)** : matériau obtenu par l'assemblage de fils entrelacés.

**Torsion (n. f.)** : opération qui consiste à tordre les fibres textiles pour assurer leur cohésion et obtenir un fil. Le sens de torsion s'indique par les lettres **S** ou **Z** suivant que l'inclinaison des spires du fil formé correspond à celle de la barre médiane de la lettre indiquée.

**Trame, fils de trame (n. f.)** : fils disposés perpendiculairement aux fils de chaîne, dans le sens de la largeur du tissu (sur des métiers à tisser verticaux, ils correspondent aux fils horizontaux).

**Vaigrage (n. m.)** : ensemble des vaigres constituant le plancher de cale d'un bateau.

**Vaigre (n. f.)** : planche recouvrant la face intérieure des membrures. L'ensemble des vaigres constituent le vaigrage ou le plancher de cale.

**Varangue (n. f.)** : pièce de charpente placée transversalement et symétriquement par rapport à l'axe du bateau. Elles sont appelées « épars » dans la batellerie du Rhône.

**Virure (n. f.)** : file de bordages s'étendant sur toute la longueur du bordé ou du pont.



**Fig. 338:** *Le chaland Arles-Rhône 3, de nuit, dans les collections du Musée départemental Arles antique (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).*

# ANNEXE 2. LE CHANTIER DE FOUILLE-RELEVAGE (2011) DE L'ÉPAVE ARLES-RHÔNE 3. CADRE ADMINISTRATIF ET FINANCIER

L'opération de fouille-relevage de l'épave *Arles-Rhône 3*, conduite en 2011, s'inscrit dans un projet muséographique de grande envergure qui comprenait aussi sa restauration ainsi que l'extension du Musée départemental Arles antique pour recevoir le chaland remonté. Cette nouvelle aile devait aussi permettre de recevoir une collection de quelque 480 objets ayant trait au commerce, à la navigation et aux activités du port fluviomaritime à l'époque romaine. D'une durée de trois ans, ce projet global, lancé par le Conseil général des Bouches-du-Rhône, a été inscrit au « Plan Musée », annoncé en septembre 2010 par le ministre de la Culture et de la Communication, et faisait partie de la programmation de « Marseille-Provence Capitale Européenne de la culture 2013 ». La délégation régionale du Ministère de la Culture a en outre classé, le 24 novembre 2010, le chaland *Arles-Rhône 3* comme « trésor national » (*supra*, p. 30, note 9). Avec un budget global de 9 millions d'euros pour l'ensemble du projet, ce sont près de 2 millions d'euros qui ont été attribués à la fouille et au relevage du chaland<sup>1</sup>. Pour réaliser cette opération, un marché public, intitulé *Mise au jour du chaland antique Arles-Rhône 3 immergé dans le fleuve Rhône* a été mis en place par le Conseil général des Bouches-du-Rhône et un appel d'offre européen lancé à la fin de l'année 2010<sup>2</sup>. À l'issue de l'examen des dossiers de candidatures, le Conseil général, en accord avec le Drassm, a attribué le marché le 18 mars 2011 au groupement solidaire des entreprises O'Can-Ipso Facto<sup>3</sup>.

La mise en place d'un marché public, dans le cadre d'une opération de fouille programmée, est une première en France puisque, si ce type de configuration est la règle en archéologie préventive, les fouilles programmées s'effectuent, le plus souvent, dans le cadre de demandes de subventions adressées au ministère chargé de la Culture et aux collectivités territoriales et peuvent bénéficier de financements extérieurs dans le cadre d'actions de mécénat ou de sponsoring<sup>4</sup>.

Si l'opération de fouille-relevage a été attribuée, par le biais d'un marché public, à deux entreprises privées, l'autorisation de fouille a été donnée à Sabrina Marlier, alors chargée de mission auprès du Conseil général des Bouches-du-Rhône, rattachée au Musée départemental Arles antique. Le musée était en outre maître d'œuvre du chantier et l'ensemble de ses services s'est fortement impliqué dans la préparation, la mise en place et le déroulement de l'opération, de la fouille au musée<sup>5</sup>.

En tant que service du ministère de la Culture, en charge de la gestion du patrimoine sous-marin, le Drassm était naturellement partenaire de l'opération. Son implication est intervenue en amont du projet. Son directeur, Michel L'Hour, a tout d'abord donné son accord pour le relevage d'une des épaves du Rhône en vue de sa restauration et de sa présentation au public au sein du musée archéologique d'Arles. Après examen du dossier scientifique, à l'automne 2010, il a validé le choix de l'épave *Arles-Rhône 3* pour être l'objet du relevage en question<sup>6</sup>. Le Drassm a également été consulté à l'occasion de la rédaction du cahier des charges du marché public et a validé, *in fine*, le choix des entreprises retenues pour procéder à l'opération de fouille-relevage. Les différents spécialistes du Drassm ont également été consultés pour la validation des chaînes opératoires mises en place dans le cadre du chantier (*supra*, p. 31, note 10). Durant l'opération de fouille-relevage, le Drassm a finalement assuré un contrôle régulier de l'ensemble des opérations, lors de visites régulières, mais a aussi apporté son concours en détachant ponctuellement plusieurs de ses agents pour prendre part au chantier. En dernier lieu, le Drassm assure la mise en dépôt de l'épave mais aussi de toutes les collections archéologiques issues de la fouille *Arles-Rhône 3* au sein du musée.

1. Le financement global a été assuré par le CG13 (6 000 000 €), la CNR (mécène à hauteur de 2 500 000 €), le MCC (400 000 €) et la Région PACA (300 000 €). La société Aqualung a par ailleurs sponsorisé les archéologues-plongeurs du MdAa en leur fournissant l'ensemble de leur équipement de plongée (3 100 €).

2. Le marché était divisé en deux lots avec un montant maximum de 800 000 € pour le lot 1 (intitulé : « Fouilles archéologiques et photogrammétrie subaquatique et terrestre ») et 1 000 000 € pour le lot 2 (intitulé : « Repérage et installation de la zone de chantier, découpage subaquatique de l'épave et préparation au relevage, relevage des parties découpées et acheminement dans l'enceinte du hangar de conditionnement »).

Il faut néanmoins signaler qu'il s'est avéré nécessaire, au cours de l'opération de fouille-relevage, de faire des avenants aux entreprises pour mener à terme le chantier. Au final, le montant total de l'opération de fouille et de relevage du chaland s'élève ainsi à près de 2 millions d'euros (1 954 728 €).

3. Les entreprises O'Can, spécialisée depuis 1987 dans les travaux subaquatiques réalisés par des scaphandriers, particulièrement dans le Rhône, et Ipso Facto, bureau d'étude et de recherche en archéologie et en océanographie, ont choisi de répondre ensemble afin d'associer leurs complémentarités et leurs compétences.

4. Ce qui a été le cas pour les opérations de fouilles programmées sur *Arles-Rhône 3* entre 2008 et 2010 qui ont essentiellement bénéficié de subventions versées par le MCC et le CG13. S'élevant, au total, entre 33 000 € et 54 000 €, ces fonds étaient destinés à rémunérer une partie du personnel scientifique et tech-

nique, à assurer le coût de location du bateau support de plongée ainsi que du logement et de la restauration de l'équipe. La société Strati-Concept a également assuré un sponsoring de l'opération 2009 en finançant un équipement audiovisuel sous-marin.

5. Les différents services directement impliqués dans cette opération ont été le service archéologique (dirigé par A. Charron), le service conservation (dirigé par P. Picard), l'atelier de restauration (dirigé par P. Blanc) et le service technique (dirigé par J. Dellanegra), la coordination d'ensemble étant assurée par S. Marlier, sous la responsabilité directe de C. Sintès, directeur du musée départemental de l'Arles antique. Le service communication (dirigé par C. Falaschi) et le service des publics (dirigé par F. Denise) ont aussi été fortement impliqués en assurant la communication de cette opération et le lien avec les médias, d'une part, et en assurant la médiation auprès des publics par le biais de diverses actions, d'autre part. Au total, ce sont près de 5 000 personnes qui ont ainsi pu bénéficier, durant la période du chantier, d'une médiation directe.

6. Comme deux épaves, *AR5*, au départ, puis *AR3*, étaient candidates à ce projet, il a demandé la réalisation, pendant l'été 2010, d'une opération d'expertise sur la première épave en vue d'une étude comparative des vestiges en place. L'expertise a été conduite en septembre 2010 sous la direction de S. Marlier (Arkaeos) qui a également assuré l'étude comparative entre les deux épaves et en a fait une présentation officielle devant les responsables du MdAa et du Drassm en octobre 2010 (Marlier 2011a).





# ANNEXE 3. LA RESTAURATION ET LE REMONTAGE DU CHALAND

Henri BERNARD-MAUGIRON, Philippe DE VIVIÉS

## QUEL TRAITEMENT DE CONSERVATION POUR UNE ÉPAVE DE 31 M DE LONG ?

Lorsque la décision de conserver le chaland par l'atelier ARC-Nucléart à Grenoble a été confirmée, il a fallu concevoir un projet global pouvant s'inscrire dans le délai extraordinairement tendu de deux années et dans un budget limité au plus juste<sup>1</sup>. En conséquence, la majorité des installations d'imprégnation et les deux lyophilisateurs principaux de l'atelier ont été réquisitionnés pour le traitement prioritaire du chaland. Afin de réduire les coûts, aucune modification majeure des installations n'a été entreprise. Cela a conduit à prendre la décision de découper l'épave de façon à ce que les dimensions de tous les tronçons soient compatibles avec celles des installations les plus petites utilisées, en l'occurrence les lyophilisateurs. Le polyéthylène glycol (PEG) 4000, traditionnellement utilisé pour imprégner les bois gorgés d'eau dans l'atelier (Grattan, Clarke 1987 ; Tjelden, Botfeld 2009), a été abandonné au profit du PEG 2000. Ceci, en raison de son plus faible poids moléculaire garantissant une vitesse d'imprégnation supérieure et de son utilisation déjà pratiquée largement par la communauté internationale. Enfin, un calendrier prenant en compte l'ensemble des éléments de l'épave et le temps de passage dans chaque installation a rendu évident le recours partiel à une aide extérieure auprès d'un industriel de la lyophilisation pour mener à bien tous les cycles de lyophilisation prévus en une année.

## LE DÉMANTÈLEMENT PARTIEL DES TRONÇONS DÈS LEUR SORTIE DU FLEUVE

L'épave a été fouillée puis découpée en dix tronçons qui ont été remontés successivement à la surface entre le 12 juillet et le 12 octobre 2011, selon un plan de découpage défini par les archéologues en concertation avec les restaurateurs d'ARC-Nucléart (fig. 23). Une fois à terre, les bordés de flanc, constitués de demi-troncs de 3 m de longueur, ont été désassemblés de la sole. Les clous de fixation – essentiellement enfoncés depuis la base externe des bordés pour leur assemblage aux bouchains – ont été retirés ou coupés par un restaurateur de la société A-Corros. Afin de démonter les bordés, les courbes ainsi que les tasseaux ont également dû être retirés.

Un protocole a été mis en place pour retirer l'ensemble des clous nécessaires au démontage des bordés. Il s'est appuyé sur les deux caractères principaux les concernant :

– Le type d'assemblage concerné pour lequel deux groupes majoritaires ont été caractérisés (cf. tableau synthèse, fig. 144) :

- Les clous à pointe perdue dans le bois : la tige du clou est droite et le clou pouvait être retiré directement par la tête.
- Les clous à pointe retournée : la pointe traverse l'assemblage puis est rabattue une à deux fois. Afin de retirer le clou, il était nécessaire d'accéder à la pointe afin de la redresser pour ensuite le retirer par la tête.

– Leur état de conservation :

- Les clous étaient métalliques et dans un bon état de conservation et pouvaient être retirés d'un seul tenant.
- Les clous étaient entièrement ou partiellement minéralisés et ne pouvaient être retirés qu'en fragments.

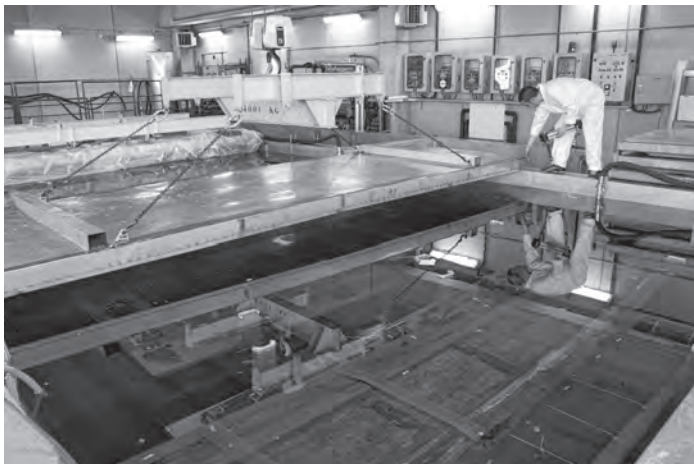
La quasi-totalité des clous d'assemblage des bordés aux bouchains (soit près de 30 % de l'ensemble des clous du chaland) a été retirée pour le démontage des bordés de flanc en demi-tronc.

La sole des tronçons T2 à T10 a fait l'objet d'un découpage supplémentaire, perpendiculairement à l'axe de l'épave (fig. 23). Le principe du redécoupage s'explique par l'obligation de placer ces éléments sur des plateaux inox de 2,70 × 1,50 m, correspondant aux dimensions maximales pour un chargement par paire dans le lyophilisateur le plus large de l'atelier. Le chargement des bois sur ces plateaux a permis de réduire les manipulations, puisqu'une fois chargés, ils ont été utilisés pour le transport jusqu'à l'atelier, pour l'immersion dans les installations d'imprégnation, et enfin pour le séchage par lyophilisation à l'atelier. L'équipe de restauration du Musée départemental Arles antique, sous la direction de Marie-Laure Courboulès, a nettoyé chaque fragment numéroté par les archéologues selon une nomenclature permettant un repérage efficace en vue du remontage du bateau. Pendant toute la durée des opérations menées sur les berges du Rhône, l'équipe a également assuré la bonne conservation des bois par arrosage régulier sous des rampes d'aspersion, ou par immersion dans des bassins, ou encore par confinement sous des bâches plastiques. Un conditionnement adapté a permis le calage et le maintien des bois humides pendant le transfert par camion vers l'atelier ARC-Nucléart, à Grenoble.

## L'IMPRÉGNATION DU BOIS PAR POLYÉTHYLÈNE GLYCOL

L'imprégnation des bois, avant le séchage, a été obtenue par immersion dans deux bains successifs de polyéthylène glycol 2000 à 20 %, puis 35 %, d'une durée de quatre mois chacun. Un bassin de 12 × 6 m était dédié au bain à 20 % alors que deux bassins de 6 × 2 m et 13 × 2 m étaient réservés pour le second bain (fig. 339). Une circulation par pompage,

1. La somme totale pour la restauration de l'épave a été de 1,2 million d'euros.



**Fig. 339 :** Immersion des bois du chaland, en pièces détachées, dans des bassins remplis de polyéthylène glycol pour une durée de huit mois (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).

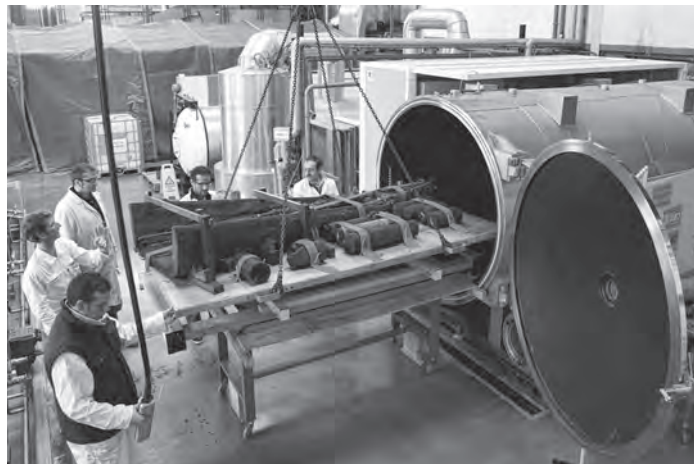
associée à des éléments filtrants et à un système UV, assurait le bon niveau sanitaire des bains.

## LE SÉCHAGE DU BOIS PAR LYOPHILISATION

Pas moins de trente cycles de lyophilisation ont été nécessaires pour assécher la totalité des bois de l'épave (fig. 340). La durée moyenne d'un cycle oscillait entre cinq et huit semaines selon la quantité d'eau à éliminer. Les deux lyophilisateurs de l'atelier ont été utilisés systématiquement et de façon optimale : dans la même journée, un lyophilisateur en fin de cycle était déchargé, puis rechargé pour relancer le cycle suivant. Les dimensions sensiblement différentes des lyophilisateurs (6 × 1 m de diamètre et 2,70 × 1,70 m de diamètre) ont permis de traiter les bordés de flanc en demi-tronc les plus importants, de 3 m de longueur, comme les longues planches de cloisons du caisson dans le lyophilisateur n° 1, et les plus larges éléments de sole dans le lyophilisateur n° 2. En appui complémentaire, pour tenir les délais, l'entreprise Lyofal, située à Salon-de-Provence, a été sollicitée pour sécher onze bordés de flanc en demi-tronc de 3 m de longueur.

## LES CLOUS DE FER ET LE SPECTRE DU VASA

Par précaution, l'atelier a souhaité vérifier l'éventuelle présence de sulfures de fer dans le bois à proximité des clous encore présents dans l'épave. Des échantillons de bois prélevés autour de trous de clous ont été analysés au Microscope Électronique à Balayage (MEB) et par diffraction RX. Les conclusions ont été sans appel : le sulfure de fer était présent dans le bois à proximité des clous, quel que soit l'emplacement dans l'épave (fig. 341). Une analyse semi-quantitative menée tous les millimètres à partir de la zone de contact avec le clou a mis en évidence un profil de concentration de l'élément soufre. De même, une cartographie des zones d'analyse a permis de visualiser la diffusion de l'élément soufre dans le bois depuis le clou. Il ressortait, qu'en majorité, les taux de soufre s'atténaient sensiblement au-delà de 3 à 5 mm environ (fig. 342). L'expérience malheureuse du navire royal suédois le *Vasa*, exposé au Musée du Vasa de Stockholm, nous a appris que la forte teneur du bois en soufre, combinée à l'humidité de l'air générée par des variations accidentelles climatiques du musée a provoqué un processus dramatique d'acidification



**Fig. 340 :** Après l'imprégnation de résine, la proue et le mât de halage sont ensuite enfournés dans un lyophilisateur pour un séchage d'une durée de deux mois (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).

du bois. Ce phénomène se caractérise par une diffusion progressive et inexorable de l'acide sulfurique depuis les zones clouées vers les zones saines du bois (Sandström *et al.* 2002 ; Sandström, Fors, Persson 2003). Le comité scientifique du Musée départemental Arles antique et du Drassm a alors pris la décision, pour bloquer un tel processus, de procéder à l'enlèvement de la majorité des clous de fer et de compléter l'intervention par un curetage préventif éliminant les 5 mm de bois au contact des clous renfermant la majorité des composés soufrés.

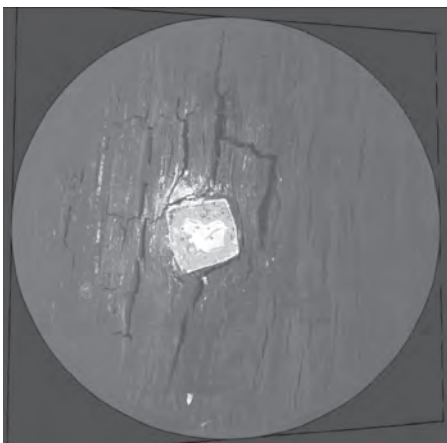
Cette opération a concerné l'ensemble des assemblages des varangues à la sole. La majorité de ces clous sont à pointes rabattues (une à deux fois) et la mise en place d'une manipulation donnant accès à l'extérieur de la sole a donc été nécessaire. Ces opérations, qui ont nécessité la présence de deux restaurateurs (A-Corros), sur une durée totale de cinq semaines, se sont déroulées à l'atelier de restauration ARC-Nucléart. Chaque tronçon a alors été glissé, parallèlement à ses membrures, de son support vers un autre plateau en laissant un espace permettant de placer chaque membrure à la verticale de cette zone de travail. Cet espace laissé libre permettait d'accéder sous l'épave et de redresser à l'aide d'outils les pointes des clous puis de les retirer par la tête au niveau des membrures. Les clous ayant été enfoncés depuis l'extérieur ont pu être retirés directement depuis la sole.

Une fois les clous retirés, une scie cloche de 20 mm de diamètre a permis de cureter le bois autour de l'axe du trou du clou. Ce curetage a permis d'éliminer la grande majorité des sulfures de fer présents dans le bois aux alentours des clous.

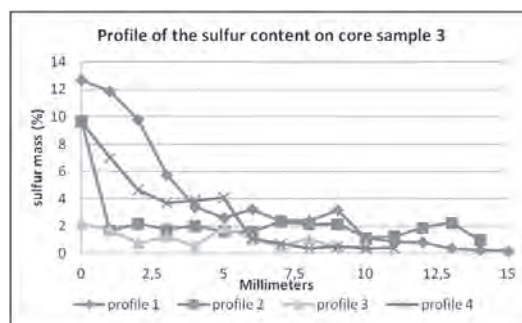
Une vingtaine de têtes de clous a permis de réaliser autant de moules qui ont été utilisés pour fabriquer des fac-similés en résine époxy teintée dans la masse ; ceux-ci sont venus masquer les curetages à la scie cloche et permettent de redonner aux visiteurs la lisibilité du bateau, en tant qu'architecture, et de ses assemblages.

## LES RENFORTS MÉTALLIQUES DE LA PROUE ET DU MÂT DE HALAGE

Une exception notable est à mentionner à propos de la partie avant du chaland. Celle-ci présente des renforts ferreux, aux remarquables formes lancéolées, disposés de part et d'autre de la proue. Le mât de halage comportait également deux cerclages métalliques et des petits clous sur son sommet. Ces éléments métalliques, bien que susceptibles de générer une source de sulfures de fer, ont été conservés en raison de leur grand intérêt technique et de leur valeur esthétique. Afin d'assurer la stabilité



**Fig. 341 :** Vue, au microscope électronique, d'une section carrée d'un clou en fer et mise en évidence de la diffusion des composés sulfurés dans le bois archéologique (zones diffuses blanches) (photo-composition de 100 à 150 photos prises au MEB, ARC-Nucléart).



**Fig. 342 :** Teneur des composés sulfurés dans le bois archéologique selon la distance (en mm) aux clous en fer (ARC-Nucléart).

de ces objets « composites », un traitement complémentaire a été réalisé grâce au procédé « Nucléart ». Développé par l'atelier, ce procédé consiste en une imprégnation au moyen d'une résine polyester ensuite polymérisée par irradiation au rayonnement gamma. Le bois ainsi traité devient hydrophobe et, par conséquent, impropre à la diffusion d'une éventuelle acidification (Tran, Guinard 2009).

## QUELLE PRÉSENTATION MUSÉOGRAPHIQUE DU CHALAND ?

Le Musée départemental Arles antique, en accord avec le Drassm, a souhaité présenter au public le chaland dans l'extension du musée, construite pour l'occasion, en situation de navigation avec sa pelle de gouverne et son mât de halage en place. Le mobilier de bord de l'équipage (vaisselle, fond de *dolium* et outils), ainsi que des fac-similés des pierres de chargement sont également présentés en situation, à l'intérieur du bateau. Le chaland est installé dans une fosse dont les longs côtés, de hauteurs inégales, permettent de suggérer le niveau de l'eau d'un côté et celui d'un quai de chargement de l'autre.

## UN SUPPORT EN ACIER DE 8 TONNES POUR UNE ÉPAVE DE 8 TONNES

La volonté de rendre le support le plus discret possible a conduit à choisir l'option d'une poutre en acier placée sous l'axe du bateau et reprenant la charge de panneaux recevant l'ensemble de la sole du chaland. Des bras métalliques soutiennent, en trois points, chacun des tronçons des bordés. Une interface en polyéthylène isole le bois archéologique des éléments métalliques. La peinture gris anthracite du support reprend la teinte des supports existants dans le musée. Afin de faciliter l'installation du support dans le lieu de présentation alors qu'une bonne partie des vitrines étaient déjà mise en place, celui-ci a été conçu, avec le concours d'un bureau d'études (I-Concept), en autant de tronçons que ceux du chaland. C'est la société CIC-ORIO, entreprise de chaudronnerie dauphinoise, qui a été retenue pour sa réalisation. Une étroite collaboration entre les chaudronniers et les restaurateurs de l'atelier a permis l'association des compétences de chacun dans le souci permanent de préserver le chaland.

## LA RESTAURATION ET LE REMONTAGE DU CHALAND SUR SON SUPPORT

À l'issue de l'imprégnation et du séchage du chaland, tous les éléments de sole ont été remplacés sur le support (fig. 343). Compte tenu de la fragilité du bois, toutes les manipulations ont été réalisées par glissements. Les flancs ont ensuite été mis en place contre les bouchains. Long parfois de plus de 3 m et pesant pour certains d'entre eux plus de 250 kg, chaque tronçon de bordé a nécessité l'utilisation d'un outillage de levage fabriqué sur mesure. Tous les éclats de bois ont été consolidés avec des résines acryliques de type Plextol ou Paraloid B72. Les comblements ont été obtenus par l'emploi de pâtes à base acrylique ou époxyde teintées dans la masse. Un léger retrait a été réalisé lors de l'application des comblements. Ceux-ci ont été systématiques pour masquer les traits de scie relevant des interventions des scaphandriers au moment du prélèvement de l'épave et encore visibles après remontage du chaland sur le support.

## LA RESTITUTION DES PARTIES MANQUANTES

Pour renforcer l'impression visuelle auprès des visiteurs d'une embarcation navigante, les parties disparues de l'arrière du chaland ont été reconstituées en bois contemporains par un maître-ébéniste, Paul Garrievier. Sur la base des observations effectuées sur les parties symétriques conservées, de nouvelles pièces ont été débitées dans des bois d'essences identiques à celles de l'embarcation, chêne pour la sole et les varangues, sapin pour le flanc bâbord.

## LA PELLE DE GOUVERNE

Selon toute vraisemblance, la pelle de gouverne découverte à une centaine de mètres en aval de l'épave peut être associée au chaland. Le musée, en accord avec le Drassm, a donc souhaité l'intégrer à l'équipement de bord en la repositionnant à son emplacement probable, dans l'axe arrière du chaland. Un support métallique a été adapté sous la face inférieure de l'objet pour retenir les deux fragments de cet impressionnant aviron de 7,20 m de longueur et pesant, après traitement, plus de 170 kg.



**Fig. 343:** *Après le traitement des bois, remontage de la moitié arrière du chaland, sur son support, dans un atelier situé à Fontaine, près de Grenoble (R. Bénali/Studio Atlantis, MdAa/CG13).*

## LE MÂT DE HALAGE

La fouille de l'épave a offert une très belle surprise avec la découverte, sous le chargement de pierres, rangé au fond du caisson et à proximité du

banc d'étambrai, d'un mât de halage de 3,70 m de longueur. Malgré la fragmentation de cette pièce en sept tronçons, le musée, dans la logique de présenter le chaland dans son état navigant, a demandé à ce que le mât soit dressé et inséré dans sa varangue d'emplanture et le banc d'étambrai. Pour assurer une tenue optimale, le bois a été lyophilisé puis consolidé de façon complémentaire par le traitement « Nucléart ». Au préalable, le mât a été percé sur toute sa longueur. Un axe métallique traversant la sole du chaland et se fixant fermement sur le support de celle-ci guide et retient tous les éléments du mât ainsi remonté. Cet axe est composé de petites sections vissées les unes dans les autres et une platine fixée sur l'axe vient reprendre la charge de chaque tronçon du mât. Une fois monté, la flèche de l'axe étant cependant trop importante, trois câbles en acier ont dû être fixés au sommet du mât pour maintenir celui-ci aux murs du musée.

Au total, il aura fallu deux ans pour traiter, restaurer et remonter le chaland et l'installer, avec ses appareils de navigation, au sein du Musée départemental Arles antique. 300 m<sup>3</sup> de solution de PEG dilué à 20 % dans l'eau et trente cycles de lyophilisation auront été nécessaires pour le traitement. Et ce sont douze restaurateurs, quatre régisseurs, trois chaudronniers et trois monteurs qui ont travaillé, en concertation étroite avec les archéologues et les conservateurs du musée ainsi que la cellule conservation-préventive du Drassm, à cet important chantier qui est à ce jour le plus important jamais entrepris par l'atelier ARC-Nucléart.

C'est actuellement l'embarcation archéologique la plus grande présentée en France.

# ANNEXE 4. LES NUMÉROS DE FOUILLE ET LES NUMÉROS D'INVENTAIRE LIÉS AU CHALAND *ARLES-RHÔNE 3*

Élément	n° de fouille	n° d'inventaire attribué par le Musée départemental Arles antique
<b>Le chaland</b>	<i>Arles-Rhône 3</i>	RHO.2004.AR3.1
<b>Lot de clous</b>		RHO.2011.AR3.1
<b>Tissus d'étanchéité</b>		RHO.2011.AR3.2
<b>La monnaie votive</b>	AR3 3034	RHO.2011.3034.M412
<b>Les équipements de navigation</b>		
Le mât de halage	-	RHO.2004.AR3.1
La pelle de gouverne	-	RHO.2004.00.1533
Les perches	AR3 3019.8 AR3 3019.9	Non inventorié RHO.2011.3019.9
<b>L'accastillage</b>		
Le cordage de proue	AR3 3026.2	RHO.2011.3026.2
Le chargement de pierres		RHO.2005.AR3.1
<b>Le mobilier de bord : la vaisselle</b>		
La vaisselle fine : les céramiques sigillées sud-gauloises	RH0.06.PIR.78 RH0.07.AR3.772 RHO.06.PIR.4.522	RH0.2006.PIR.78 RH0.2007.AR3.772 RHO.2006.PIR.522
La vaisselle fine : les céramiques à parois fines	RH0.06.PIR.76 RH0.06.PIR.80 RH0.06.PIR.570	RH0.2006.PIR.76 RH0.2006.PIR.80 RH0.2006.PIR.570
La vaisselle fine : les céramiques communes engobées	RH0.08.AR3.143 RH0.07.AR3.773	RH0.2008.AR3.143 RH0.2007.AR3.773
Les céramiques communes : les céramiques à cuisson réductrice	RH0.07.AR3.778 RH0.07.AR3.775 RH0.06.PIR.550 RH0.07.AR3.774 RH0.06.PIR.79 RH0.06.PIR.552 RH0.06.PIR.74 RH0.06.PIR.137	RH0.2007.AR3.778 RH0.2007.AR3.775 RH0.2006.PIR.550 RH0.2007.AR3.774 RH0.2006.PIR.79 RH0.2006.PIR.552 RH0.2006.PIR.74 RH0.2006.PIR.137
Les céramiques communes claires	RH0.06.PIR.75 RH0.07.AR3.776 RH0.07.AR3.771	RH0.2006.PIR.75 RH0.2007.AR3.776 RH0.2007.AR3.771
La lampe à huile	RH0.06.PIR.72	RH0.2006.PIR.72
Le fond de <i>dolium</i>	RH0.08.AR3.478	RH0.2008.AR3.478
<b>Le mobilier de bord : l'outillage</b>		
Le réa de poulie	RH0.07.AR3.1243	RH0.2007.AR3.2135
La serpe vigneronne	RH0.07.AR3.1237	RH0.2007.AR3.2139
La houe	RH0.07.AR3.1236	RH0.2007.AR3.2133
Le fer plat à douille	RH0.07.AR3.1242	RH0.2007.AR3.2136
<b>Les bois de chauffage</b>	AR3 3016.1 AR3 3016.2 AR3 3016.3 AR3 3016.4 AR3 3016.5	RHO.2011.3016.5



# BIBLIOGRAPHIE

Les abréviations sont celles de l'*Année Philologique*, à l'exception de :

*BAR Int. Ser.* : British Archaeological Reports (International Series)

*BIAMA* : Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine

*CAG* : Carte Archéologique de la Gaule

*CAS* : Cahiers d'Archéologie Subaquatique

*DAF* : Documents d'Archéologie Française

*DAM* : Documents d'Archéologie Méridionale

*IWA Journal* : International Association of Wood Anatomists Journal

*IJNA* : International Journal of Nautical Archaeology

*ILA* : Inscriptions Latines d'Aquitaine

*ILN* : Inscriptions Latines de Narbonnaise

- ALEXEEV A., BARKOVA L., GALANINA L.  
2001 *Nomades des steppes. Les Scythes, VII<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> siècles av. J.-C.*, Paris, Éditions Autrement.
- ALFONSI H.  
2010 L'épave de Porticcio, dans *Bilan scientifique du DRASSM 2008*, Paris, Ministère de la Culture et de la Communication, p. 95.
- ALLINNE C.  
2005 *Les villes antiques du Rhône et le risque fluvial. Gestion des inondations dans les villes romaines. L'exemple de la basse vallée du Rhône*, Thèse de doctorat, Université de Provence (Aix-Marseille 1).  
2007 Les villes romaines face aux inondations. La place des données archéologiques dans l'étude des risques fluviaux, *Géomorphologie*, 1, p. 67-84.
- ALLINNE C., BRUNETON H.  
2008 Arles face au Rhône : la gestion des inondations dans la ville antique, dans M.-P. Rothé, M. Heijmans (dir.) 2008, p. 147-151.
- ALLINNE C., VERDIN F.  
2002 *Le vicus d'Ernaginum* (Saint-Gabriel, Tarascon, Bouches-du-Rhône), *RAN*, 35, p. 137-156.  
2004 *Ernaginum* (Saint-Gabriel, Tarascon), une agglomération antique et son cours d'eau, dans J. Burnouf, Ph. Leveau (dir.) 2004, p. 409-417.
- AMIGUES S.  
1980 Quelques aspects de la forêt dans la littérature grecque antique, *Revue Forestière Française*, 2, p. 211-223.
- ALTSCHUL S. F. ET ALII  
1997 S. F. Altschul, T. L. Madden, A. A. Schaffer, J. H. Zhang, Z. Zhang, W. Miller, D. J. Lipman, Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs, *Nucleic Acids Research*, 25, p. 3389-3402.
- ANAGNOST S.E., MEYER R.W., DE ZEEUW C.  
1994 Confirmation and significance of Bartholin's method for the identification of the wood of Picea and Larix, *IWA Journal*, 15, p. 171-184.
- 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, inédit, p. 62-67.  
2011 Le pollen fossile des poix de calfatage d'Arles-Rhône 3 : un paysage agricole, diversifié, cultivé et parcouru par des troupeaux, dans D. Djaoui, S. Greck, S. Marlier (dir.) 2011, p. 170-171.  
2012 Le contenu pollinique de la poix de protection de la coque, dans G. Boetto et al. 2012, p. 140-142.
- ANDRIEU-PONEL V. ET ALII  
2000a V. Andrieu-Ponel, Ph. Ponel, H. Bruneton, Ph. Leveau, J.-L., Palaeoenvironments and cultural landscapes 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.  
2000b V. Andrieu-Ponel, P. Ponel, A.J.T. Jull, H. Bruneton, Ph. Leveau, Towards the reconstruction of the Holocene vegetation history of Lower Provence: two new pollen profiles from Marais des Baux, *Vegetation History and Archaeobotany*, 9, 2, p. 71-85.
- ANONYME  
1976 *Essai de nomenclature des carrières françaises de roches de construction et de décoration*, Givors, Le Mausolée.
- ANTONELLI C.  
2002 *Flux sédimentaire et morphogenèse récente dans le chenal du Rhône aval*, Thèse de géographie, Université de Provence.
- ARCELIN P.  
1991 Céramiques campaniennes et dérivées régionales tardives de Glanum (Saint-Rémy-de-Provence), Questions culturelles et chronologiques, *DAM*, 14, p. 205-238.
- ARCELIN P. ET ALII  
1999 P. Arcelin, G. Arnaud-Fassetta, M. Heijmans, F. Valentin, Le Rhône à Arles. Données archéologiques et sédimentologiques, dans Ph. Leveau (dir.) 1999, p. 121-129.
- 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.) 2010, p. 230-235.
- ARNAUD P.  
À paraître La batellerie de fret nilotique d'après la documentation papyrologique (300 av. J.-C. – 400 apr. J.-C.), dans P. Pomey (dir.), *La Batellerie égyptienne. Archéologie, Histoire, Ethnographie*, Alexandrie, Centre d'Études Alexandrines (Études Alexandrines).
- ARNAUD-FASSETTA G.  
1998 *Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône*, Lille, Presse Universitaire du Septentrion.  
2002 Geomorphological records of a « flood-dominated regime » in the Rhône Delta (France) between the 1st century BC and the 2nd century AD. What correlations with the catchment paleohydrology, *Geodynamica Acta*, 15, p. 79-92.
- ARNOLD B.  
1991 The Gallo-Roman boat of Bevaix and the bottom based construction, dans R. Reinder, P. Kees (ed.), *Carvel Construction Technique: skeleton-first, shell-first. Fifth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Amsterdam 1988*, Oxford,

- Oxbow Books (Oxbow Monograph, 12; ISBSA, 5), p. 19-23.
- 1992a *Batellerie gallo-romaine sur le lac de Neuchâtel*, tome 1, Saint-Blaise, Éditions du Ruau (Archéologie Neuchâteloise, 12).
- 1992b *Batellerie gallo-romaine sur le lac de Neuchâtel*, tome 2, Saint-Blaise, Éditions du Ruau (Archéologie Neuchâteloise, 13).
- 1998 Embarcations romano-celtiques et construction sur sole, dans E. Rieth (dir.), *Concevoir et construire les navires. De la Trière au Picoteux*, Ramonville Saint-Agne, Erès (Technologies, idéologies, pratiques, 131), p. 73-90.
- 1999 *Altaripa. Archéologie et architecture navale gallo-romaine*, Neuchâtel, Musée cantonal d'archéologie (Archéologie Neuchâteloise, 25).
- 2011 Embarcations gallo-romaines du lac de Neuchâtel : dans les abysses de la construction navale, dans G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.) 2011, p. 19-30.
- AYALA G. (DIR.)
- 2013 *Lyon, Saint-Georges : Archéologie, environnement et histoire d'un espace fluvial en bord de Saône*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme (DAF, 106).
- BADAN O., CONGÈS G., BRUN J.-P.
- 1995 Les bergeries romaines de la Crau d'Arles. Les origines de la transhumance en Provence, *Gallia*, 52, p. 263-310.
- BALLU J.-M.
- 2000 *Bois de marine. Les bateaux naissent en forêt*, Paris, Éditions du Gerfaut.
- BARBER E. J. W.
- 1991 *Prehistoric textiles. The development of cloth in the Neolithic and Bronze Ages with special reference to the Aegean*, Princeton, Princeton University Press.
- BARBERAN S.
- 2003 Un lot de céramiques d'époque tibérienne découvert sur le site de la Carsalade (Nîmes, Gard), dans SFECAG, *Actes du Congrès de Saint-Romain-en-Gal, 29 mai-1<sup>er</sup> juin 2003*, Marseille, SFECAG, p. 407-433.
- BARRETO F., LAROCHE C., LENOBLE M.
- 2005 Un atelier de potier du 1<sup>er</sup> siècle, rue Cottin à Vaise, Lyon 9<sup>e</sup>, *RAE*, 54, p. 71-93.
- BARRUOL G., FURESTIER D., LONCHAMON C.
- 2005 *La Durance de long en large : bacs, barques et radeaux dans l'histoire d'une rivière capricieuse*, Forcalquier, Les Alpes de Lumière.
- BARTHÈLEMY D., LAMOINE F.
- 2000 La céramique pré-augustéenne et augustéenne de Mâcon : essai de synthèse, dans SFECAG, *Actes du congrès de Libourne, 1<sup>er</sup>-4 juin 2000*, Marseille, SFECAG, p. 197-210.
- BATIGNE C., DESBAT A.
- 1996 Un type particulier de « cruche » : les bouilloires en céramique d'époque romaine (I<sup>er</sup>-III<sup>e</sup> s.), dans SFECAG, *Actes du Congrès de Dijon, 16-19 mai 1996*, Marseille, SFECAG, p. 381-394.
- BÉAL J.-C.
- 1999 Remarques sur l'imagerie du pilier funéraire d'Igel, dans N. Blanc, A. Buisson (ed.), *Imago antiquitatis. Religion et iconographie du monde romain : mélanges offerts à Robert Turcan*, Paris, De Boccard (De l'archéologie à l'histoire), p. 95-104.
- BEAUDOUIN F.
- 1970a *Le bateau de Berck*, Paris, Musée de l'Homme, Institut d'Ethnologie.
- 1970b *Les bateaux de l'Adour. Genèse d'une architecture nautique*, Bayonne, Musée Basque.
- 1985 *Bateaux des fleuves de France*, Douarnenez, Éditions de l'Estran.
- 1994 Les chemins qui marchent : l'économie motrice pré-mécanique, *Neptunia*, 193, p. 1-14.
- 2001 *Les bateaux garonnais. Essai de nautique fluviale (II)*, Conflans-Sainte-Honorine, Association des Amis du Musée de la batellerie (Les Cahiers du Musée de la Batellerie, 45).
- 2004 *Les anciens bateaux de la Loire. Étude archéologique des épaves monoxyles de la région des Pays de Loire*, Conflans-Sainte-Honorine, Association des Amis du Musée de la batellerie (Les Cahiers du Musée de la Batellerie, 52).
- BECATTI G.
- 1961 *Scavi di Ostia. IV. Mosaici e pavimenti marmorei*, Rome, Instituto poligrafico dello stato.
- BECK C. W., STOUT E. C., JÄNNE P. A.
- 1993 The pyrotechnology of Pine Tar and Pitch inferred from Quantitative Analyses by Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry, dans W. Brzeziński, W. Piotrowski (eds), *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Symposium on Wood Tar and Pitch, Biskupin Museum, Poland, 1993*, Varsovie, State Archaeological Museum, p. 181-190.
- BECKER C., RIETH E.
- 1995 L'épave gallo-romaine de la place Tolozan, à Lyon : un chalant coque monoxyle-assemblé, dans J.-C. Béal (ed.), *L'arbre et la forêt, le bois dans l'Antiquité*, Lyon, Paris, Bibliothèque Salomon Reinach, De Boccard (Publications de la Bibliothèque Salomon-Reinach, 7), p. 77-91.
- BEDON R.
- 1984 *Les carrières et les carriers de la Gaule Romaine*, Paris, Picard.
- BENDER-JORGENSEN L.
- 1992 *North European textiles until AD 1000*, Copenhagen, Aarhus University Press.
- BENOIT F.
- 1936 *Forma Orbis Romani. Carte archéologique de la Gaule romaine. 5. Carte (partie occidentale) et texte complet du département des Bouches-du-Rhône ; plans de Marseille, d'Aix et d'Arles à l'époque romaine*, Paris, Ernest Leroux.
- 1961 *Fouilles sous-marines. L'épave du Grand Congloué à Marseille*, Paris, Éditions du CNRS (Gallia, supplément 14).
- 1964 Aix-en-Provence (région Sud), *Gallia*, 22, 2, p. 573-610.
- BÉRARD F.
- 2012 Les corporations de transport fluvial à Lyon à l'époque romaine, dans M. Dondin-Payre, N. Tran (dir.), *Collegia : le phénomène associatif dans l'Occident romain*, Bordeaux, Ausonius Éditions (Scripta Antiqua, 41), p. 135-154.
- BÉRATO J.
- 2009 Typologie diachronique et diffusion de la céramique modelée du Var du I<sup>er</sup> s. av. J.-C. au III<sup>e</sup> s. ap. J.-C., dans M. Pasqualini (dir.) 2009, p. 347-373.
- BERDEAUX-LE BRAZIDEC M.-L.
- 2004 Un dépôt de deniers découvert dans la station routière d'Ambrussum (Villetelle, Hérault), *RAN*, 37, p. 259-275.
- BERGER J.-F. ET ALII
- 2009 J.-F. Berger, J.-P. Bravard, J.-L. Brochier, O. Franc, P.-G. Salvador, A. Vérot-Borrély, La géoarchéologie fluviale dans la vallée du Rhône (Seyssel-Donzère). Bilan de 25 ans de recherche, dans *De l'âge du Bronze à l'âge du Fer en France et en Europe occidentale (X<sup>e</sup>-VII<sup>e</sup> siècles av. J.-C.) et la moyenne vallée du Rhône aux âges du Fer, actes du XXX<sup>e</sup> colloque international de l'Association Française pour l'Étude de l'âge du Fer, Saint Romain-en-Gal, 25-28 mai 2006*, Dijon, *RAE* (supplément 27), p. 27-37.
- BERNARD
- 1779 *Discours sur le Rhône. Sur les moyens les plus propres à vaincre les obstacles que le Rhône oppose au Cabotage entre Arles & Marseille, & à empêcher qu'il ne s'en forme de nouveaux*, inédit, Marseille, Chambre de Commerce et d'Industrie.
- BERTRAND E. ET ALII
- 1997 E. Bertrand, S. Elaigne, A. Desbat, A. Schmitt, L'atelier de la Butte, *Gallia*, 54, p. 5-43.
- BESSAC J.-C.
- 1996 *La pierre en Gaule Narbonnaise et les carrières du Bois des Lens (Nîmes) : Histoire, archéologie, ethnographie et techniques*, Ann Arbor (Michigan), Oxbow Books (JRA, supplementary series, 16).
- BIGAS J.-P., MARTINET G. (DIR.)
- 2009 *Pierre et patrimoine, connaissance et conservation*, Arles, Actes Sud.
- BIZOT B. ET ALII
- 2009 B. Bizot, M. Heijmans, M. Provansal, H. Bruneton, G. Raccasi, M. Bonifay, Le pont de bateaux antique et les rives du Rhône, quelques éléments nouveaux, dans L. Long, P. Picard (dir.) 2009, p. 196-203.
- BLANC A.
- 1976 La scène de halage de Colonzelle, *RAN*, 9, p. 247-250.
- BLANCHETTE R. A. ET ALII
- 2010 R. A. Blanchette, B. W. Held, B. E. Arenz, J. A. Jurgens, N. J. Baltes, S. M. Duncan, R. L. Farrell, An Antarctic hot spot for fungi



- at Shackleton's historic hut on Cape Royds, *Microbial Ecology*, 60, 1, p. 29-38.
- BOCKIUS R.
- 2000 Antike Prahme. Monumentale Zeugnisse keltisch-römischer Binnenschifffahrt aus der Zeit vom 2. Jh. v. Chr. bis ins 3. Jh. n. Chr., *Jarbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz*, 47, p. 439-493.
- 2004 Ancient riverbone transport of heavy loads, dans M. Pasquinucci, T. Weski (eds.), *Close Encounters: Sea – and Riverborne Trade, Ports and Hinterlands, Ship Construction and Navigation in Antiquity, the Middle Ages and in Modern Time*, Oxford, Archaeopress (BAR International Series, 1283), p. 105-115.
- BOETTO G. *ET ALII*
- 2012 G. Boetto, I. Radić Rossi, S. Marlier, Z. Brusić (dir.), L'épave de Pakoštane, Croatie (fin IV<sup>e</sup> – début V<sup>e</sup> siècle apr. J.-C.), *Archaeonautica*, 17, p. 105-152.
- BOETTO G., POMEY P., TCHERNIA A. (DIR.)
- 2011 *Batterie gallo-romaine: pratiques régionales et influences maritimes méditerranéennes, Actes de la table-ronde internationale, 27-28 oct. 2008 (Aix-en-Provence, MMSH)*, Paris, Aix-en-Provence, Éditions Errance, Centre Camille Jullian (BIAMA, 9).
- BONNAMOUR L.
- 2000 *Archéologie de la Saône. Le fleuve gardien de la mémoire*, Paris, Éditions Errance.
- BONNARD L.
- 1913 *La Navigation intérieure de la Gaule à l'époque Gallo-romaine*, Paris, Picard.
- BONNEFOUX P., PÂRIS M.
- 1980 *Le dictionnaire de la marine à voile*, Paris, René Baudouin (première édition 1847, Maxéville, Éditions du Layeur).
- BOTTE E.
- 2009 *Salaisons et sauces de poissons en Italie du Sud et en Sicile durant l'Antiquité*, Naples, Centre Jean-Bérard (Collection du Centre Jean-Bérard, 31 ; Archéologie de l'artisanat antique, 1).
- BOTTEMA S.
- 1980 On the history of Walnut in South Eastern Europe, *Acta Botanica Neerlandica*, 29, p. 343-349.
- BOUCARD D.
- 2006 *Dictionnaire des outils et instruments pour la plupart des métiers*, Évreux, Jean-Cyrille Godefroy.
- BOUQUIN E., MÉDARD F.
- 2011 Exemple de traitement et d'étude d'un tissu prélevé sur l'épave Arles-Rhône 3, dans D. Djaoui, S. Greck, S. Marlier (dir.) 2011, p. 168-169.
- BOYER R., VIAL G.
- 1982 Tissus découverts dans les fouilles du port antique de Marseille, *Gallia*, 40, 2, p. 259-270.
- BRAVARD J.-P.
- 1983 Les sédiments fins des plaines d'inondation dans la vallée du Haut-Rhône, *Revue de Géographie Alpine*, LXXI, 4, p. 363-379.
- BRAVARD J.-P., AMOROS C., JACQUET C.
- 1986 Reconstitution de l'environnement des sites archéologiques fluviaux par une méthode interdisciplinaire associant la géomorphologie, la zoologie et l'écologie, *Revue d'Archéométrie*, 10, p. 43-55.
- BRAVARD J.-P., MAGNY M. (DIR.)
- 2002 *Les fleuves ont une histoire. Paléo-environnements des fleuves et lacs français depuis 15 000 ans*, Paris, Éditions Errance.
- BRAVARD J.-P., PROVANSAL M. (DIR.)
- 2011 *Le franchissement du Rhône antique. Métamorphoses fluviales et première esquisse taphonomique à l'échelle de la vallée*. Actes du colloque tenu au Pont-du-Gard du 8 au 11 octobre 2008, Montpellier-Lattes, Éditions de l'Association de la Revue Archéologique de Narbonnaise (Revue Archéologique de Narbonnaise, supplément 41).
- BRAVARD J.-P., VEROT-BOURRELY A., SALVADOR P.-G.
- 1992 Le climat d'après les informations fournies par les enregistrements sédimentaires fluviaux étudiés sur des sites archéologiques, *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 50, p. 7-13.
- BROEKAERT W.
- 2012 Joining Forces. Commercial Partnerships or Societates in the Early Roman Empire, *Historia*, 61, 2, p. 221-253.
- BRUN J.-P.
- 1999 *Le Var*, Paris, Fondation Maison des Sciences de l'Homme (CAG 83/1).
- BRUN DE P., GAGNIÈRE S.
- 1937 *Les lampes antiques du Musée Calvet d'Avignon*, Carpentras, Impr. de M. Batailler.
- BRUNETON H.
- 1999 *Évolution holocène d'un hydrosystème nord-méditerranéen et de son environnement géomorphologique: la plaine d'Arles et l'interface entre le massif des Alpilles et le Rhône*, Thèse de doctorat, Université de Provence.
- BRUNETON H. *ET ALII*
- 2001 H. Bruneton, G. Arnaud-Fassetta, M. Provansal, D. Sistach, Geomorphological evidence for fluvial change during the roman period in the lower Rhone valley, *Catena*, 45, p. 287-312.
- BUI-THI M., GIRARD M.
- 2006 De l'archéopalynologie à l'ethnobotanique. Analyse d'oléorésines anciennes et récentes d'Asie tropicale, *EurASEAA*, Bougon papers, p. 281-286.
- BUNN S.
- 2010 *Nomadic felts*, London, The British Museum press (Artistic traditions in world cultures).
- BÜNTGEN U. *ET ALII*
- 2011 U. Büntgen, R. Brazdil, K.-U. Heussner, J. Hoffmann, R. Kotic, T. Kyncl, C. Pfister, K. Chroma, W. Tegel, Combined dendro-
- documentary evidence of Central European hydroclimatic springtime extremes over the last millennium, *Quaternary Science Reviews*, 30, p. 3947-3959.
- BURGER P.
- 2012 Analyse des matériaux d'étanchéité de l'épave Arles-Rhône 3, France, dans S. Marlier *et al.* 2012a, p. 107-135.
- BURKETT M. E.
- 1977 An early date for the origin of felt, *Anatolian Studies*, 27, p. 111-115.
- BURNOUF J., LEVEAU PH. (DIR.)
- 2004 *Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture: sociétés préindustrielles et milieux fluviaux, lacustres et palustres, pratiques sociales et hydrosystèmes*, Paris, Éditions du CTHS (Archéologie et histoire de l'art, 19).
- CAGNAT R.
- 1914 *Cours d'épigraphie latine*, Paris, Fontemoing et C<sup>ie</sup>.
- CARANDINI A., PANELLA C.
- 1973 *Ostia III. Le terme del Nuotatore di Ostia. Scavo degli ambienti III, VI, VII*, Rome, De Luca (Studi miscellanei, 21).
- CARLSON D. N.
- 2007 Mast-Step Coins among the Romans, *JJNA*, 36, 2, p. 317-324.
- CARRE M.-B.
- 1983 *Grément et accastillage des navires dans la Méditerranée antique*, Thèse de troisième cycle en Sciences de l'Antiquité classique, Université de Provence, sous la direction d'A. Tchernia.
- 1998 La date de l'épave, dans M. Bonifay, M.-B. Carre, Y. Rigoir (dir.), *Fouilles à Marseille. Les mobiliers (I<sup>er</sup>-VII<sup>e</sup> siècles apr. J.-C.)*, Paris, Éditions Errance (Études Massaliètes, 5 ; Travaux du Centre Camille Jullian, 22), p. 101.
- CASTANET C.
- 2008 *La Loire en val d'Orléans. Dynamiques fluviales et socio-environnementales durant les derniers 30 000 ans: de l'hydrosystème à l'anthroposystème*, Thèse de doctorat, Université Paris 1.
- CAVALIER O. (DIR)
- 2008 *La scène de halage de Cabrières-d'Aigues*, Avignon, Musée Calvet.
- CENZON-SALVAYRE C.
- 2011 L'étude anthracologique, dans D. Djaoui, S. Greck, S. Marlier (dir.) 2011, p. 134-135.
- CHAPON P. *ET ALII*
- 2007 P. Chapon, P. Digelmann, R. Thernot, M. Pasqualini, J. Pournot, M. Leguilloux, La villa gallo-romaine du Quartier Régine au Puy-Sainte-Réparate (Bouches-du-Rhône), *RAN*, 40, p. 269-324.
- 2010 P. Chapon, J.-M. Michel, Ph. Ecard, Y. Lemoine, Ph. Charlier, M. Pasqualini, Un établissement rural du Haut-Empire à vocation viticole au Clos Sainte-Anne à Rougiers (Var), *RAN*, 43, p. 155-192.

- CHARTIER M.-M.  
1963 Le Rhône : problèmes, navigation et trafic, aménagement, *L'information géographique*, 27, 3, p. 126-130.
- CHOMER C., LE MER A.-C.  
2007 *Lyon*, Paris, Académie des Inscriptions et Belles-Lettres (CAG 69/2).
- CHRISTOL M.  
2008 Les bienfaits de la paix romaine : le développement économique et social d'une agglomération tournée vers l'échange, dans J.-M. Rouquette (dir.), *Arles, histoire, territoires et cultures*, Paris, Imprimerie nationale, p. 179-187.
- CHRISTOL M., FICHES J.-F.  
1999 Le Rhône : batellerie et commerce dans l'Antiquité, dans Ph. Leveau (dir.) 1999, p. 141-155.
- CHRISTOL M., FRUYT M.  
2009 Neptune : étude épigraphique, dans L. Long, P. Picard (dir.) 2009, p. 104-109.
- CHRISTOL M., TRAN N.  
À paraître *Tituli et signa collegiorum* en Gaule méridionale et ailleurs. Réflexions sur le décor des sièges de collèges à partir du cas arlésien, dans *Actes du colloque Signa et tituli II. Corpora et scholae, 25-26 novembre 2010 (Nîmes)* (BIAMA).
- CLAVEL B.  
1977 *Le seigneur du fleuve*, Paris, Éditions Robert Laffont.
- CLIFFORD W. A.  
1979 *Le grand livre des nœuds*, Paris, Gallimard (Savoir Marin).
- CNTRL  
2013 Centre National des Ressources Textuelles et Lexicales, portail de ressources linguistiques informatisées et d'outils de traitement de la langue, CNRS/ATILF, <http://www.cnrtl.fr>.
- COLIN J.  
1904 *Annibal en Gaule*, Paris, R. Chapelot.
- COLOMBINI M. P. ET ALII  
2003 M. P. Colombini, G. Giachi, F. Modugno, P. Pallecchi, E. Ribecchini, The characterization of paints and waterproofing materials from the shipwreck found at the archaeological site of the Etruscan and Roman harbor of Pisa (Italy), *Archaeometry*, 45, 4, p. 659-674.
- CONNAN J.  
2002 L'archéologie moléculaire et isotopique : étude géochimique des bitumes, brais et goudrons de bois, dans J.-C. Miskovsky (dir.), *Géologie de la Préhistoire, méthodes, techniques, applications*, Paris, Association pour l'étude de l'environnement géologique de la préhistoire, p. 1058-1062.
- CONNAN J., CHARRIÉ-DUHAUT A.  
2010 Étude géochimique d'enduits de surface, de tissus de calfatage, de blocs de poix et de bitume des épaves gallo-romaines du parc Saint-Georges de Lyon, dans E. Rieth (dir.) 2010, p. 147-172.
- CORPET E.-F.  
1887 *Ausone, Edyllia*, dans M. Nisard (dir.), *Collection des auteurs latins*, Paris, Librairie de Firmin Didot et C<sup>ie</sup>.
- CORRE A.  
1898 Les anciennes corporations brestoises. Les charpentiers et les calfats de marine. La confrérie de Saint-Elme, dans *Bulletin de la Société archéologique du Finistère*, Quimper, Impr. de Leprince, p. 272-301.
- CRAWFORD M. H.  
2008 *Roman Republican Coinage*, Cambridge, Cambridge University Press.
- CRUMLIN-PEDERSEN O.  
2010 *Archaeology and the Sea in Scandinavia and Britain. A personal account*, Roskilde, Viking Ship Museum (Maritime Culture of the North, 3).
- CRUMLIN-PEDERSEN O., TRAKADAS A. (EDS.)  
2003 *Hjortspring. A Pre-Roman Iron-Age Warship in Context*, Roskilde, Viking Ship Museum (Ships and Boats of the North, 5).
- CUGNY C., MAZIER F., GALOP D.  
2010 Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque mountains (western Pyrenees, France): the use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity, *Vegetation History & Archaeobotany*, 19, p. 391-408.
- DAVEAU I., BOETTO G.  
2012 Une épave romaine dans le port d'Antibes, *Archaeologia Maritima Mediterranea*, 9, p. 127-138.
- DANTEC (DIR.)  
1998 *Dictionnaire marinier illustré*, Saint-Jean-de-Losne, Bief Édition.
- DE BOE G.  
1978 Roman boats from a small river harbour at Pommeroeul, Belgium, dans J. du Plat Taylor, H. Cleere (eds), *Roman shipping and trade: Britain and the Rhine provinces*, Londres, Council for British Archaeology (CBA Research Reports, 24), p. 22-30.
- DEMAN A.  
2002 Avec les utriculaires sur les sentiers muletiers de la Gaule Romaine, *Cahiers du Centre Gustave Glotz*, 13, p. 233-246.
- DE SALVO L.  
1992 *Economia privata e pubblici servizi nell'Impero romano. I corpora naviculariorum*, Messine, Samperi (Kleio, 5).
- DESBAT A.  
1997 Le tonneau antique : questions techniques et problème d'origine, dans D. Meeks, D. Garcia (dir.), *Techniques et économie antiques et médiévales, Le temps de l'innovation, Actes du colloque d'Aix-en-Provence, 21-23 mai 1996*, Paris, Éditions Errance (Travaux du Centre Camille Jullian, 21 ; Archéologie aujourd'hui), p. 113-120.
- DESBAT A. ET ALII  
2001 A. Desbat, C. Batigne-Vallet, É. Bertrand, Ch. Bonnet, Ph. Gayte, M. Lenoble, *L'atelier de potiers antique de la rue du Chapeau Rouge à Vaise (Lyon 9<sup>e</sup>)*, Lyon, Ville de Lyon, Service archéologique municipal.
- DESBAT A., LAROCHE C., MERIGOUX E.  
1979 Note préliminaire sur la céramique commune de la rue des Farges à Lyon, *Figlina*, 4, p. 1-17.
- DESBAT A., SAVAY-GUERRAZ H.  
1986 Les productions céramiques à vernis argileux de Saint-Romain-en-Gal, *Figlina*, 7, p. 91-104.
- DESSEMON R.  
1983 *Le Rhône, un fleuve, des hommes*, Vienne, Blanchard frères.
- DEVILLERS B., PROVANSAL M.  
2003 La morphogenèse d'un géosystème cultivé du Néolithique récent : les petits bassins versants de la vallée moyenne de l'Hérault (France), *Géomorphologie*, 2, p. 83-98.
- DE WEERD M. D.  
1988a A landlubber's view of shipbuilding procedure in the celtic barges of Zwammerdam, the Netherlands, dans O. L. Filgueiras (ed.), *Local Boats, Proceedings of the Fourth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Porto, 1985*, Oxford, British Archeological Reports (BAR International Series, 438, 1), p. 35-51.
- 1988b *Schepen voor Zwammerdam*, Ph Thesis, University of Amsterdam, inédit.
- 1990 Barges of the Zwammerdam type and their building procedures, dans S. McGrail (ed.), *Maritime Celts, Frisians and Saxons*, Londres, Council for British Archaeology (CBA Research Report, 71), p. 75-76.
- DEYTS S.  
2008 L'iconographie du monument de Cabrières-d'Aigues, dans O. Cavalier (dir.) 2008, p. 43-55.
- DJAOUI D.  
2011a Arles : une destinée portuaire, dans D. Djaooui, S. Greck, S. Marlier (dir.) 2011, p. 28-123.
- 2011b Dépotoir portuaire, mystère et purée et poix, dans SFECAG, *Actes du Congrès d'Arles, 2-5 juin 2011*, Marseille, SFECAG, p. 11-12.
- DJAOUI D., GRECK S., MARLIER S. (DIR.)  
2011 *Arles-Rhône 3. Le naufrage d'un chaland antique dans le Rhône, enquête pluridisciplinaire*, Arles, Musée départemental Arles antique, Actes Sud.
- DOMERGUE C.  
1990 *Les mines de la péninsule Ibérique dans l'Antiquité romaine*, Rome, École Française de Rome (Collection de l'École Française de Rome, 127).
- 1994 Production et commerce des métaux dans le monde romain : l'exemple des métaux hispaniques d'après l'épigraphie des lingots, dans C. Nicolet, S. Panciera (ed.), *Epigrafia della produzione e della distribuzione, Actes de la VII<sup>e</sup> rencontre franco-italienne sur l'épigraphie du monde romain, 5-6 juin 1992*, Rome, École française de Rome (Collection de l'École française de Rome, 193), p. 61-91.

- DUFURNET P.  
1993 Seyssel, la batellerie aux derniers temps de la navigation sur le haut Rhône, *Le Monde Alpin et Rhodanien*, 3/4, p. 7-40.
- DUNHAM R. J.  
1962 Classification of carbonate rocks according to depositional texture, *American association of petroleum geologists*, p. 108-121.
- DÜRRENMATT G.  
1993 *La mémoire du Rhône*, Pont-Saint-Esprit, La Mirandole.
- DUVAL P.-M.  
1975 Information sur la découverte d'une épave antique à Marseille, *CRAI*, 119, 1, p. 49-50.
- EGENBERG I. M.  
2003 *Tarring maintenance of Norwegian medieval stave churches. Characterisation of pine tar during kiln-production, experimental coating procedures and weathering*, Göteborg, Acta Universitatis Gothoburgensis (Göteborg Studies in Conservation, 12).
- EGENBERG I. M., GLASTRUP J.  
1999 Composition of kiln-produced tar, dans *Preprints, 12<sup>th</sup> Triennial Meeting, 29 August-3 September 1999, Lyon, France, ICOM Committee for Conservation*, Londres, James and James, p. 862-867.
- EGENBERG I. M., HOLTEKJØLEN A. K., LUNDANES E.  
2003 Characterisation of naturally and artificially weathered pine tar coatings by visual assessment and gas chromatography-mass spectrometry, *Journal of Cultural Heritage*, 4, p. 221-241.
- ESPÉRANDIEU E.  
1931 *Recueil général des bas-reliefs, statues et bustes de la Germanie romaine*, Paris, Bruxelles, G. Van Oest.
- EXCOFFON P., LANDURÉ C., PASQUALINI M.  
2004 Habitat et risque fluvial dans le delta du Rhône au 1<sup>er</sup> siècle av. J.-C. Les habitats de la Capelière et du Grand Parc en Camargue, dans J. Burnouf, Ph. Leveau (dir.) 2004, p. 213-234.
- EYRIER B.  
1996 *Le Rhône. Halage et batellerie – La vie du Rhône autrefois*, Marseille, Prouvènço d'aro.
- FELICI E.  
2002 Scoperte epigrafiche e topografiche sulla costruzione del porto neroniano di *Antium*, *Archeologia Subacquea. Studi, ricerche e documenti*, 3, p. 107-122.
- FEUGÈRE M.  
2004 *L'Instrumentum*, support d'écrit, *Gallia*, 61, p. 53-65.
- FICHES J.-L.  
1978 Les coupes Drag. 29 en Languedoc-Roussillon, *Figlina*, 3, p. 43-70.
- FICHES J.-L., GUY M., PONCIN L.  
1978 Un lot de vases sigillés des premières années du règne de Néron dans l'un des ports de Narbonne, *Archaeonautica*, 2, p. 185-219.
- FOLK R. L.  
1959 Practical petrographic classification of limestones, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43, p. 1-38.
- FOUCAULT A., RAOULT J.-F.  
2010 *Dictionnaire de géologie*, Paris, Dunod.
- FOURQUIN N., RIGAUD PH.  
1994 *De la nave au pointu. Glossaire nautique de la langue d'oc (Provence-Languedoc). Des origines à nos jours*, Toulon, Saint-Tropez, Objectif Mer, Capian Méditerranée.
- FROST H.  
1976 *Lilybaeum (Marsala). The Punic Ship: Final Excavation Report*, NSA, 30, supplément.
- GALILI E. ET ALII  
2010 E. Galili, V. Sussman, G. Stiebel, B. Rosen, A Hellenistic/Early Roman Shipwreck Assemblage off Ashkelon, Israel, *IJNA*, 39, 1, p. 125-145.
- GARCIA D., VALLET L.  
2002 L'espace portuaire de Lattes antique: topographie, architecture et stratigraphie, dans D. Garcia, L. Vallet (dir.), *Lattara: mélanges d'histoire et d'archéologie de Lattes. 15. L'espace portuaire de Lattes antique*, Lattes, Édition de l'Association pour le Développement de l'Archéologie en Languedoc-Roussillon (Lattara, 15), p. 11-72.
- GARDES M., BRUNS T. D.  
1993 ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts, *Molecular Ecology*, 2, p. 113-118.
- GASCO Y., REBOUL M.  
1996 *La pierre de Beaucaire*, Beaucaire, Éditions du Musée municipal Auguste Jacquet.
- GASSMANN P. ET ALII  
1996 P. Gassmann, G.-N. Lambert, C. Lavier, V. Bernard, O. Girardclos, Pirogues et analyses dendrochronologiques, dans B. Arnold (dir.) 1996, *Pirogues monoxyles d'Europe centrale: Construction, typologie, évolution. 2. Pirogues et analyses dendrochronologiques*, Neuchâtel, Musée cantonal d'archéologie (Archéologie neuchâteloise, 21), p. 89-127.
- GATEAU F., GAZENBEEK M. (DIR.)  
1999 *Les Alpilles et la Montagnette*, Paris, Académie des Inscriptions et Belles-Lettres (CAG, 13/2).
- GAUDON P.  
2010 *Guide de sélection des pierres à mettre en œuvre pour la restauration et l'entretien du patrimoine*, rapport technique inédit RT10/CT08-086 de l'École des Mines d'Alès, <http://pierresud.brgm.fr>.
- GENIN M.  
2007 *La Graufesenque (Millau, Aveyron). Vol. II. Sigillées lisses et autres productions*, Pessac, Éditions de la Fédération Aquitania (Études d'archéologie urbaine).
- GERBER F., GRANCHA C., SILHOUETTE H.  
2005 A la redécouverte du port antique, *Archéologia*, 424, p. 50-53.
- GIANFROTTA P. A.  
1994 Note di epigrafia «marittima». Aggiornamenti su tappi d'anfora, ceppi d'ancora e altro, dans *Epigrafia della produzione e della distribuzione, Actes de la VII<sup>e</sup> rencontre franco-italienne sur l'épigraphie du monde romain, 5-6 juin 1992*, Rome, École française de Rome (Collection de l'École française de Rome, 193), p. 591-608.
- GIANFROTTA P. A., POMEY P.  
1981 *Archeologia Subacquea: storia, tecnica, scoperte e relitti*, Milan, Arnoldo Mondadori.
- GILMOUR B., ARMOURIES R.  
1994 Appendix 2. Metallographic analysis of nails from Blackfriars ship 1, dans P. Marsden (ed.) 1994, p. 183-187.
- GIRARD M.  
1978 Résultats préliminaires de l'analyse pollinique, dans A. Tchernia, P. Pomey, A. Hesnard (dir.), *L'épave romaine de la Madrague de Giens (Var), Campagnes 1972-1975*, Paris, Éditions du CNRS (XXXIV<sup>e</sup> supplément à Gallia), p. 112-116.
- GRATTAN D.W., CLARKE R.W.  
1987 Conservation of waterlogged wood, dans C. Pearson (ed.), *Conservation of marine archeological objects*, Londres, Butterworths, p. 164-181.
- GRECK S.  
2005 Étude xylogique et dendromorphologique, dans L. Long (dir.), *L'épave gallo-romaine Arles-Rhône 3, une embarcation à coque monoxyle-assemblée, Rapport d'expertise*, inédit (dépôts Centre Camille Jullian et DRASSM), p. 28-38.
- GRECK S., DJAOUI D., MARLIER S.  
2009 *L'épave Arles-Rhône 3. Opération de fouille archéologique subaquatique programmée. Rapport d'opération 2009*, inédit (dépôt DRASSM).
- GRECK S., GUIBAL F.  
2011 Étude dendrologique de l'épave *Arles-Rhône 3*, dans G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.) 2011, p. 153-163.
- GRENOUILLER B.  
1993 *Les traces d'outils à bois, de l'Antiquité à nos jours*, Mémoire de D.E.A., Paris, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne.
- GRILLAERT J.  
2009 Van een ouwe schuit en een nieuw avontuur, dans *Actes de la Table ronde sur la batellerie, Archéosite d'Aubechies-Belœil, 27 août 2006*, Bruxelles, Fédération des Archéologues de Wallonie (Vie archéologique 66/67), p. 17-20.

- GROS P.  
2008 La colonie augustéenne: mise en place de l'urbanisme, dans M.-P. Rothé, M. Heijmans (dir.) 2008, p. 152-155.  
2009 La «cour à portiques» de Trinquetaille, dans L. Long, P. Picard (dir.) 2009, p. 192-195.
- GUIBAL F.  
2013 Les puits et leur environnement. Analyse dendrochronologique des pièces de bois, *RAN*, supplément 42, p. 129-132.
- GUIBAL F., POMEY P.  
2002 Essences et qualité des bois utilisés dans la construction navale antique, L'apport de l'étude anatomique et dendrochronologique, *Forêt Méditerranéenne*, XXIII, 2, p. 91-104.  
2004 Dendrochronologie et construction navale antique, *Revue d'Archéométrie*, 28, p. 35-42.  
2009 Ancient shipwrecks, naval architecture and dendrochronology in the western Mediterranean, dans R. Bockius (ed.), *Between the Seas: transfer and exchange in nautical technology, proceeding of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Mainz, sept. 2006*, Mayence, Römisch-Germanisches Zentralmuseum (RGZM-Tagungen, 3; ISBSA, 11), p. 219-226.
- GUIBAL F., TESSIER L.  
1998 L'apport de l'analyse dendrochronologique et dendroclimatologique à la connaissance du climat de la vallée du Rhône du 1<sup>er</sup> s. avant J.-C au II<sup>e</sup> s. après J.-C., *Méditerranée*, 90, 4, p. 5-10.
- GÜNSENIN N. (ED.)  
2012 *Between Continents: proceedings of the twelfth symposium on boat and ship archaeology, Istanbul 2009*, Istanbul, Ege Yayintari (ISBSA, 12).
- GUYON M.  
2010 Les épaves, dans E. Rieth (dir.) 2010, p. 48-97.
- GUYON M., RIETH E.  
2009 Wreck of the 1<sup>st</sup> Century AD Lyon Saint-Georges (Rhône, France): A Ferry or a Ligher from the Rhône-Saône?, dans N. Günseinin (ed.) 2012, p. 195-202.  
2011 Les chalands gallo-romains du Parc Saint-Georges, dans G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.) 2011, p. 91-101.
- HAKELBERG D.  
2003 *Das Kippenhorn bei Immenstaad: archäologische Untersuchungen zu Schiffahrt und Holzschiffbau am Bodensee vor 1900*, Stuttgart, Theiss (Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg, 56).
- HALLEUX R.  
2007 Communication sur la fabrication de l'acier dans l'Antiquité et au Moyen Âge, *CRAI*, 151, 3, p. 1301-1319.
- HANSEN E. M., GOHEEN E. M.  
2000 *Phellinus weirii* and other native root pathogens as determinants of forest structure and process in western North America, *Annual Review of Phytopathology*, 38, p. 515-539.
- HARRINGTON T. C., MCNEW D. L.  
2003 Phylogenetic analysis places the *Phialophora*-like anamorph genus *Cadophora* in the Helotiales, *Mycotaxon*, 87, p. 141-151.
- HARTLEY B. R., DICKINSON B. M. (DIR.)  
2008a *Names on Terra Sigillata. An Index of Makers' Stamps & Signatures on Terra Sigillata (Samian Ware), Volume 1 (A to AXO)*, Londres, Institute of classical studies (Bulletin of the Institute of Classical Studies, supplément 102, 01).  
2008b *Names on Terra Sigillata. An Index of Makers' Stamps & Signatures on Terra Sigillata (Samian Ware), Volume 2 (B to CEROCYTUS)*, Londres, Institute of classical studies (Bulletin of the Institute of Classical Studies, supplément 102, 02).  
2009 *Names on Terra Sigillata. An Index of Makers' Stamps & Signatures on Terra Sigillata (Samian Ware), Volume 5 (L to MASCLUS I)*, Londres, Institute of classical studies (Bulletin of the Institute of Classical Studies, supplément 102, 05).
- HEIJMANS M.  
2009 Le quartier de Trinquetaille: vers une nouvelle vision de la rive droite ?, dans L. Long, P. Picard (dir.) 2009, p. 186-191.
- HEIJMANS M. ET ALII  
2012 M. Heijmans, M.-P. Rothé, J. Piton, J. Brémond, N. Robin, Données nouvelles sur la nécropole dite des Alyscamps à Arles (Bouches-du-Rhône), Fouilles de Rochefleur (1976) et de l'ancien cinéma l'Odéon, Bd Victor Hugo (1999-2000), *RAN*, 45, p. 165-219.
- HENNINGSEN H.  
1965 Coins for luck under the mast, *The Mariner's Mirror*, 51, 3, p. 205-210.
- HERMARY A., HESNARD A., TRÉZINY H. (DIR.)  
1999 *Marseille grecque. La cité phocéenne (600-49 av. J.-C.)*, Paris, Éditions Errance.
- HESNARD A., GIANFROTTA P. A.  
1989 Les bouchons d'amphores en pouzzolane, dans *Amphores romaines et histoire économique. Dix ans de recherches, Actes du colloque de Sienne, 22-24 mai 1986*, Rome, École Française de Rome (Collection de l'École Française de Rome, 114), p. 393-441.
- HESNARD A. ET ALII  
1999 A. Hesnard, M. Moliner, F. Conche, M. Bouiron, *Parcours de villes. Marseille: 10 ans d'archéologie, 2600 ans d'histoire*, catalogue d'exposition, Marseille, Aix-en-Provence, Musées de Marseille, Éditions Édisud.
- HILLAM J., MORGAN R. A., TYERS I.  
1987 Sapwood estimates and the dating of short ring sequences, dans R.G.W. Ward (dir.), *Applications of tree-ring studies: current research in dendrochronology and related subjects*, Oxford, British Archaeological Reports (BAR International Series, 333), p. 165-185.
- HOCKER F. M., WARD C. A. (EDS)  
2004 *The Philosophy of Shipbuilding: conceptual approaches to the study of wooden ships*, College Station, Texas A&M University press (Ed. Rachal Foudation Nautical Archaeology series).
- HÖCKMANN O.  
1995 Rest römischer Prähme und Hafenanlagen vom Kappelhof in Mainz, *Mainzer Archäologische Zeitschrift*, 2, p. 131-166.
- HOFFMANN M.  
1964 *The warp-weighted loom. Studies in the history and technology of an ancient implement*, Oslo, Universitetsforlaget (Studia Norvegica, 14).
- HOFMANN B.  
1964 *La quincaillerie antique, 1<sup>re</sup> partie*, Paris, Touring- Club de France (Notice technique, 14).
- HOYO DEL J.  
2006 Corpus epigraphico, dans *Estudio histórico-arqueológico de la ciudad de Carteia (San Roque, Cádiz), 1994-1999*, II, Séville, Conserjería de cultura (Arqueología. Serie Monografías. Memorias, 24), p. 1-49.
- HURLEY W. M.  
1979 *Prehistoric cordage. Identification of impressions on Pottery*, Washington, Taraxacum (Aldine Manuals on Archeology, 3).
- ISOARDI D.  
2010 *Rapport de fouille de sauvetage au lieu-dit 5, place Jean-Baptiste Massillon (Arles) – 2009*, Rapport de Fouille, SRA-PACA, Aix-en-Provence, 2010, 3 vol.
- IZARRA DE F.  
1993 *Le fleuve et les hommes en Gaule romaine*, Paris, Éditions Errance (Collection des Hespérides).
- JACAMON M.  
1992 *Guide de dendrologie: arbres, arbustes, arbrisseaux des forêts françaises*, Nancy, École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts.
- JACOBSEN G.  
1995 *Primitiver Austausch oder freier Markt? Untersuchungen zum Handel in den gal-lisch-germanischen Provinzen während der römischen Kaiserzeit*, St. Katharinen, Scripta Mercaturae Verlag (Pharos, 5).
- JACQUIOT C.  
1955 *Atlas d'anatomie des bois des conifères*, Paris, Centre technique du bois.
- JACQUIOT C., TRÉNARD Y., DIROL D.  
1973 *Atlas d'anatomie des bois d'angiospermes (Essences feuillues)*, Paris, Centre technique du bois.
- JENSEN K.  
1999 *Documentation and Analysis of Ancient Ships*, Thèse de Doctorat, 2 volumes, Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Lyngby.

- JONCHERAY A., JONCHERAY J.-P.  
2004 L'épave Lardier 4 à La Croix-Valmer (Var, France), *CAS*, XV, p. 73-117.
- JONCHERAY J.-P.  
1986 L'épave G du Dramont, dans *L'exploitation de la mer de l'antiquité à nos jours. 2. La mer, moyen d'échange et de communication, Actes des VI<sup>es</sup> Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes (24-26 octobre 1985)*, Valbonne, APDCA, p. 217-230.  
1987 L'épave G du Dramont. Notes sur six épaves de tuiles, *CAS*, VI, p. 51-84.
- JONES T.  
2008 Newport Medieval Ship Project Update, *Archaeology in Wales*, 48, p. 85-88.  
2009a The Newport Medieval Ship: Her Three-Dimensional Digital Recording and Analysis, *Skyllis*, 9, 1, p. 36-41.  
2009b Three Dimensional Recording and Digital Modeling of the Newport Medieval Ship, *ACUA Underwater Archaeology Proceedings*, p. 111-116.  
2011 *The Newport Medieval Ship: Timber Recording Manual*, inédit.
- KAENNEL M., SCHWEINGRUBER F.H.  
1995 *Multilingual Glossary of Dendrochronology, Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian*, Berne, Paul Haupt.
- KOCABAŞ U.  
2012 The Latest Link in the Long Tradition of Maritime Archaeology in Turkey: The Yenikapi Shipwrecks, *European Journal of Archaeology*, 15, 1, p. 1-15.
- KRANTZ J.  
1852 Éléments de la théorie du navire, contenant les calculs de déplacement du centre de voiture, les méthodes de jaugeage, le calcul de l'exposant de charge, les théories de la stabilité, du gouvernail, des roulis et tangages, etc., Toulon, Andrieu, papetier, Imprimerie Baume.
- LAHDELMA I., OIKARI A.  
2005 Resin acids and retene in sediments adjacent to pulp and paper industries, *Journal of Soils and Sediments*, 5, 2, p. 74-81.
- LAMBERT G.-N.  
1998 La dendrochronologie, mémoire de l'arbre, dans A. Ferdière (dir.), *Les méthodes de datation en laboratoire*, Paris, Éditions Errance (Archéologiques), p. 13-69.
- LAMBERT G.-N., LAVIER C.  
1992 L'étalon dendrochronologique Bourgogne 29, dans *Les veines du temps. Lectures de bois en Bourgogne*, Catalogue d'exposition, Autun, Musée Rolin, p. 123-156.
- LANDURÉ C.  
2011 Arles. La Montille d'Ulmet, Camargue, dans *Bilan Scientifique de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur 2011*, Paris, Ministère de la culture et de la communication, p. 119-120.
- LANDURÉ C., MARTIN L., PASQUALINI M.  
2004 Les prospections au sol, dans C. Landuré, M. Pasqualini (dir.), *Delta du Rhône, Camargue antique, médiévale et moderne*, Aix-en-Provence, Association Provence Archéologie (Bulletin archéologique de Provence, 2), p. 121-134.
- LANDURÉ C., PASQUALINI M.  
2008 La Camargue, de la période grecque à l'Antiquité tardive, dans M.-P. Rothé, M. Heijmans (dir.) 2008, p. 233-240.
- LANGOUËT L., GIOT P.  
1992 *La datation du passé. La mesure du temps en archéologie*, Rennes, Groupe des Méthodes Pluridisciplinaires contribuant à l'Archéologie (Revue d'Archéométrie, supplément).
- LAPORTE S.  
1993 Les céramiques sigillées estampillées du Château-Musée de Boulogne-sur-Mer, *Revue du Nord*, 75, 301, p. 129-167.
- LAROCHE C.  
1987 Aoste (Isère), Un centre de production de céramiques (fin du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. – fin du 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C.). Fouilles récentes (1983-1984), *RAN*, 20, p. 281-348.  
1997 L'atelier de La Muette (2<sup>e</sup> période), *Gallia*, 54, p. 51-54.
- LAUFER B.  
1930 The early history of felt, *American Anthropologist*, New Series, 32, 1, p. 1-18.
- LAVIER C.  
2001 Apport de la dendrochronologie à l'étude de l'épave de Port Bertheau II, dans E. Rieth, C. Carrière-Desbois, V. Serna (dir.), *L'épave de Port Bertheau II (Charente-Maritime): un caboteur fluvio-maritime du haut Moyen Âge et son contexte nautique*, Paris, Maison des Sciences de l'Homme (DAF, 86), p. 129-132.
- LEBLANC O.  
2003 Contextes des II<sup>e</sup> et III<sup>e</sup> siècles sur le site de Saint-Romain-en-Gal (Rhône), dans SFECAG, *Actes du Congrès de Saint-Romain-en-Gal, 29 mai-1<sup>er</sup> juin 2003*, Marseille, SFECAG, p. 21-51.  
2007 *Les faciès des céramiques communes de la Maison des Dieux Océan à Saint-Romain-en-Gal (Rhône), du 1<sup>er</sup> siècle av. J.-C. au III<sup>e</sup> siècle apr. J.-C.*, Marseille, SFECAG (SFECAG, supplément 3).
- LE BOT-HELLY A., HELLY B.  
1999 Vienne, contrainte hydrologique et aménagements des rives du Rhône. De la *komè* allobroge à la ville du Haut Empire, dans Ph. Leveau (dir.) 1999, p. 71-79.
- LE GALL J.  
1953 *Recherches sur le culte du Tibre*, Paris, Presses Universitaires de France (Publications de l'Institut d'Art et d'Archéologie de l'Université de Paris, II).
- LENTHÉRIC CH.  
1892 *Du Saint-Gothard à la mer. Le Rhône, Histoire d'un fleuve*, Paris, Plon.
- LE SUEUR B.  
2004 Spécificités et modes de gestion des espaces fluviaux aux temps des batelleries traditionnelles de bassins, dans J. Burnouf, Ph. Leveau (dir.) 2004, p. 331-340.
- LEVEAU PH.  
1999 L'hydrologie du Rhône, les aménagements du chenal et la gestion territoriale de ses plaines en aval d'Orange, dans Ph. Leveau (dir.) 1999, p. 99-108.  
2007 Archéologie et geoarchéologie d'une période historique dans les Alpes: paradigmes épistémologiques de la romanisation, *Géomorphologie*, 1, p. 85-98.  
2008 Le territoire d'Arles, limites et structures, dans M.-P. Rothé, M. Heijmans (dir.) 2008, p. 115-130.
- LEVEAU PH. (DIR.)  
1999 Le Rhône romain: dynamiques fluviales, dynamiques territoriales, *Gallia*, 56, p. 1-175.
- LIEUTAGHI P.  
2004 *Le livre des arbres, arbustes et arbrisseaux*, Arles, Actes Sud.
- LIOU B.  
1974 L'épave romaine de l'anse Gerbal à Port-Vendres, *CRAI*, 118, 3, p. 414-433.
- LIOU B., DOMERGUE C.  
1990 Le commerce de la Bétique au II<sup>e</sup> siècle de notre ère. L'épave *Sud-Lavezzi 2*, Bonifacio, Corse du Sud, *Archaeonautica*, 10, p. 11-123.
- LIOU B., GASSEND J.-M.  
1990 L'épave *Saint-Gervais 3* à Fos-sur-Mer (milieu du II<sup>e</sup> siècle ap. J.-C.). Inscriptions peintes sur amphores de Bétique. Vestiges de la coque, *Archaeonautica*, 10, p. 157-264.
- LISS S. N., BICHO P. A., SADDLER J. N.  
1997 Microbiology and biodegradation of resin acids in pulp mill effluents: a minireview, *Canadian Journal of Microbiology*, 43, 7, p. 599-611.
- LLOYD S., MELLAART J.  
1962 *Beycesultan 1: The chalcolithic and Early Bronze Age Levels*, Londres, British Institute of archaeology at Ankara (Occasional publications of the British Institute of archaeology at Ankara, 6).
- LONCHAMBON C.  
2000 Un bateau monoxyde-assemblé à Chalon-sur-Saône (1<sup>er</sup> siècle ap. J.-C.), dans L. Bonnamour (dir.), *Archéologie des fleuves et des rivières*, Paris, Éditions Errance, Ville de Chalon-sur-Saône, p. 174-178.  
2011 Le chaland du pont romain de Chalon-sur-Saône: réflexions sur le système d'étalement, dans G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.) 2011, p. 121-128.
- LONCHAMBON C., BONNAMOUR L.  
2009 Les bateaux du pont romain de Chalon-sur-Saône (Saône-et-Loire): des témoins de l'évolution des techniques de construction navale au 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C., *Gallia*, 66, 2, p. 59-112.

- LONG L.
- 2000 Emergence d'un patrimoine archéologique exceptionnel dans le lit du Rhône, à Arles, dans L. Bonnamour (dir.), *Archéologie des fleuves et des rivières*, Paris, Éditions Errance, p. 179-182.
- 2004 Carte Archéologique, dans *Bilan Scientifique du DRASSM 2004*, Paris, Ministère de la culture et de la communication, p. 53-59.
- 2008 *Secrets du Rhône. Les trésors archéologiques du fleuve à Arles*, Arles, Actes Sud.
- 2009a De la mer au fleuve : les ports antiques d'Arles, dans L. Long, P. Picard (dir.) 2009, p. 30-43.
- 2009b Les épaves et les équipements de navires, dans L. Long, P. Picard (dir.) 2009, p. 232-243.
- LONG L., DUPERRON G.
- 2013 Navigation et commerce dans le delta du Rhône : l'épave Arles-Rhône 14 (III<sup>e</sup> s. ap. J.-C.), dans S. Mauné, G. Duperron (dir.), *Du Rhône aux Pyrénées. Aspects de la Vie Matérielle en Gaule Narbonnaise, II (1<sup>er</sup> s. av. J.-C. – 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C.)*, Montagnac, Éditions Monique Mergoïl (Archéologie et Histoire Romaine, 25), p. 125-167.
- LONG L., PICARD P. (DIR.)
- 2009 *César. Le Rhône pour mémoire. Vingt ans de fouilles dans le fleuve à Arles*, catalogue d'exposition, Arles, Actes Sud, Musée départemental Arles antique.
- LONG L., PITON J., DJAOUÏ D.
- 2009 Les céramiques communes des gisements du Rhône à Arles, le faciès portuaire d'époque impériale, dans M. Pasqualini (dir.) 2009, p. 569-614.
- LONG L., RIVAL M.
- 2005 Épave Arles-Rhône 3, dans *Bilan Scientifique du DRASSM 2005*, Paris, Ministère de la Culture et de la Communication, p. 64-66.
- LONG L., RIVAL M., MARLIER S.
- 2009 The Gallo-Roman wreck "Arles-Rhone 3". A flat-bottomed river boat in the Rhône river in Arles (France). A preliminary report, dans R. Bockius (ed.), *Between the Seas: transfer and exchange in nautical technology, proceeding of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Mainz, sept. 2006*, Mayence, Römisch-Germanisches Zentralmuseum (RGZM-Tagungen, 3; ISBSA, 11), p. 303-311.
- LÓPEZ MULLOR A.
- 1990 *Las cerámicas romanas de paredes finas en Cataluña*, Saragosse, Libros Portico.
- LÖRINCZ B.
- 2000 *Onomasticon Provinciarum Europae Latinarum, vol. III. Labareus-Pythea*, Vienne, Forschungsgesellschaft Wiener Stadtarchäologie.
- MC KEE E.
- 1998 *Working Boats of Britain: Their Shape and Purpose*, Greenwich, Conway Maritime Press.
- MAGNY M., MIRAMONT C., SIVAN O.
- 2002 Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 186, p. 47-59.
- MAIURI A.
- 1958 *Navalia Pompeiana*, RAAN, 33, p. 7-34.
- MANACORDA D.
- 2005 Appunti sull'industria edilizia a Roma, dans Ch. Bruun (dir.), *Interpretare i bolli laterizi di Roma e della valle del Tevere: Produzione, storia economica e topografia*, Actes du colloque de Rome, 31 mars-1<sup>er</sup> avril 2000, Rome, Institutum Romanum Finlandiae (Acta Instituti Romani Finlandiae, 32), p. 25-52.
- MARICHAL R.
- 1988 *Les graffites de La Graufesenque*, Paris, Éditions du CNRS (Gallia, supplément 47).
- MARLIER S.
- 2008 Architecture et espace de navigation des navires à dolia, *Archaeonautica*, 15, p. 153-173.
- 2009 Un objectif : remonter le Rhône jusqu'à Lyon, *Beaux-Arts magazine*, Paris, Beaux-Arts/TTM Éditions, Musée départemental Arles antique, p. 28-35.
- 2010a *Les épaves Arles-Rhône 5 et Arles-Rhône 3. Éléments de comparaison entre deux chalands gallo-romains. Rapport préliminaire aux rapports d'opération à produire relatifs à l'opération de fouille programmée de l'épave Arles-Rhône 3 (05 juillet-03 août et 23 sept.-08 oct. 2010) et l'opération de sondage sur l'épave Arles-Rhône 5 (13-21 sept. 2010)*, inédit (dépôt DRASSM).
- 2010b Un film d'animation 3D sur l'épave Arles-Rhône 3, *L'Archéo-Théma*, 6, p. 20-21.
- 2011a Épave Arles-Rhône 5. Rapport de sondage, inédit (dépôt DRASSM).
- 2011b L'épave Arles-Rhône 3 : étude préliminaire d'un chaland gallo-romain, dans G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.) 2011, p. 131-151.
- MARLIER S., DJAOUÏ D.
- 2013 Arles et le Rhône à l'époque romaine, dans G. Garidel (dir.), *Les Gallo-romains*, Louviers, Ysec Éditions (Les cahiers de l'Antiquité), p. 117-124.
- MARLIER S. ET ALII
- 2008 S. Marlier, S. Greck, D. Djaoui, E. Bouquin, *L'épave Arles-Rhône 3. Rapport d'opération 2008*, inédit (dépôt DRASSM).
- 2012a S. Marlier, D. Djaoui, M. El Amouri, S. Greck, B. Poinard (dir.) *L'épave Arles-Rhône 3. Chantier de fouille-relevage. Rapport d'opération 2011*, inédit (dépôt DRASSM).
- 2012b S. Marlier, S. Greck, F. Guibal, V. Andrieu-Ponel, Arles-Rhône 3: Architectural and Paleobotanical Study of a Gallo-Roman Barge from the 1<sup>st</sup> Century in the Rhône river, dans N. Günzenin (ed.) 2012, p. 201-210.
- 2013 S. Marlier, D. Djaoui, M. El Amouri, S. Greck, B. Poinard, « Arles-Rhône 3 » – Über die Ausgrabung und Bergung eines gallo-römischen Lastkahns (Arles, Frankreich), in M. Reinfeld (ed.), *Archäologie im Mittelmeer*, Verlag Philipp von Zabern, Darmstadt/Mainz, p. 177-184.
- MARLIER S., GRECK S., DJAOUÏ D.
- 2007 *L'épave Arles-Rhône 3. Rapport d'opération 2007*, inédit (dépôt DRASSM).
- 2010 *L'épave Arles-Rhône 3. Rapport d'opération 2010*, inédit (dépôt DRASSM).
- MARLIER S., POMEY P.
- 2008 La construction navale à l'époque romaine : permanences et évolutions, dans M. Molin (dir.), *Archéologie et histoire des techniques du monde romain, Actes du colloque de la Société Française d'Archéologie Classique, Paris, INHA, 18 novembre 2006*, Paris, De Boccard, p. 105-118.
- MARLIER S., POVEDA P., RANCHIN N.
- À paraître The Arles-Rhône 3 project: From the excavation and raising of a Gallo-Roman barge, in the southern coastal French city of Arles, to its documentation and modelling in 3D (2011-2012), dans *Proceeding of the 13<sup>th</sup> International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Amsterdam, 8-12 octobre 2012* (ISBSA 13).
- MARLIER S., RIETH E.
- À paraître Le chaland Arles-Rhône 3 : présentation architecturale et particularités au sein de la construction navale gallo-romaine, dans *Colloque international. La construction navale et ses objets : nouvelles approches, nouveaux outils, Nantes, 20-21 septembre 2012*.
- MARLIÈRE É.
- 2002 *L'outré et le tonneau dans l'Occident romain*, Montagnac, Éditions Monique Mergoïl (Monographies Instrumentum, 22).
- MARSDEN P.
- 1965 The Luck coin in ships, *The Mariner's Mirror*, 51, 1, p. 33-34.
- 1976 A boat of a Roman period found at Bruges, Belgium, in 1899, and related types, *JJNA*, 5, 1, p. 23-55.
- MARSDEN P. (ED.)
- 1994 *Ships of the Port of London. First to eleventh centuries AD*, London, English Heritage (Archaeological reports, 3).
- MARTIN L.
- 1997 La Carrelet en Camargue, bassins de salaison et occupations de l'Antiquité tardive, dans M. Baudat (dir.), *Crau, Alpilles, Camargue. Histoire et archéologie, Actes du colloque des 18-19 novembre 1995*, Arles, Groupe archéologique arlésien, p. 51-57.
- MARTIN V. J. J., YU Z., MOHN W. W.
- 1999 Recent advances in understanding resin acid biodegradation: microbial diversity and metabolism, *Archives of Microbiology*, 172, p. 131-138.
- MARTY F.
- 2002 Aperçu sur les céramiques à pâte claire du golfe de Fos, dans L. Rivet, M. Sciallano (dir.), *Vivre produire et échanger: reflets méditerranéens, Mélanges offerts à Bernard*

- Liou, Montagnac, Éditions Monique Mergoïl (Archéologie et Histoire Romaine, 8), p. 201-220.
- MAYET F.  
1975 *Les céramiques à parois fines dans la péninsule Ibérique*. Paris, De Boccard (Publications du Centre Pierre Paris, 1).
- MÉDARD F.  
2006 *Les activités de filage au Néolithique sur le Plateau suisse. Analyse technique, économique et sociale*, Paris, CNRS Éditions (CRA monographies, 28).  
2008 Les vestiges textiles de Pompéi, dans J.-P. Brun, Ph. Borgard (dir.), *L'artisanat à Pompéi, Rapport d'activité scientifique*, inédit.  
2009 *Les tissus du Parc Saint-Georges (Lyon, 5<sup>e</sup> arrondissement). I-III<sup>e</sup> siècles de notre ère, Rapport d'analyse*, inédit.  
2010 Les tissus associés à la construction des chaulands gallo-romains du Parc Saint-Georges (Lyon), I-III<sup>e</sup> siècles ap. J.-C., dans E. Rieth (dir.) 2010, p. 136-146.  
2011 Textiles archéologiques et archéologie navale. L'exemple des tissus gallo-romains du Parc Saint-Georges, dans G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.) 2011, p. 105-117.
- MÉDARD F., BORGARD PH., MOULHÉRAT C.  
2011 Le travail du textile à Pompéi. Ateliers et restes de tissus, dans C. Alfaro, J.-P. Brun, Ph. Borgard, R. Pierobon-Benoit (dir.), *Textiles y tintes en la ciudad antigua, Actas del III Symposium Internacional sobre textiles y tintes del Mediterraneo en el mundo antiguo, Napoles 13-15 de noviembre 2008*, Naples, Centre Jean Bérard (Collection du Centre Jean Bérard, 36; Archéologie de l'artisanat antique, 4; Purpureae Vestes, III), p. 83-90.
- MÉDARD F., MONTHEL G.  
2004 Découvertes textiles du II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> siècle après J.-C. au site du «Petit-Creusot» (France, Saône-et-Loire), dans C. Alfaro, J.-P. Wild, B. Costa (dir.), *Purpureae Vestes: actas del I Symposium Internacional sobre textiles y tintes del Mediterráneo en época romana, Ibiza, 8 al 10 de noviembre 2002*, Valencia, Eivissa, Universitat de Valencia, Consell Insular d'Eivissa i Formentera (Purpureae Vestes, I), p. 97-105.
- MELLAART J.  
1966 Excavations at Çatal Hüyük 1965, Fourth preliminary report, *Anatolian Studies*, 16, p. 165-191.  
1975 *The Neolithic of the near east*, Londres, Thames and Hudson.
- MELLINAND PH.  
1998 Les céramiques communes de la nécropole Sainte-Barbe à Marseille (I<sup>er</sup>-III<sup>e</sup> s.), Essai de Classification, dans M. Bonifay, M.-B. Carre, Y. Rigoir (dir.), *Fouilles à Marseille. Les mobiliers (I<sup>er</sup>-VII<sup>e</sup> siècles apr. J.-C.)*, Paris, Éditions Errance (Études Massaliètes, 5; Travaux du Centre Camille Jullian, 22), p. 309-316.  
2011a *Provence Alpes Côte d'Azur, Bouches-du-Rhône, Arles, Gare Maritime*, Rapport d'opération de diagnostic archéologique, Inrap.  
2011b *Provence Alpes Côte d'Azur, Bouches-du-Rhône, Arles, 36 Avenue de Camargue*, Rapport d'opération de diagnostic archéologique, Inrap.
- MELLINAND PH., SIVAN O.  
2011 *Gare Maritime. Rapport Inrap du diagnostic archéologique de la gare maritime d'Arles*, INRAP Méditerranée.
- MERCUZOT A.  
1997 *Guide des outils et objets domestiques, identification, restauration*, Paris, Jean-Cyrille Godefroy/SELD.
- MICHEL J.-M.  
2009 L'atelier de potier antique d'Amphoux (Fox-Amphoux, Var), dans M. Pasqualini (dir.), 2009, p. 33-56.
- MILLS J. S., WHITE R.  
1994 *The organic chemistry of museum objects*, London, Butterworth-Heinemann (Butterworth-Heinemann series in conservation and museology).
- MOLIN M.  
2007 Circulation, transports et déplacement en Europe occidentale (II<sup>e</sup> s. av. J.-C.-II<sup>e</sup> s. apr. J.-C.). Données indigènes et apports romains, *Pallas*, 80, p. 205-221.
- MOLINIER R.  
1981 *Catalogue des plantes vasculaires des Bouches-du-Rhône*, Marseille, Imprimerie Municipale.
- MONTHEL G. ET ALII  
1998 G. Monthel, M. Schoefer, O. Valansot, D. De Reyer, W. Nowik, Les tissus gallo-romains de Chalon-sur-Saône. Étude pluridisciplinaire, *Bulletin du Centre International d'Étude des textiles anciens (CIETA)*, 75, p. 21-36.
- MOULHÉRAT C.  
2003 Les vestiges textiles, dans C. Rolley (dir.), *La tombe princière de Vix*, Paris, Éditions Picard, p. 286-295.
- NIELOUD-MULLER S.  
2011 Ensemble céramique de la seconde moitié du II<sup>e</sup> siècle apr. J.-C. découvert dans le lac du Bourget (Savoie): dépôt cultuel en milieu lacustre?, dans SFECAG, *Actes du congrès d'Arles, 2-5 juin 2011*, Marseille, SFECAG, p. 367-380.
- OLLIVE V. ET ALII  
2006 V. Ollive, C. Petit, J.-P. Garcia, M. Reddé, Rhine flood deposits recorded in the Gallo Roman site of Oedenburg, *Quaternary International*, 150, p. 29-40.
- PAGÈS G. ET ALII  
2011 G. Pagès, P. Dillmann, P. Fluzin, L. Long, A study of the roman iron bars of Saintes-Maries-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône, France). A proposal for a comprehensive metallographic approach, *Journal of Archaeological Science*, 38, 6, p. 1234-1252.
- PANCIERA S.  
2000 *L. Arrunti Stellae sub officio ad calcem*, dans G. Paci (dir.), *Epigrafai Miscellanea epigrafica in onore di Lidio Gasperini*, II, Tivoli, Editrice Tipigraf, p. 671-684.
- PASQUALINI M.  
2009 Classification des céramiques communes provençales romaines. Production des bassins d'Arles et du Rhône, de l'Arc (Aix-en-Provence), de l'Huveaune (Marseille), de l'Argens (Fréjus) et de la Siagne (Cannes et Mandelieu). I<sup>er</sup> siècle av. n. ère – III<sup>e</sup> siècle ap. n. ère, dans M. Pasqualini (dir.) 2009, p. 347-373.
- PASQUALINI M. (DIR.)  
2009 *Les céramiques communes d'Italie et de Narbonnaise. Structures de production, typologies et contextes inédits. I<sup>er</sup> siècle av. J.C. – III<sup>e</sup> siècle ap. J.C., Actes de la table ronde de Naples, 2-3 nov. 2006*, Naples, Centre Jean Bérard (Collection du Centre Jean Bérard, 30), p. 347-373.
- PASQUALINI M., EXCOFFON P., VELLA C.  
2004 «Le Grand Parc». Un habitat du I<sup>er</sup> siècle avant notre ère en Camargue. Domaine de la Tour du Valat (Arles, Bouches-du-Rhône), *DAM*, 27, p. 251-316.
- PASSEGA R.  
1957 Texture as characteristic of clastic deposition, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 41, p. 1952-1984.
- PEIRY J.-L.  
1994 Application de l'analyse multivariée et de l'image C/M des dépôts fluviaux à la reconstitution des paléo-environnements fluviaux. L'exemple d'un bras mort du Rhône en amont de Lyon, *Quaternaire*, 5, 2, p. 59-68.
- PLINE L'ANCIEN  
1964 *Histoire Naturelle*, Éditions et traduction de J. André, Paris, Les Belles Lettres.
- POLAK M.  
2000 *South Gaulish Terra Sigillata with Potters' Stamps from Vechten*, Nijmegen Katholieke Universiteit Nijmegen, (Rei Cretariae Romanae Fautorum Acta, supplément 9).
- POMEY P. (DIR.)  
1997 *La navigation dans l'Antiquité*, Aix-en-Provence, Édusud.
- POMEY P., RIETH E.  
2005 *L'Archéologie Navale*, Paris, Éditions Errance.
- POMEY P., TCHERNIA A.  
1978 Le tonnage maximum des navires de commerce romains, *Archaeonautica*, 2, p. 233-251.
- PRISSET J.-L., BRISSAUD L., LEBLANC O.  
1994 Évolution urbaine à Saint-Romain-en-Gal, la rue du Commerce et la maison aux Cinq Mosaïques, *Gallia*, 51, p. 1-133.
- PROVANSAL M. ET ALII  
1999 M. Provansal, J.-F. Berger, J.-P. Bravard, P.-G. Salvador, G. Arnaud-Fassetta, H. Bruneton,

A. Vérot-Bourrély, Le régime du Rhône dans l'Antiquité et au Haut Moyen Âge, dans Ph. Leveau (dir.) 1999, p. 13-32.

RACCASI G.

2008 *Mutations géomorphologiques récentes du Rhône aval, Recherches en vue de la restauration hydraulique et de la gestion des crues*, Thèse de géographie, Université de Provence.

RADIĆ ROSSI I., BOETTO G.

2010 Arheologija broda i plovidbe – Šivani brod u uvali Caski na Pagu, Istraživačka kampanja, *Histria Antiqua*, 19, p. 299-307.

RAPSAET G.

1984 Transport de tambours de colonnes du Pentélique à Eleusis au IV<sup>e</sup> siècle avant notre ère, *L'Antiquité Classique*, 53, p. 101-136.

1997 Réflexions sur l'innovation en matière de transport terrestre : l'exemple de la Gaule sous le Haut-Empire, dans D. Meeks, D. Garcia (dir.), *Techniques et économie antiques et médiévales, Le temps de l'innovation, Actes du colloque d'Aix-en-Provence, 21-23 mai 1996*, Paris, Éditions Errance (Travaux du Centre Camille Jullian, 21 ; Archéologie aujourd'hui), p. 137-141.

RAMEAU J.-C. ET ALII

2008 J.-C. Rameau, D. Mansion, G. Dume, C. Gauberville, J. Bardat, E. Bruno, R. Keller, *Flore forestière française, Guide écologique illustré, tome 3 : Région méditerranéenne*, Paris, Institut pour le Développement Forestier.

RAMEAU J. C., MANSION D., DUME G.

1989 *Flore forestière française, Guide écologique illustré, tome 1 : Plaines et collines*, Paris, Institut pour le Développement Forestier.

1993 *Flore forestière française, Guide écologique illustré, tome 2 : Montagnes*, Paris, Institut pour le Développement Forestier.

RANCHIN N.

2012 *Three-dimensional (3D) recording of recovered shipwrecks*, Master Thesis, University of southern Denmark.

RAVN M. ET ALII

2011 M. Ravn, V. Bischoff, A. Englert, N. Søren, Recent Advances in Post-Excavation Documentation, Reconstruction, and Experimental Maritime Archaeology, dans A. Catsambis, B. Ford, D. L. Hamilton (ed.), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, Oxford, Oxford University Press, p. 232-249.

REBUFFAT R.

2000 Les briques du complexe fortifié de Jublains, dans P. Boucheron, H. Broise, Y. Thébert (dir.), *La brique antique et médiévale. Production et commercialisation d'un matériau, Actes du colloque de Saint-Cloud, 16-18 novembre 1995*, Rome, École française de Rome (Collection de l'École française de Rome, 272), p. 161-169.

REILLE M.

1992 *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*, Marseille, Laboratoire de Botanique historique et de Palynologie (Pub.).

1995 *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, supplément 1*, Marseille, Laboratoire de Botanique historique et de Palynologie (Pub.).

1998 *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, supplément 2*, Marseille, Laboratoire de Botanique historique et de Palynologie (Pub.).

REMILLAT

1791 *Mémoire relatif aux ouvrages qu'il est urgent de faire pour la facilité et sûreté de la navigation à l'embouchure du Rhône*, Paris, Imprimerie nationale.

REUNANEN M., EKMAN R., HEINONEN M.

1989 Analysis of Finnish pine tar and tar from the wreck of frigate St. Nikolai, *Holzforschung*, 43, p. 33-39.

RICHARD F. ET ALII

2005 F. Richard, G. Coriol, P.-A. Moreau, M.-A. Selosse, M. Gardes, Biodiversité, dynamique et conservation des champignons saproxyliques en France : perspectives pour la gestion forestière, dans D. Vallauri (ed.), *Bois mort et à cavités, une clé pour des forêts vivantes*, Paris, Lavoisier, Tec & Doc, p. 156-166.

RIETH E.

1981 La construction navale à fond plat en Europe de l'Ouest, *Ethnologie Française*, 11, 1, p. 47-62.

1998 *Des bateaux et des fleuves. Archéologie de la batellerie du Néolithique aux Temps modernes en France*, Paris, Éditions Errance.

1999 L'épave gallo-romaine de la place Tolozan à Lyon (France), dans H. Tzalas (ed.), *5<sup>th</sup> International Symposium on ship construction in Antiquity, Nauplia, 26-27-28 August 1993 : proceedings*, Athènes, Hellenic Institute for the preservation of nautical tradition (Tropis, 5), p. 339-348.

2007 *Archéologie de la batellerie. Architecture navique fluviale*, Conflans-Sainte-Honorine, Association des Amis du Musée de la batellerie (Les cahiers du Musée de la batellerie, 56).

2008 L'épave (deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> s.) de Saint-Gingolph, Lac Léman (Haute-Savoie), *Archaeonautica* 15, Paris, CNRS Éditions, p. 63-112.

2010a Les épaves gallo-romaines. Archéologie de la batellerie gallo-romaine et architecture « sur sole », dans E. Rieth (dir.) 2010, p. 35-47.

2010b Les épaves du Parc Saint-Georges : une variante régionale de l'architecture « sur sole », dans E. Rieth (dir.) 2010, p. 98-103.

2011 L'épave du chaland gallo-romain de la place Tolozan à Lyon : approche d'une tradition régionale de construction « sur sole » en relation avec l'architecture navale maritime méditerranéenne, dans G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.) 2011, p. 63-72.

RIETH E. (DIR.)

2010 *Les épaves de Saint-Georges – Lyon, I<sup>er</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles. Analyse architecturale et études complémentaires*, Paris, CNRS Éditions (Archaeonautica, 16).

RIGAUD PH.

1996 *Arles, le Rhône et la mer, Catalogue des sources de l'histoire maritime et fluviale d'Arles (XIV<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> siècles)*, Arles, Association « Allège du Rhône ».

RIVAL M.

1991 *La Charpenterie navale romaine : matériaux, méthodes, moyens*, Paris, Éditions du CNRS (Travaux du Centre Camille Jullian, 4).

2005 *L'épave gallo-romaine Arles-Rhône 3. Une embarcation à coque monoxyle-assemblée, Rapport de fouille 2005, Étude d'architecture*, inédit (dépôt DRASSM).

RIVET L.

1982 La céramique culinaire micacée de la région de Fréjus (Var), *RAN*, 15, p. 243-262.

2003 *Lampes antiques du Golfe de Fos. Collections du Musée d'Istres et du Service du Patrimoine de Fos-sur-Mer. Production et consommation*, Aix-en-Provence, Istres, Edisud, Musée d'Istres.

2004 Lampes à huile et céramiques à parois fines de l'atelier de potiers gallo-romain de l'agglomération portuaire de Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône), *RAN*, 37, p. 233-257.

ROCHE-BERNARD G., FERDIÈRE A.

1993 *Costumes et textiles en Gaule romaine*, Paris, Éditions Errance.

ROMMELAERE C., RAEPSAET G.

2001 Les originalités techniques de la traction animale de l'Antiquité au Moyen Âge. Mythes et réalités, dans J.-P. Brun, Ph. Jockey (éd.), *Techniques et sociétés en Méditerranée*, Paris, Maisonneuve et Larose (L'atelier méditerranéen ; Travaux du Centre Camille Jullian, 30), p. 575-583.

ROSSIAUD J.

1978 Les haleurs du Rhône au XV<sup>e</sup> siècle, dans *Les transports au Moyen Âge. Actes du VII<sup>e</sup> congrès des médiévistes de l'enseignement supérieur. Rennes Juin 1976*, Rennes, Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest. Tome 85, numéro 2, p. 283-304.

2002a *Dictionnaire du Rhône médiéval. Identités et langages, savoirs et techniques des hommes du fleuve (1300-1550). Tome I*, Grenoble, Centre Alpin et Rhodanien d'Ethnologie (Documents d'Ethnologie Régionale, 23).

2002b *Dictionnaire du Rhône médiéval. Identités et langages, savoirs et techniques des hommes du fleuve (1300-1550). Tome II*, Grenoble, Centre Alpin et Rhodanien d'Ethnologie (Documents d'Ethnologie Régionale, 23).

2007 *Le Rhône au Moyen Âge : histoire et représentations d'un fleuve*, Paris, Aubier (Collection historique).

ROTHÉ M.-P., GENOT A. (DIR.)

2014 *Verrerie de Trinquetaille, opération nécessitée par l'urgence absolue – avril-novembre 2013*, Arles, Musée départemental Arles antique, inédit (dépôt SRA-PACA).



- ROTHÉ M.-P., HEIJMANS M.  
2008 *Arles, Crau, Camargue*, Paris, Académie des Inscriptions et Belles-Lettres (CAG, 13/5).
- ROTHÉ M.-P., TRÉZINY H.  
2005 *Marseille et ses alentours*, Paris, Académie des Inscriptions et Belles-Lettres (CAG, 13/3).
- ROURE R., PERNET L. (DIR.)  
2011 *Des rites et des hommes. Les pratiques symboliques des Celtes, des Ibères et des Grecs en Provence, en Languedoc et en Catalogne*, Paris, Éditions Errance (Archéologie de Montpellier Agglomération, 2).
- SALVADOR P.-G. ET ALII  
2002 P.-G. Salvador, A. Verot, J.-P. Bravard, O. Franc, S. Mace, Les crues du Rhône à l'époque gallo-romaine dans la région lyonnaise, dans J.-P. Bravard, M. Magny (dir.), *Histoire des rivières et des lacs de Lascaux à nos jours*, Paris, Éditions Errance, p. 215-221.  
2004 P.-G. Salvador, J.-F. Berger, E. Gauthier, B. Vannière, Holocene fluctuations of the Rhone river in the alluvial plain of the Basse Terre, *Quaternaire*, 15, 1-2, p. 177-186.  
2005 P.-G. Salvador, J.-F. Berger, M. Fontugne, E. Gauthier, Étude des enregistrements sédimentaires holocènes des paléoméandres du Rhône dans le secteur des basses terres (Ain, Isère, France), *Quaternaire*, 16, 4, p. 315-328.
- SANCHEZ C.  
2011 Vaisselle de bord et petits conteneurs. L'exemple des céramiques communes de la « collection Bouscaras » à Port-la-Nautique, dans C. Sanchez, M.-P. Jézégou (dir.) 2011, p. 143-173.
- SANCHEZ C., CARRATO C., FAVENNEC B.  
2011 Recherches récentes sur les contextes portuaires de Narbonne (Aude) : les fouilles de Port-La-Nautique et du Grand Castélou, dans SFECAG, *Actes du Congrès d'Arles, 2-5 juin 2011*, Marseille, SFECAG, p. 171-201.
- SANCHEZ C., JÉZÉGOU M.-P. (DIR.)  
2011 *Espaces littoraux et zones portuaires de Narbonne et sa région dans l'Antiquité*, Lattes, Éditions de l'Association pour le Développement de l'Archéologie en Languedoc-Roussillon (ADAL) (Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, 28).
- SANDSTRÖM M. ET ALII  
2002 M. Sandström, F. Jalievand, I. Persson, U. Geliu, P. Frank, I. Hall-Roth, Deterioration of the seventeenth century warship Vasa by internal formation of sulfuric acid, *Nature*, 415, p. 893-897.
- SANDSTRÖM M., FORS Y., PERSSON I.  
2003 *The Vasa's New Battle, Sulphur, Acid and Iron*, Stockholm, National Maritime Museum (Vasa Studies, 19).
- SANTAMARIA C.  
1984 Le pied de mât de l'épave « E » du cap Dramont (Saint-Raphaël, Var), *Archaeo-nautica*, 4, p. 107-114.
- SAVAY-GUERRAZ H.  
1990 Les matériaux calcaires dans l'art funéraire à Lyon, *Gallia*, 47, p. 135-144.
- SAVAY-GUERRAZ H., PRISSET J.-L.  
1992 Le portique de Saint-Romain-en-Gall et son contexte. État de la recherche, *RAN*, 25, p. 105-124.
- SCHWEINGRUBER F. H.  
1982 *Mikroskopische Holz Anatomie, Anatomie microscopique des bois, Microscopic wood anatomy: formenspektren mittel-europäischer stamm- und Zweighölzer zur bestimmung von rezentem und subfossilem material*, Teufen, Kommissionsverlag.  
1990 *Anatomie europäischer Hölzer: ein Atlas zur Bestimmung europäischer Baum-, Strauch- und Zwergstrauchhölzer, Anatomy of European woods: an Atlas for the identification of European trees, shrubs and dwarf shrubs*, Bern, Stuttgart, Haupt.
- SCRINARI V.  
1979 *Le navi del porto di Claudio*, Rome, Tipografia centenari.
- SERNA V.  
1996 Quelques réflexions à propos du concept de navigabilité des rivières au Moyen Âge en France, dans F. Ciciliot (dir.), *Navalia Archeologia e Storia*, Savona, The International Propeller Club, p. 105-115.
- SERNA V. (DIR.)  
2010 *La Loire, dessus-dessous : archéologie d'un fleuve de l'âge du Bronze à nos jours*, Dijon, Éditions Faton.
- SINTÈS C.  
1990 Les fondations du cirque romain, *Revue d'Arles*, 2, p. 52-57.
- SOLIN H., SALOMIES O.  
1994 *Repertorium nominum gentilium et cognominum Latinorum*, Hildesheim, Olms-Weidmann (Alpha-Omega ; Reihe A, 80).
- STERN B. ET ALII  
2006 B. Stern, S. J. Clelland, C. C. Nordby, D. Urem-Kotsou, Bulk stable light isotopic ratios in archaeological birch bark tars, *Applied Geochemistry*, 21, p. 1668-1673.
- TALLAH L.  
2004 Cabrières, n° 28, dans L. Tallah (dir.), *Le Luberon et Pays d'Apt*, Paris, Académie des Inscriptions et Belles Lettres (CAG, 84/2), p. 211-212.
- TALON B.  
1997 Étude anatomique et comparative de charbons de bois de *Larix decidua* Mill. et de *Picea abies* (L.) Karst, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Séries III-Sciences de la Vie*, 320, p. 581-588.
- TILLIER M.  
2013 *Carpologie en contexte portuaire romain : Économie végétale et environnement des sites de Caska (Ile de Pag, Croatie), du Castélou (Narbonne) et d'Arles-Rhône 3*, Master 2 Archéologie, Université Paul Valéry – Montpellier III, sous la direction de
- L. Bouby (UMR 5059) et N. Rovira (UMR 5140).
- TJELLDEN A. K., BOTTFELD K.  
2009 Impregnation Depth of PEG in Wood from the Roskilde Ships, dans K. Straetkvern, D.J. Huisman (ed.), *Proceedings of the 10<sup>th</sup> ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Amsterdam, 2007*, Amsterdam, Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten, p. 301-313.
- TOMATIS C.  
2012 *Évolution d'un bras fossile du Rhône en relation avec le site archéologique d'Ulmet, Camargue, France*, Mémoire de master 2, Aix Marseille Université.
- TRAN N.  
À paraître C. Veturius Testius Amandus, les cinq corps de lénunculaires d'Ostie et la batellerie tibérine au début du III<sup>e</sup> siècle, *MEFRA*, 126/1, 2014.
- TRAN Q. K., GUINARD M.  
2009 Stabilisation of dry archaeological wood having sulphur compounds by impregnation of radiation-curing unsaturated polyester resin, dans K. Straetkvern, D.J. Huisman (ed.), *Proceedings of the 10<sup>th</sup> ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Amsterdam, 2007*, Amsterdam, Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten, p. 563-576.
- TRAULLÉ L.  
1809 Lettre adressée à M. Mongez sur les débris d'un bateau détérré dans les levées de la Somme, près d'Abbeville, *Magasin Encyclopédique*, II, p. 5-17.
- TRÉZINY H.  
2008 Textes antiques sur le delta du Rhône, dans M.-P. Rothé, M. Heijmans (dir.) 2008, p. 219-224.
- TRIAI-LAVAL H.  
1978 Contribution pollen-analytique à l'histoire tardi et postglaciaire de la végétation de la basse-vallée du Rhône, Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille III.
- TRINTIGNAC A.  
2003 La production de poix dans la cité des Gabales (Lozère) à l'époque gallo-romaine, *Cultivateurs, éleveurs et artisans dans les campagnes de Gaule romaine*, Revue Archéologique de Picardie, 1-2, p. 239-248.
- VAN DE MOORTEL A.  
2011 Medieval boat and ship finds of Germany, the Low Countries, and northeast France: archaeological evidence for shipbuilding traditions, shipbuilding resources, trade, and communication, dans *Flüsse als Kommunikations- und Handelswege (5-7 November 2009, Deutsches Schifffahrtsmuseum, Bremerhaven)*, Rahden/Westf., Leidorf (Siedlungs- und Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet, 34), p. 67-104.

- VAN DEN BERG K. J. *ET ALII*  
 1996 K. J. Van den Berg, I. Pastarova, L. Spetter, J. J. Boon, State of oxidation of diterpenoid Pinaceae resins in varnish, wax lining material, 18<sup>th</sup> century resin oil paint, and a recent copper resinate glaze, dans *ICOM Committee for Conservation, Preprints, 11<sup>th</sup> Triennial Meeting, 1-6 September 1996, Edinburg, Scotland*, London, James and James, p. 930-937.
- VAN DOORNINCK F. H.  
 1976 4<sup>th</sup>-century wreck at Yassi Ada, *IJNA*, 5, p. 115-131.
- VAN GEEL B.  
 1978 A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals, *Review of Palaeobotany & Palynology*, 25, p. 1-120.
- VAN HOLK A.  
 2006 A Roman barge with an artefactual inventory from De Meern (the Netherlands), dans L. Blue, F. Hocker, A. Englert (eds.), *Connected by the Sea: proceedings of the Tenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde 2003*, Oxford, Oxbow Books (ISBSA, 10), p. 295-305.  
 2011 Recent Research on Roman Shipfinds from the Netherlands, dans G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.) 2011, p. 33-43.
- VELLA C.  
 2011 Géomorphologie fluviale et archéologie subaquatique: un mariage naturel, dans D. Djaoui, S. Greck, S. Marlier (dir.) 2011, p. 204-206.  
 2013 *Rapport préliminaire d'étude géomorphologique : Site de la Verrerie, Arles (Bouches du Rhône)*, Aix-en-Provence, SRA-PACA.
- VELLA C. *ET ALII*  
 2005 C. Vella, J. Fleury, G. Raccasi, M. Provansal, F. Sabatier, M. Bourcier, Evolution of the Rhône delta plain in the Holocene, *Marine Geology*, 222-223, p. 235-265.  
 2008 C. Vella, T.-J. Fleury, B. Gensous, C. Labaune, M. Tesson, Grandes séquences holocènes et discontinuités sédimentaires dans le delta du Rhône, *Cahiers de paléoenvironnement*, 6, p. 155-166.
- VELLA C., HERMITTE D., PARISOT J.-C.  
 2009 La résistivité électrique et la géomorphologie au service de l'archéologie, dans L. Long, P. Picard (dir.) 2009, p. 204-207.
- VELLA C., PROVANSAL M.  
 2000 Relative sea-level rise and neotectonic events during the last 6500 years on the southern eastern Rhône delta, France, *Marine Geology*, 170, p. 27-39.
- VENET J.  
 1987 *Identification et classement des bois français*, Nancy, École Nationale du génie rural, des eaux et des forêts.
- VERDIN F.  
 2005 Encore les utriculaires... dans A. Bouet, F. Verdin (dir.), *Territoires et paysages de l'âge du Fer au Moyen Âge. Mélanges offerts à Philippe Leveau*, Bordeaux, Ausonius (Mémoires, 16), p. 275-282.
- VERNET J.-L. *ET ALII*  
 2001 J.-L. Vernet, P. Ogereau, I. Figueiral, C. Machado Yanes, P. Uzquiano, *Guide d'identification des charbons de bois pré-historiques et récents, Sud-ouest de l'Europe : France, Péninsule ibérique et îles Canaries*, Paris, Éditions du CNRS.
- VIAL DU CLAIRBOIS  
 1793 *Dictionnaire encyclopédique de Marine*, Paris, Panckoucke.
- VILLENEUVE DE CH.  
 1824 *Statistique du département des Bouches-du-Rhône avec atlas, II, Antiquités. Topographie administrative*, Marseille, A. Ricard.
- VILVORDER F.  
 2010 Les mortiers de la moyenne vallée du Rhône, dans R. Brulet, F. Vilvorder, R. Delage (dir.), *La céramique romaine en Gaule du Nord. Dictionnaire des céramiques. La vaisselle à large diffusion*, Turnhout, Brepols, p. 374-375.
- VIRLOUVET C.  
 2004 Les naviculaires d'Arles. À propos de l'inscription provenant de Beyrouth, *MEFRA*, 116, 1, p. 327-370.
- VLIERMAN K.  
 1996 *Kleine bootjes en middeleeuws scheepshout met constructiedetails*, Lelystad, Nederlands Instituut voor Scheeps en onderwater-Archeologie (Flevobericht, 404).
- VOEGELIN W. (ED.)  
 1958 *Felt*, Basle, Ciba Review (Ciba Review, 129).
- WALTON-ROGERS P.  
 2001 The re-appearance of an old roman loom in medieval England, dans P. Walton-Rogers, L. Bender-Jorgensen, A. Rast-Eicher (ed.), *The roman textile industry and its influence. A birthday tribute to John Peter Wild*, Oxford, Oxbow Books, p. 158-171.
- WEINSTEIN-EVRON M., CHAIM S.  
 2003 Palynological investigations, dans E. Black (ed.), *The Ma'agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400-Year-Old Merchantman, Final Report*, Volume 1, Israël Exploration Society and University of Haifa, p. 221-229.
- WESTERDAHL C.  
 1992 The Maritime cultural landscape, *IJNA*, 21, 1, p. 5-14.  
 1995 Traditional zones of transport geography in relation to ship types, dans O. Olsen, J. Skamby Madsen, F. Rieck (eds.), *Shipshape. Essays for Ole Crumlin-Pedersen, on the occasion of his 60<sup>th</sup> anniversary, February 24<sup>th</sup> 1995*, Roskilde, Viking Ship Museum, p. 213-230.
- WILD J.-P.  
 1970 *Textile manufacture in the northern Roman provinces*, Cambridge, Cambridge University Press (Cambridge Classical Studies).  
 2002 The textile industries of Roman Britain, *Britannia*, 33, p. 1-42.
- WILKINS A. L., HEALY T. R., LEIPE T.  
 1997 Pulp mill-sourced substances in sediments from a coastal wetland, *Journal of Coastal Research*, 13, 2, p. 341-348.
- ZENDER J. A. *ET ALII*  
 1994 J. A. Zender, T. R. Stuthridge, A. G. Langdon, A. L. Wilkins, K. L. Mackie, P. N. McFarlane, Removal and transformation of resin acids during secondary treatment at a New Zealand bleached kraft pulp and paper mill, *Water Science and Technology*, 29, p. 105-121.

# REMERCIEMENTS

Au terme de cette monographie, qui marque la fin de l'opération *Arles-Rhône 3*, il me reste à remercier toutes celles et ceux qui y ont participé. Les archéologues, bien sûr, mais aussi les capitaines de navires, les scaphandriers, les conservateurs, les restaurateurs, les chaudronniers, les charpentier et ébéniste, les experts en corrosion, les historiens et le numismate, les géologues et les géomorphologues, les dendrologues et l'antracologue, les palynologues et les mycologues ainsi que les chargées de communications, les médiatrices, les photographes, les équipes de tournage, notre regretté artiste peintre et, bien sûr, les équipes du service des publics et du service administratif du musée et les techniciens. Professionnels, bénévoles, stagiaires ou étudiants, la liste est longue et il est impossible de remercier de façon personnalisée les quelque 200 personnes qui ont été amenées à travailler sur *Arles-Rhône 3*, que ce soit pour quelques jours, quelques semaines ou quelques mois, pour les uns, à près d'une décennie pour les autres... chacun aura néanmoins contribué à faire de cette opération hors-norme ce qui aura été vécu par tout un chacun comme une grande aventure, scientifique et technique, bien sûr, mais aussi humaine... car il y a bien, pour nous tous, pour ceux qui sont hélas déjà partis et pour ceux qui restent, un avant et un après *Arles-Rhône 3*... que toutes et tous trouvent ici l'expression de ma plus profonde reconnaissance.

## Équipe fouille-relevage-restauration et études du chaland *Arles-Rhône 3* (2004-2014)

Mohamed ABDEL MAGUID, Emilien AFANE, Monique AGIER, Christophe ALBINO, Ali ALIAOUI, Camille AMOROS, Valérie ANDRIEU-PONEL, Charles ARNULF, Cécile AUBERT, Alexandra BARBOT, Stéphane BÉGOUIN, Dahvya BELKACEM, Kalhed BENTABET (†), Sébastien BERGEROT, Christian BAILLE, Nicolas BANDASSI, Rémi BÉNALI, Henri BERNARD-MAUGIRON, Jérémie BERTHONNEAU, Sammy BERTOLIATTI, Francis BERTRAND, Olivier BIANCHIMANI, Alexandra BIAR, Yves BILLAUD, Olivier BLAIN, Patrick BLANC, Didier BLANCHON, Anne-Céline BOLARD, Philippe BONNET, Caroline BOTBOL, David BOUMAN, Djamel BOUANIKA, Ethel BOUQUIN, Bernard BRISCIANO, Philippe BROMBLET, Pauline BURGER, Philippe CAGAN, Loïc CAILLAT, Laura CARU, Marie-Brigitte CARRE, Vincent CASTELLO, Carine CAUDRON, Carine CENZON-SALVAYRE, Alain CHARRON, Gilles CHAUMAT, Madjid CHIR, Laurent CLAQUIN, Chantal CLASERT, Valérie CLÉNAS, Marie-Amande COIGNARD, Annick COLOMBANI, Xavier COQUOZ, Mathieu COULANGE, Aurélie COSTE, Marie-Laure COURBOULÈS, James CRAWFORD, Fabien CUISSARD, Béranger DEBRAND, Bertrand DELALLE, Jacky DELLANEGRA, Fabrice DENISE, Ludovic DEREGNAUCOURT, Khadija DERNAOUI, Pascal DESPAINS (†), Mathilde DESPOIS, Julien DEZ, Jim DIEU, David DJAOUI, Pierre DRAP, Vincent DUMAS, Christine DURAND, Florent DUVAL, Audrey EBERLÉ, Mourad EL AMOURI, Pierre EXCOFFON, Franck FABRI, Corinne FALASCHI, Sandrine FERRAND, Sophie FIERRO-MIRCOVICH, *Fleur de Cactus*, Souen FONTAINE, Joël FRANÇOISE, Vanessa FRAQUET, Alice GALLOT-MILLARD, Dominique GARCIA, Paul GARRIVIER, Stéphane GARRIVIER, Pierre GAUDON, Alain GENOT, Cédric GENTIL, Yannick GENTIL, Gilles GHIRINGHELLI (†), Pierre GIUSTINIANI, Julien GONDAT, Stéphanie GOUIRAND, Sandra GRECK, Frédéric GUIBAL, Thomas GUIBLAIN, François GUIZOUARN, Marc HEIJMANS, Manon HÉLARY, Floriane HÉLIAS, Marie HERAN, Nathalie HERBERT, Daniel HERMITTE, Rosemarie HEULIN, Bruno HONTEBEYRIE, Nathalie HUET, Marine JAOUEN, Ginette JOMAIN, Carlos de JUAN, Philippe KERT, Aurélie KOECKE, Jonathan LANCELOT, Patrick LANDMANN, Fabrice LAURENT, Jonathan LE GOAS, Georges LEMAIRE, *Le Rhône*, Lise LEROUX, Frédéric LEROY, Thierry LESUR, Michel L'HOUE, Catherine LONCHAMBON, Luc LONG, Florian LOUIS TORRES, Michael LOURDIN, Dorothee MAGNON, Sabrina MARLIER-SABOURAUD, Astrid MARÉCHAUX, Aurélie MARTIN, Fabienne MÉDARD, Jean-Bernard MEMET, Xavier MENISCUS, Véronique MESROB, Laure MEUNIER-SALINAS, Morgane MILLIET, Christophe MUZET, Jean-Marc N'GUYEN, *Nosy Bé Too*, Christine OBERLIN, Jean-Michel OGIER, *Oui*, Guy PALENZUELA, Jean-Claude PARISOT, Géraldine PARODI, Antony PASTOR, Philippe PELGAS, Christian PÉRON, Amandine PERRIER, Pascale PICARD, Jean PITON, Patrice POMEY, Benoît POINARD, Philippe PONEL, Pierre POVEDA, Mathieu PRADINAUD, Innocence QUEIXALOS, Davide

QUERCI, Kévin QUILLON, Tran QUOC KHOI, Hafed RAFAI, Aymeric RAIMON, Nicolas RANCHIN-DUNDAS, Lila REBOUL, Lucas REBOUL, Tommy REBOUL, Delphine REMEAU, Florence RICHEZ, Éric RIETH, Loïc REYNAUD DULAURIER, Franck RICHARD, Michel RIVAL, Michel ROBIN (†), Philippe ROBIN, Pierre ROCHETTE, Marie-Pierre ROTHE, Pascal ROUCHEYROUX, Lionel ROUX, Jessy RUIZ, Rémi SABOURAUD, Virgile SABOURAUD, Camille SABOURAUD, Mathieu SAUVE, Avril SAVON, Gérald SAVON, Teddy SEGUIN, Ludovic SILVY, Claude SINTES, Olivier SIVAN, Karim TAMALHA, Christophe TERPENT, Cédric TOMATIS, Franck TOINEAU, Soizic TOUSSAINT, Lise TOUTAIN, Marceau TOUZÉ, Nicolas TRAN, Guillemette TROIN, Valérie UZEL, Marie VACHIN, Alix VANHAECKE, Audrey VANHOORDE, Jean-Louis VASSALLUCCI, Louna VERDIER, Assia VÉLÉVA, Claude VELLA, Jean-Luc VERDIER, Geneviève VERGOS-ROZAN, Justine VERNET, Jérôme VILLASEQUE, John VINEY, Philippe de VIVIÉS, Marion WANÈGUE, Katharina WOGAN, José ZOMENO RODRIGO.

**Partenaires (associations, institutions, sociétés), mécènes et sponsors impliqués dans l'opération de fouille-relevage-restauration et études du chaland *Arles-Rhône 3* (2004-2014)**

A-Corros, Aix-Marseille Université, Anatex, Aqualung, ARC-Nucléart, ARC-Numismatique, Arkaeos, Brigade Nautique de Martigues, British Museum (GB), CACP SARL, CCJ, CIC-Orio, Centre de Datation par le Radiocarbone, CEFE, CEREGE, CICRP, CNR, CNRS, Conseil général des Bouches-du-Rhône, 2ASM, Drassm, Ecole des Mines d'Alès, EcoSubMéditerranée, Exploration, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques Université Lille, FFESSM, GRASM, Ibis, IMBE, IMEP, Institut Universitaire de France, Ipso Facto, Kaleo, Laboratoire des sciences végétales et fongiques, LAMOP, LRMH, Ministère de la Culture et de la Communication, Musée départemental Arles antique, Musée national de la Marine (Paris), O'Can, Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Service de médecine hyperbare de l'Hôpital Sainte-Marguerite (Marseille), Strati-Concept, Studio Atlantis, Université d'Amsterdam (Pays-Bas), Université Lille III, Université Ludwig-Maximilians de Munich (Allemagne), Université de Montpellier, Université Paris 1, Université de Pau, Université de Poitiers, Université du Sud Toulon Var, Université de Warwick (GB), Vieux Plongeur, Ville d'Arles, VNF.