



HAL
open science

Les bois de construction du chaland gallo-romain Arles-Rhône 3 (Bouches-du-Rhône). Datation, exploitation et mise en oeuvre.

Sandra Greck, Frédéric Guibal, Sabrina Marlier

► To cite this version:

Sandra Greck, Frédéric Guibal, Sabrina Marlier. Les bois de construction du chaland gallo-romain Arles-Rhône 3 (Bouches-du-Rhône). Datation, exploitation et mise en oeuvre.. ARCADE. Approche diachronique et Regards croisés:Archéologie, Dendrochronologie et Environnement, 2014, Aix-en-Provence, France. pp.89-100. hal-02143838

HAL Id: hal-02143838

<https://hal.science/hal-02143838>

Submitted on 5 Jun 2019

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.

Les bois de construction du chaland gallo-romain Arles-Rhône 3 (Bouches-du-Rhône). Datation, exploitation et mise en œuvre

Sandra Greck, Frédéric Guibal** et Sabrina Marlier****

Résumé

L'étude réalisée sur le bois du chaland Arles-Rhône 3 s'inscrit dans le cadre des recherches sur l'histoire des techniques de la batellerie gallo-romaine en général et des chalands construits «sur sole» du groupe Rhône-Saône en particulier. Grâce à la qualité et la quantité des structures, les résultats sont représentatifs de la grande majorité des vestiges conservés et analysés à l'aide de quatre disciplines: la xylogie, la dendromorphologie, la tracéologie et la dendrochronologie. Ils portent à la fois sur l'origine géographique et chronologique des arbres ainsi que sur la mise en œuvre du matériau au sein du bateau. Ainsi, les bois sont constitués majoritairement de chênes caducifoliés, provenant très probablement du val de Saône, et de sapins âgés et abattus après l'année 50 de notre ère. Les caractéristiques de charpenterie appliquées au chaland qui se définissent par une recherche de performance technologique liée à des contraintes techniques et environnementales, sont profondément empreintes de la charpenterie navale antique de tradition européenne.

Mots clés: bois, batellerie gallo-romaine, datation, charpenterie navale, Rhône, xylogie, dendromorphologie, tracéologie, dendrochronologie.

Abstract

The study carried out on the timber of the barge Arles-Rhone 3 is part of the research about the technical history of Gallo-Roman inland water transport and particularly to the flatbottom barges of Rhône-Saône group. Thanks to the quality and quantity of the structures, the results are representative of the great majority of remains preserved and analyzed by means of four disciplines: xylogy, dendromorphology, traceology and dendrochronology. They concern both the geographical and chronological origin of the trees as well as the woodcraft within the boat. Thus, wooden pieces are mainly made of old deciduous oaks, which come probably from Val de Saône, and old firs felled down after 50 AD. Carpentry characteristics applied to the barge which are defined by a technological performance research related to technical and environmental constraints, are deeply marked of antique naval carpentry European tradition.

Key words: wood, barge, Gallo-Roman inland water transport, xylogy, dendromorphology, traceology, dendrochronology, dating, shipbuilding carpentry, Rhone, antiquity.

1. INTRODUCTION

Découverte en 2004, l'épave Arles-Rhône 3 (AR3) a fait l'objet d'expertises et de sondages avant qu'une opération de fouille programmée ne se mette en place à partir de 2008. Après trois campagnes archéologiques qui en ont révélé tout l'intérêt scientifique et le potentiel muséo-

graphique¹, elle a été fouillée intégralement et renflouée pour être exposée au public au sein du Musée départemental Arles antique, spécialement agrandi pour l'occasion (fig. 1). L'opération de fouille et de relevage, d'une grande complexité, a été réalisée en 2011 par les équipes du Musée départemental Arles antique associées aux scaphandriers, aux archéologues et aux restaurateurs du groupement

1. Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011.

* Ipso Facto ScopARL, 10 rue Guy Fabre, 13001 Marseille, France. Aix Marseille Univ, CNRS, CCJ, Aix-en-Provence, France.

** Aix Marseille Univ, Avignon Université, CNRS, IRD, IMBE, Marseille, France.

*** Musée départemental Arles antique, Conseil départemental des Bouches-du-Rhône, Presqu'île du cirque romain, BP205, 13635 Arles cedex, France. Aix Marseille Univ, CNRS, CCJ, Aix-en-Provence, France.



Fig. 1 – Le chaland Arles-Rhône 3 au sein des collections dédiées aux activités du port d’Arles à l’époque romaine, Musée départemental Arles antique (R. Bénali/Studio Atlantis, Mdaa/CG13).

O’Can-Ipso Facto ainsi que des ateliers ARC-Nucléart et A-Corros, en collaboration avec le DRASSM. Après deux années de traitement et de restauration, ce chaland gallo-romain de 31 m de longueur a rejoint les collections du musée en 2013. En parallèle, une vingtaine de chercheurs ont travaillé sur tous les aspects de cette épave, exceptionnelle par son état de conservation (une coque complète à 93 %), la présence de son dernier chargement (une cargaison de pierres disposée dans un caisson central constitué de cent quarante planches amovibles) et du mobilier de bord des bateliers (vaisselle, brasero et outils) ainsi que celle d’un corpus d’inscriptions imprimées au fer dans le bois, des équipements de navigation (pelle de gouverne, perches de sonde et mât de halage) et de la monnaie votive du bateau. Cette étude exhaustive a permis de révéler que ce chaland, à vocation commerciale, s’inscrivait dans un espace de navigation circonscrit à la section inférieure du Rhône. Possiblement construit dans les chantiers navals d’Arles, il a fait naufrage dans ce port, sans doute au cours d’une crue, entre 66 et le début des années 70 de notre ère².

C’est dans le cadre des recherches en histoire des techniques sur la construction navale appliquées à la batellerie gallo-romaine que s’inscrit l’étude réalisée sur le bois des structures d’AR3. 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. L’état exceptionnel de conservation et le potentiel scientifique de ces vestiges ont justifié la mise en place d’un protocole d’étude dendrologique des plus exhaustifs dès la première campagne d’expertise et, en particulier, lors de l’opération de fouille et de relevage. Cette étude met en œuvre plusieurs types d’analyses et vise 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 menée par les charpentiers antiques, depuis la localisation de zones probables d’approvisionnement en bois jusqu’à la mise en œuvre des essences forestières sélectionnées au sein de la charpente. Elle a aussi pour objet la

recherche d’indices capables de préciser l’évolution de l’aménagement des différentes pièces au sein de la structure (usure, détérioration, réparation). Enfin, l’étude du bois permet de rechercher l’âge absolu des vestiges en datant l’année d’abattage des arbres utilisés afin d’approcher la date de construction du bateau.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES D’ANALYSE

Afin d’analyser finement les deux cent soixante-quatre éléments structurels du chaland, quatre disciplines ont été mises en œuvre : la xylologie, la dendromorphologie, la tracéologie et la dendrochronologie. Chacune d’elles a bénéficié d’un protocole d’acquisition des données mis en place très tôt dès la phase de terrain, en milieu immergé, mais surtout à terre lors du découpage en tronçons et du démontage de l’épave³. Les échantillons nécessaires à l’analyse xylologique ont été prélevés au cutter sous forme de fragments de bois de quelques centimètres cubes, encore plus discrets en 2011 pour ne pas nuire à l’exposition du chaland. Avant le projet d’exposition, les analyses dendromorphologique, tracéologique et dendrochronologique ont été menées à partir d’un échantillonnage de toutes les structures de la moitié arrière du chaland, à raison de une à trois sections transversales d’au moins 5 cm d’épaisseur couvrant la largeur des pièces, prélevées à la scie égoïne.

Ainsi, l’identification des essences ligneuses, propre à l’analyse xylologique, a été réalisée lors d’une première phase d’observation à l’œil nu, sous l’eau ou à terre suite au relevage des pièces, qui a permis de réduire l’étape suivante d’échantillonnage réalisée seulement sur les bois non caractérisés. Chaque échantillon a fait l’objet en laboratoire d’un examen microscopique de coupes minces réalisées à la lame

2. Marlier (dir.) 2014.

3. Marlier (dir.) 2014, 50-54.

de rasoir puis montées entre lame et lamelle⁴ selon les trois plans traditionnels d'observation (transversal, tangentiel et radial). L'identification des taxons a été menée à l'aide d'atlas d'anatomie des bois européens⁵. Les résultats de cette analyse couvrent la quasi-totalité de l'embarcation avec deux cent cinquante-six pièces architecturales identifiées, soit près de 98 %.

Les analyses dendromorphologique et tracéologique ont nécessité un examen macroscopique rigoureux, illustré par des croquis et des photos de détails, de la morphologie des arbres au sein des pièces. Des relevés graphiques, sur film plastique transparent à l'échelle 1/1, ou photographiques des sections transversales ont conduit à définir les modes de débitage des pièces au sein des arbres, tels que définis par M. Rival (1991) et B. Arnold (1992, 1999). Cet examen a permis par ailleurs le recueil des traces d'origine anthropique ou biologique laissées à la surface du bois. L'interprétation des traces d'outils, en particulier, observées à l'aide d'une loupe en lumière rasante, s'est inspirée de B. Grenouiller (1993) et B. Arnold (1992, 1999). L'analyse dendromorphologique et tracéologique a porté sur une grande majorité des pièces architecturales du chaland avec deux cent sept pièces analysées, soit plus de 78 %, et le façonnage de chaque type de structure a pu être renseigné.⁶

L'analyse dendrochronologique a été menée dans le but de préciser la date d'abattage et l'origine des arbres choisis pour la construction du chaland. Les pièces offrant un grand nombre de cernes et celles susceptibles d'offrir le dernier cerne formé avant l'abattage de l'arbre ont été préférentiellement sélectionnées. Sur le terrain, des photographies haute définition des sections transversales prises en 2011 par des photographes professionnels⁷ à l'occasion de l'opération de relevage du chaland en vue de sa restauration ont remplacé les prélèvements effectués auparavant. Avant la prise du cliché, les faces transversales des pièces ont été rafraîchies à la lame de rasoir pour rendre les cernes bien visibles. Au laboratoire, les séries élémentaires d'épaisseurs de cernes ont ensuite été mesurées avec une précision de 1/100 mm ou de 1/1 000 mm sur une table à mesurer LINTAB6 (Frank Rinn®) soit sur la pièce-même soit sur tirage-papier. Afin d'amoindrir l'effet d'éventuelles variations dues 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 les données recueillies. Au total, cinquante-six pièces ont été analysées, soit près de 21 % de l'ensemble des structures du chaland. Les données obtenues à l'issue des mesures ont fait l'objet des traitements numériques couramment pratiqués en dendrochronologie pour détecter les synchronismes inter-sériels⁸. Après transformation des données brutes en données indicées⁹, les séries ont été comparées deux à deux à l'aide du test de Student *t* appliqué au coefficient de corrélation intersériel; les résultats statistiques ont ensuite été vérifiés par l'examen visuel des graphiques de la variation interannuelle des données annuelles indicées. Les séries synchrones d'une même essence ont permis de calculer une chronologie moyenne représentative de l'essence qui a ensuite été comparée aux chronologies de référence disponibles¹⁰.

3. RÉSULTATS

Les résultats des analyses menées sur les bois du chaland AR3 nous permettent de qualifier les arbres utilisés pour sa construction par la définition des essences ligneuses, de leur date d'abattage et de leur origine géographique. Ils nous conduisent à présenter aussi la répartition spatiale et fonctionnelle des essences au sein de la structure et, pour chacune des pièces architecturales (fig. 2), l'âge des arbres abattus, les dimensions des grumes mises en œuvre, la qualité des bois et des types de débitage sélectionnés ainsi que les outils utilisés pour leur façonnage. Ce texte offre une synthèse de l'essentiel de ces résultats¹¹.

3.1. Essences sélectionnées, âge et état des arbres

L'analyse anatomique du bois a conduit à l'identification de cinq types anatomiques composés d'essences résineuses et feuillues qui sont, par ordre d'occurrence, le chêne caducifolié (*Quercus* sp.), le sapin (*Abies* sp.), l'épicéa (*Picea abies* (L.) Karsten), le pin de type sylvestre (*Pinus cf. sylvestris*)¹², et le frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.) (fig. 3).

4. Appareils utilisés : loupe binoculaire Wild Makroskop M420 (6,3x à 32x), microscopes optiques en transmission Olympus BH-2 et Olympus CX41 (40x à 1000x) couplé à un appareil photo numérique Olympus PEN Lite E-PL3.
5. Jacquot 1955, Jacquot, Trénard, Dirol 1973, Schweingruber 1982, 1990, Vernet *et al.* 2001.
6. Une soixantaine de pièces n'était pas accessible pour des raisons muséographiques.
7. Lionel Roux et Teddy Seguin, groupement O'Can-Ipso Facto.

8. Baillie 1982.

9. Lambert, Lavier 1992.

10. Lambert 1998.

11. Pour une synthèse plus détaillée : Marlier (dir.) 2014, 171-202, 260-263.

12. L'appellation « pin de type sylvestre » regroupe le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.), le pin à crochets (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) et les pins noirs (*Pinus nigra*) qu'il n'est pas possible de différencier par l'étude de leur anatomie (Schweingruber 1982, 1990).

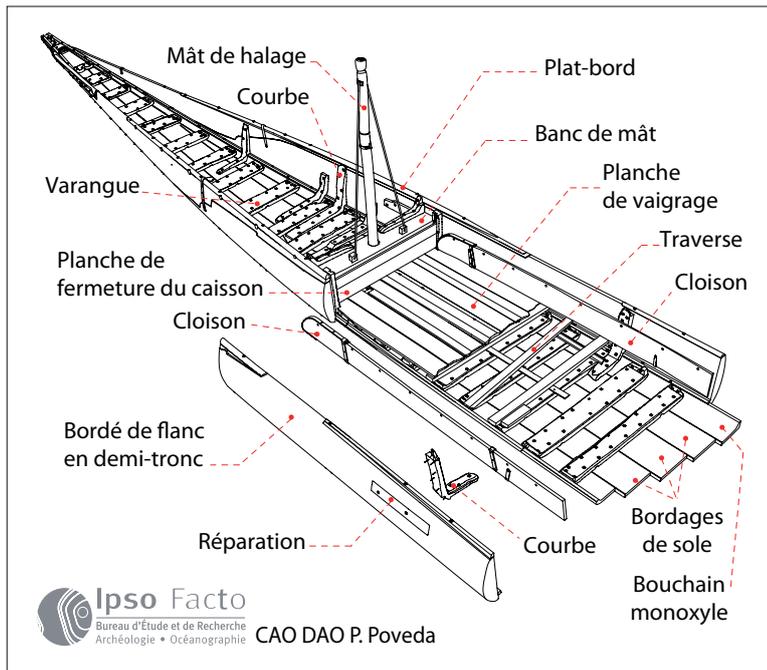


Fig. 2 – Axonométrie de l’avant du chaland avec les principaux termes d’architecture employés pour sa description (CAO-DAO : P. Poveda, Ippo Facto).

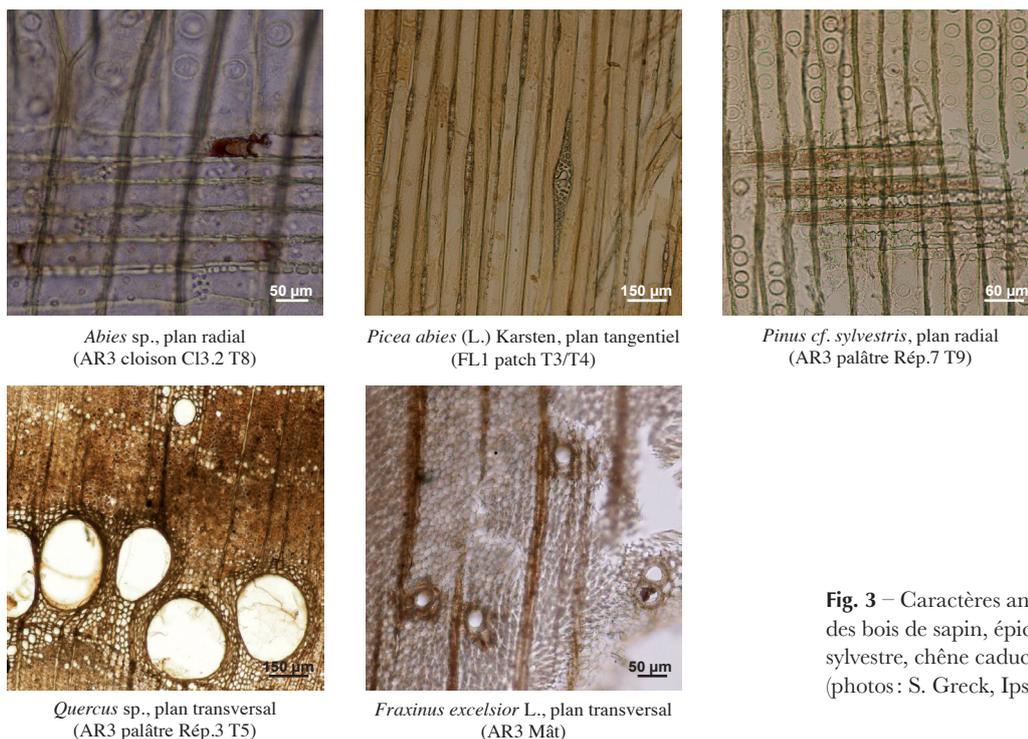


Fig. 3 – Caractères anatomiques discriminants des bois de sapin, épicéa, pin de type sylvestre, chêne caducifolié et frêne commun (photos : S. Greck, Ippo Facto/IMBE).

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 ce qui est des chênes, ceux employés à la confection de la sole sont âgés de quarante-huit à, au moins, cent douze années ; ceux utilisés pour les bouchains sont âgés d’au moins soixante-dix-neuf ans ; ceux dans lesquels les varangues ont été désignées sont âgés de trente-deux à, au moins, cent cinquante-huit ans ;

ceux d’où proviennent les courbes sont âgés d’au moins soixante ans. Pour ce qui est des sapins, les arbres employés à la confection des bordages de flanc sont âgés d’au moins deux cent trente-quatre ans et ceux d’où ont été tirées les planches d’aménagement interne ont des âges très variés, l’un d’eux étant âgé de plus de cent soixante 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 leurs séries de cernes.

3.2. Datation des pièces en chêne et en sapin

Les séries de cernes représentatives de quatorze varangues et une courbe en chêne synchronisées permettent de construire une chronologie moyenne longue de cent cinquante-neuf années qui a été confrontée à d'autres chronologies de chêne, soit établies sur des sites localisés en région méditerranéenne française, soit ayant valeur de références et issues de régions autres que la région méditerranéenne. Parmi les références utilisées, figurent des chronologies mises à notre disposition par G.-N. Lambert et O. Girardclos (Laboratoire Chrono-environnement, Besançon), C. Perrault (Cèdre S.a.r.l., Besançon) et W. Tegel (DendroNet G.m.b.H., 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 références sur les années 109 av. J.-C./50 ap. J.-C. La date terminale 50 ap. J.-C. ne garantit pas l'année d'abattage car aucun vestige d'écorce n'est demeuré en place sur la varangue M111 qui termine la chronologie moyenne (fig. 4) et aucun indicateur ne permet de garantir que la pièce offre le dernier cerne formé avant l'abattage de l'arbre. Compte tenu du nombre de cernes d'aubier présents sur les pièces synchronisées et du nombre moyen de cernes qui constituent l'aubier chez les chênes adultes dans le quart nord-est de la France (Lambert 1998), l'hypothèse de l'homogénéité chronologique de l'abattage des chênes employés à la confection des varangues est valide. Il en résulte que les varangues M111 et M98 qui offrent respectivement quatorze et douze cernes d'aubier

permettent d'avancer un intervalle d'abattage au cours des deux premières décennies de la deuxième moitié du I^{er} siècle de notre ère si l'on respecte rigoureusement les valeurs d'aubier publiées par G.-N. Lambert, avec toutefois une probabilité plus élevée au cours de la première décennie de la deuxième moitié du I^{er} siècle de notre ère, au vu de la distribution chronologique des années terminales des chronologies individuelles.

Un ensemble en sapin composé de deux bordages de flanc principaux, d'une cloison interne du caisson et de huit planches de vaigrage synchronisés a permis de bâtir une chronologie moyenne longue de deux cent trente-quatre années dont la comparaison avec des sites aussi divers que Herculanium, le nord de la Suisse, la Bavière, l'Autriche et les Pays-Bas (W. Tegel, communication personnelle, non publié) a livré une datation sur la période 188 av. J.-C./46 ap. J.-C. L'année de formation du dernier cerne mesuré (46 ap. J.-C.) ne garantit pas, là encore, l'année d'abattage car rien n'assure 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.

3.3. Origine géographique et approvisionnement en bois d'œuvre

Les essences feuillues identifiées sont communes en plaine, jusqu'à 1 400 m d'altitude¹³. Le sapin est l'essence typique de l'étage de végétation montagnard moyen et supérieur des Alpes, du Jura, des Vosges, des Pyrénées et du Massif Central¹⁴. L'épicéa trouve ses conditions de croissance préférées dans la zone inférieure de l'étage subalpin mais peut descendre jusqu'à 600-700 m; en France, il est spontané dans les Vosges, le Jura et les Alpes où il est commun dans le nord et moins dans le sud¹⁵. Les difficultés à distinguer,

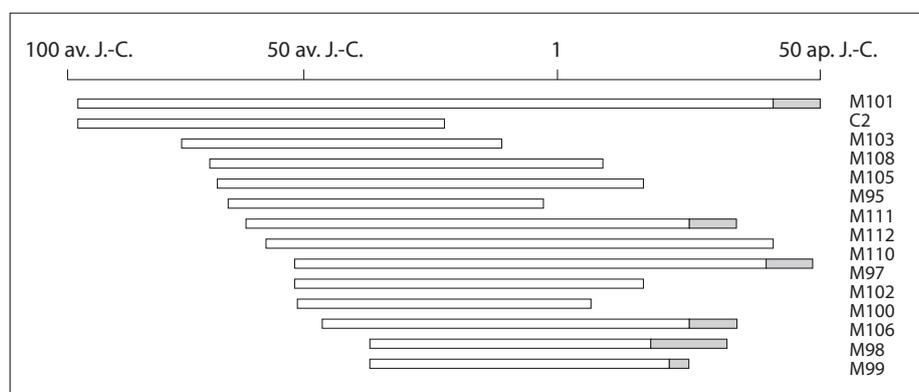


Fig. 4 – Bloc-diagramme des quinze chronologies représentatives des pièces de membrure en chêne synchronisées (blanc : cernes de duramen ; gris : cernes d'aubier) (graphique F. Guibal, IMBE/CNRS).

¹³. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 563.

¹⁴. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 375.

¹⁵. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 391.

sur des critères anatomiques, le bois du pin sylvestre de celui du pin à crochets et des pins noirs nous amènent à considérer l'aire de ces espèces, de l'étage collinéen à l'étage subalpin pour la première, de 1 500 m jusqu'à la limite supérieure des arbres pour la deuxième. 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 répandu dans les Vosges, le Jura, les Alpes, le Massif Central et les Pyrénées¹⁶; le pin à crochets est commun dans les Alpes et les Pyrénées, plus rare dans le Jura et le Massif Central, très rare dans les Vosges¹⁷.

En résumé, toutes les essences identifiées se rencontrent dans le réseau hydrographique rhodanien et aucune essence étrangère à ce réseau n'a été identifiée.

L'analyse dendrochronologique nous renseigne aussi sur la localisation de zones probables d'approvisionnement des bois acheminés par flottage ou par attelage vers les chantiers navals (selon Platon et Diodore de Sicile¹⁸). La chronologie moyenne de chêne corrèle très bien avec plusieurs sites francs-comtois et bourguignons, et remarquablement avec le Pont Saint-Laurent à Chalon-sur-Saône ($t = 10.12$)¹⁹. Même si l'emploi majoritaire de référentiels élaborés dans la moitié est de la France peut biaiser notre inter-comparaison, une telle valeur, aussi élevée et peu commune pour le chêne, 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. Du fait de l'absence d'un gradient géographique dans les valeurs t obtenues et d'une valeur remarquablement élevée, il est impossible d'avancer une quelconque origine géographique relative aux sapins employés.

3.4. Répartition spatiale et fonctionnelle des essences au sein de la construction

La répartition spatiale des essences ligneuses identifiées au sein des structures du chaland (fig. 2) illustre la spécialisation manifeste des bois, 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 base, taxinomiquement homogène, et les parties supérieures formées par le bordé et les aménagements internes constitués d'une plus grande diversité d'essences.

Ainsi, la base entière de l'embarcation de même que toutes les pièces destinées à supporter des forces et des frottements importants liés aux manœuvres de navigation (banc de mât, pelle de gouverne, plat-bord, taquet) sont exclusivement confectionnées en chêne caducifolié, essence feuillue la plus majoritairement utilisée pour la charpente des bateaux d'époque romaine²⁰ pour son caractère imputrescible et ses qualités de résistance, de dureté et de durabilité en milieu humide, déjà connus des Grecs et des Romains²¹. Ce choix, perpétué pour les bateaux médiévaux du Rhône²², est caractéristique de la tradition de confection du fond de ce type de bateau construit «sur sole» intégralement réalisé en bois de chêne, comme le sont tous les chalands gallo-romains d'Europe et ceux du groupe Rhône-Saône auquel AR3 appartient²³.

En revanche, les parties hautes sont plutôt réalisées en bois d'essences résineuses. Les bordés de flanc en demi-tronc qui forment une autre caractéristique de construction de cette famille de chaland²⁴, sont façonnés en bois de sapin, deuxième essence abondamment représentée, ponctuellement réparés de planches en épicéa. Les aménagements internes sont de même réalisés en bois de sapin et d'épicéa, rarement en bois de pin de type sylvestre. De résistance et de durabilité moindre que le chêne, ces essences résineuses, plus légères, étaient pourtant couramment employées en architecture navale antique et médiévale pour la confection du bordé et l'aménagement du pont des bateaux²⁵. Plus facilement disponibles, elles ont aussi été délibérément choisies dans la réalisation du caisson pour contenir et protéger la structure principale de la cargaison.

Le reste des aménagements internes suit davantage une sélection opportuniste du bois avec un mélange de résineux ou de chêne constaté au sein des pièces qui n'ont pas de fonction capitale au sein de l'architecture du chaland. Le mât est la seule pièce façonnée en bois de frêne.

3.5. Mise en œuvre des bois : qualité, modes de débitage et de façonnage

3.5.1. La sole

Les bordages de sole sont définis par huit planches équarries et épaisses de chêne caducifolié dont la section montre des types de débitage réalisés en majorité sur quartier à cœur ou sur faux quartier, donc assez proche du centre de

16. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 409.

17. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 411.

18. Cf. Rival 1991, 108.

19. C. Perrault, communication personnelle.

20. Guibal, Pomey 2002, 95-96; Rival 1991, 54.

21. Selon Théophraste et Pline, cf. Rival 1991, 52-54.

22. Rossiaud 2007, 205.

23. Arnold 1992, 56-61; Guyon 2010, 56-89; Lonchambon 2000; Rieth 2011, 66.

24. *Ibid.*

25. Arnold 1992; Ballu 2000, 87; Rieth 1998; Rival 1991, 54.

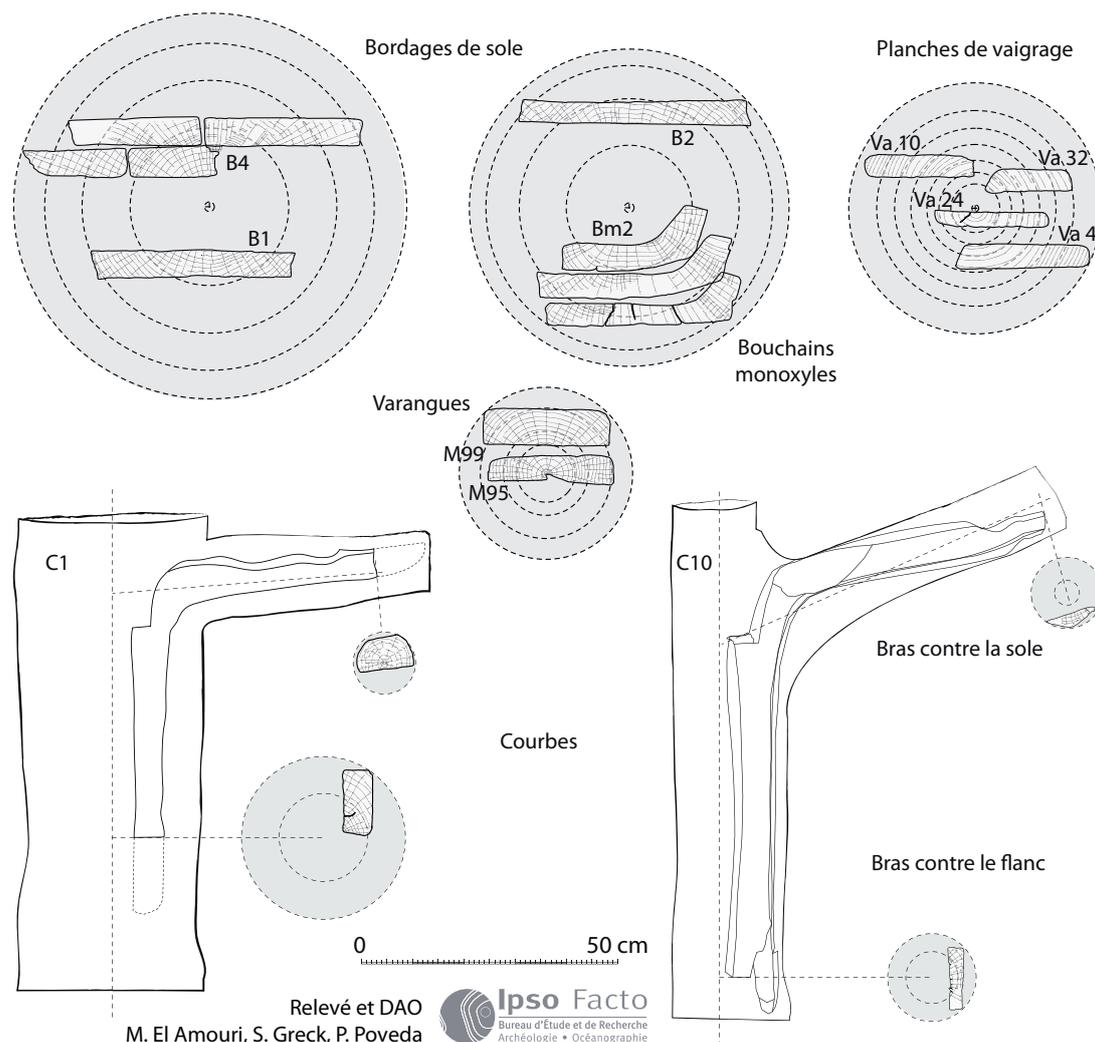


Fig. 5 – Restitution du mode de débitage des principales pièces d'architecture du chaland (relevés et DAO: M. El Amouri, S. Greck, P. Poveda, Ipso Facto).

la bille (B1, B2, B4, fig. 5). Leur étude nous renseigne sur le mode de façonnage des levées de poupe et de proue dont les bordages, débités dans des pièces de bois de manières presque similaires d'un bout à l'autre, ont probablement été cintrés à chaud. Ces deux premières caractéristiques suivent un même mode de débitage et de mise en forme que pour les bordages du chaland de Bevaix (canton de Neuchâtel, Suisse) qui offre le plus d'éléments de comparaison pour ce type de chaland²⁶. L'analyse dendrochronologique conduite sur quatre pièces permet de déduire qu'elles ont été débitées dans des billes de 64 à 89 cm de diamètres minimum, issues de trois arbres distincts au moins âgés de quarante-huit à cent douze ans, dont la hauteur minimum du fût varie de 17 m à 22 m. Ainsi, trois arbres au moins et sept au plus ont été nécessaires pour réaliser l'ensemble de la sole.

Concernant la mise en œuvre de ces bordages, les bois de chêne subissant un fort retrait en séchant, les débits sur quartier ou faux quartier, recommandés en charpenterie traditionnelle, ont pour principal avantage de conserver toutes leurs caractéristiques mécaniques²⁷. La présence fréquente d'aubier nous permet de déterminer que le débitage des grumes a été réalisé sur plot ayant la particularité d'offrir un rendement maximum du bois en produisant des planches de qualités différentes et de largeurs inégales²⁸, au détriment de la qualité de façonnage des cans, l'endroit le plus exposé à d'éventuelles entrées d'eau²⁹. Bien qu'un des principes de charpenterie traditionnelle³⁰ soit de l'extraire afin d'éviter une dégradation précoce de l'ouvrage, la présence d'aubier et même d'écorce est pourtant un trait

27. Rival 1991, 55, 84.

28. Arnold 1999, 161.

29. Arnold 1999, 159.

30. Rossiaud 2007, 205.

26. Arnold 1992, 34, 56-60.

caractéristique de la charpenterie navale antique³¹. Sur le chaland AR3, des planchettes de bois identifiées comme des palâtres, technique d'étanchéité des coutures par l'intérieur³², placées au-dessus de l'aubier au niveau du joint de certains bordages, semblent avoir été utilisées pour boucher ou anticiper une crevasse et prévenir ainsi une perforation de la sole. Les planches de sole présentent par ailleurs de nombreuses fentes longitudinales, particulièrement au niveau des levées et des flancs soumis au séchage du bois³³ et qui sont à l'origine du colmatage à l'aide de poix et de tissus poissés relevé sur certains bordages.

Du point de vue de leur façonnage, les bordages de sole se définissent par des faces régulièrement planes où des traces de scie ont pu être relevées. Ces traces irrégulières avec des changements de direction et d'intensité variables sont caractéristiques du sciage manuel³⁴. Assez régulièrement parallèles et transversales au fil du bois, comme déjà observées sur la sole d'autres chalands³⁵, elles ont certainement été produites par une scie de long qui, bien attestée à l'époque antique pour débiter longitudinalement les grumes de fort gabarit³⁶, était actionnée perpendiculairement aux fibres du bois avec l'aide d'un puits ou d'une fosse creusés sous la grume³⁷. Les cans des bordages ont été taillés à la hache à large tranchant, comme nous l'indiquent les traces visibles « sous la forme de lignes obliques » ou perpendiculaires au fil du bois³⁸, rares et peu distinctes, par ailleurs observées sur la sole d'une épave de Lyon Saint-Georges³⁹.

3.5.2. Les bouchains monoxyles

Les quatre bouchains ont été sculptés dans le bois de cœur de demi-billes de bois de chêne caducifolié. Identiques à ceux de Bevaix⁴⁰ et de Lyon Tolozan⁴¹, leurs sections en L, taillées dans la masse, relativement proches de la moelle, montrent tout le soin accordé à leur façonnage. Les deux plus longs ont été débités dans des billes de 55 cm et de 64 cm de diamètres minimum, longues d'au moins 16 m et 29 m, issues d'arbres au moins âgés de quatre-vingt-quatre et soixante-dix-neuf ans. D'après leur analyse dendrochronologique, l'un d'eux a été façonné dans un même arbre qu'un des bordages de sole (B2 et Bm2, fig. 5). Comme cette pratique a été mise en évidence pour la réalisation du

chaland de Bevaix⁴², il est fort possible que chacun ait été sculpté dans un tronc de chêne entier, ce qui porte à quatre le nombre probable d'arbres nécessaires à leur réalisation. Les trois bordages verticaux des bouchains composés identifiés à la proue et à la poupe se définissent par des planches de bois de chêne caducifolié de dimensions plus réduites sculptées à cœur, probablement taillées dans les chutes des pièces de sole de dimensions plus importantes.

Les traces conservées sur les faces supérieures des bouchains se présentent sous la forme de stries irrégulièrement espacées, plus ou moins profondes, parallèles et transversales au fil du bois, avec des changements de direction, attribuables à la lame d'une scie actionnée de manière verticale et perpendiculaire aux faces internes et horizontales des bouchains. L'évidage de ces pièces a probablement été conduit, par commodité, par la taille d'une série de profondes entailles à la hache dans la masse de bois à enlever, le fond étant façonné à l'aide d'herminettes⁴³, qui, pour AR3, ont pu être remplacées localement par une scie égoïne dont les traces plus profondément empreintes dans le bois ont été conservées. Comme pour les bouchains du chaland de Bevaix et de sa réplique Altaripa⁴⁴, une herminette à tranchant concave semble avoir été utilisée pour former l'angle interne. Les cans ont été débités à la hache à large tranchant. Plus localement, des traces indiquent l'utilisation d'une scie égoïne, sans doute utile pour ajuster les bouchains contre le bordé où elle pouvait être glissée pour effectuer un travail de finition, comme observé pour l'ajustage des bordages du chaland de Bevaix⁴⁵.

3.5.3. La charpente transversale: les varangues plates

Selon vingt pièces analysées sur quarante-sept⁴⁶, les varangues plates se présentent sous la forme de planches épaisses équarries dans le bois de cœur de chênes caducifoliés, la moitié sur quartier à cœur, l'autre sur faux-quartier ou sur fausse dosse. La varangue-emplature, de section plus importante, est aussi équarrie à cœur. Issues de billes de bois d'au moins 22 à 38 cm de diamètre et de 2,3 m de hauteur minimum, elles ont été réalisées à partir de troncs d'arbres entiers ou fendus de diamètres moins importants que ceux sélectionnés pour la sole et les bouchains, mais où des portions d'aubier demeurent présentes. D'après l'analyse dendrochronologique de dix-sept pièces, les arbres dans lesquels les varangues ont été délinés étaient âgés

31. Rival 1991, 105.

32. Marlier (dir.) 2014, 150 et 154-155.

33. Arnold 1999, 159.

34. Grenouiller 1993, 54.

35. Arnold 1992, 41-42; Guyon 2010, 70, 72.

36. Rival 1991, 136.

37. Arnold 1999, 91-97, 101-102.

38. Arnold 1999, 88.

39. Guyon 2010, 70, 72.

40. Arnold 1992, 57.

41. Rieth 2011, 66.

42. Arnold 1992, 35, 56.

43. Arnold 1999, 88-89.

44. Arnold 1992, 37, 47, 53; 1999, 88-89.

45. Arnold 1992, 37, 53, 1999, 118.

46. L'analyse dendromorphologique n'a pas pu être menée sur une moitié du chaland où les pièces n'ont pas été démontées ni découpées ni échantillonnées, leurs sections transversales n'étant, de fait, pas visibles.

d'au moins trente-deux à cent cinquante-huit ans et six d'entre elles ont été confectionnées à partir de trois arbres distincts. Parmi elles, les deux varangues de la figure 5 (M95, M99), débitées en plein cœur et en périphérie d'un même tronc de 34 cm de diamètre minimum, ont pu être délinées côte à côte. Les quatre autres, débitées à cœur, ont été extraites, bout à bout, de deux tronçons de grumes distinctes de 4 m et de 4,5 m de longueur minimum. Il aura fallu un maximum de quarante-quatre chênes pour réaliser l'ensemble des varangues, que l'on peut réduire à vingt-quatre selon le résultat de cette analyse qui suggère un rendement d'au moins deux pièces de bois par tronc. Si le chêne souligne le soin accordé à la confection de ces pièces de renfort transversal de la coque, le mode de débitage démontre une volonté de rendement économique au détriment de la qualité de façonnage.

L'équarrissage des varangues a été réalisé à la hache à large tranchant comme le montrent les traces couvrant toutes les faces, à l'égal de l'épave Ep. 3 de Lyon Saint-Georges⁴⁷. Les ressauts des extrémités des varangues ont été sculptés à l'herminette ou au ciseau à tranchant droit et le petit canal transversal a été creusé à l'herminette à tranchant concave. Enfin, comme pour le chalard de Bevaix⁴⁸, les mortaises de la varangue-emplature ont été creusées avec un ciseau droit dont les traces sont visibles sur les abouts⁴⁹ et le fond.

3.5.4. La charpente transversale: les courbes

Selon l'analyse dendromorphologique et tracéologique de onze pièces et l'analyse dendrochronologique de deux pièces sur dix-neuf⁵⁰, les courbes sont des pièces monoxyles en forme de L taillées dans des embranchements de chênes caducifoliés, semblables à celles des épaves de Bevaix et de Lyon Saint-Georges⁵¹, âgés d'au moins soixante et soixante-treize ans. Elles étaient prélevées en forêt par les charpentiers antiques qui évaluaient le meilleur parti à tirer d'un arbre en fonction des pièces qu'il était possible d'extraire⁵². Ainsi, la courbure naturelle des fibres du bois au niveau de l'angle devait être mise à profit afin de renforcer cette zone fragilisée par les tensions mécaniques exercées sur ces pièces de liaison entre la sole et le bordé. Comme pour le chalard de Bevaix⁵³, les courbes d'AR3 présentent des types de débitage distincts (C1 et C10, fig. 5)

mais, contrairement à lui⁵⁴, les sections de troncs, les parties les plus longues, viennent s'adosser verticalement au bordé alors que les sections de branches, les plus courtes, sont posées horizontalement sur la sole. En effet, la plus grande longueur est plus commode à façonner dans le tronc qui permet d'obtenir la matière utile pour confectionner des pièces aussi hautes que le bordé. Les parties verticales, de sections rectangulaires, sont équarrées suivant le fil du bois, sur brin, dans des demi-troncs ou des quarts de troncs dont les diamètres varient de 12,5 cm à 20 cm minimum (C1, C10, fig. 5). Les parties horizontales sont grossièrement équarrées dans une branche dont le galbe et l'écorce sont conservés, le plus souvent sur brin, à cœur (C1, fig. 5), parfois plus en périphérie (C 10, fig. 5). Le procédé de débitage, réalisé tantôt selon le fil du bois (C1, fig. 5) tantôt à contre-fil (C 10, fig. 5), ajouté à l'agencement des courbes traduit la difficulté de trouver les bons embranchements formant non seulement des angles droits naturels mais avec, en plus, une longueur de branche adaptée⁵⁵. Pour cela, même si, théoriquement, un tronc d'arbre pourrait servir au façonnage de plusieurs courbes, le faible rendement des arbres dont témoigne la construction expérimentale du chalard Altaripa⁵⁶ induit que chaque courbe a pu nécessiter le débitage d'un d'arbre et que dix-neuf arbres maximum ont été nécessaires à la réalisation des courbes d'AR3.

Selon l'étude des traces conservées sur les faces externes, non soumises à l'érosion, les courbes ont été façonnées à la hache à large tranchant et à l'herminette à tranchant plat et les anguilliers ont été creusés à la hache à large tranchant et à l'herminette à tranchant concave. Les mêmes outils ont été identifiés pour le façonnage des courbes et des anguilliers des chalands de Bevaix⁵⁷ et de Lyon Saint-Georges, épaves Ep. 2 et Ep. 3⁵⁸.

3.5.5. Les bordés

Les deux bordages de flanc principaux sont composés de pièces monoxyles débitées sur fausse dosse dans des demi-troncs de sapin, à l'image des épaves de Lyon Saint-Georges⁵⁹, issus d'un seul et même arbre de 26 m de longueur minimum pour un diamètre de 94 cm minimum, au moins âgé de deux cent trente-quatre ans. Ils sont prolongés à l'avant par des bordages de flanc secondaires de dimensions moins importantes issus du bois de cœur de billes de sapin et d'épicéa d'au moins 46 et 62 cm de diamètres. Ainsi, un à deux sapins et un épicéa ont été nécessaires pour confectionner les bordés. Si le débit des bordages de

47. Guyon 2010, 60-61.

48. Arnold 1992, 54.

49. Les abouts 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, 157).

50. Les courbes n'ayant pas subi de découpe lors de l'opération en 2011, l'analyse dendrochronologique n'a pu être menée qu'à partir d'échantillons prélevés en 2005.

51. Arnold 1992, 61 ; Guyon 2010, 59, 68, 78, 89.

52. Rival 1991, 113.

53. Arnold 1992, 61.

54. Arnold 1992, 61.

55. Arnold 1999, 159.

56. Arnold 1999, 41-42.

57. Arnold 1992, 48-51.

58. Guyon 2010, 60-61, 70, 72.

59. Guyon 2010, 63, 76, 85, 89.

flancs principaux, situé entre la moelle et la périphérie du tronc, varie peu d'un bout à l'autre, leur forme définitive, en place contre les bouchains, nous montre, en revanche, un profil arqué qui induit leur cintrage pour atteindre la forme fuselée caractéristique du chaland.

La découverte de traces de pourriture a révélé la présence d'un champignon (*Cadophora fastigiata* Lagerb. & Melin) développé avant ou pendant la période de construction ou de navigation du chaland⁶⁰ et responsable de fissures profondes et de perforations relevées en diverses parties du bordé. Certaines ont été colmatées par de la poix et des tissus poissés ou réparées à l'aide de planches de bois similaires, auxquelles les planches en sapin placées sur le bordé de l'épave Ep. 4 de Lyon Saint-Georges⁶¹ pourraient s'apparenter. Mais les autres, non colmatées, ont dû fortement fragiliser le bateau et participer peut-être à son naufrage.

De nombreuses traces de hache à large tranchant, très bien conservées, couvrent entièrement les faces internes et externes des bordés en formant trois à cinq rangées chevauchantes, à l'égal des épaves Ep. 4 et Ep. 7 de Lyon Saint-Georges⁶², ainsi que les cans des bordages de flanc et de leurs planches de réparation. A 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 grossièrement taillé de profondes entailles en lignes obliques vraisemblablement par une herminette à tranchant plat, le bordage posé à plat comme le suggèrent les traces similaires observées sur un bordage de bouchain de l'épave Ep. 3 de Lyon Saint-Georges⁶³ et attribuées au maniement d'une herminette à tranchant concave qui travaille dans le même plan horizontal.

3.5.6. 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 cinquante ans environ lors de son abattage. Cette essence semble avoir été choisie pour la fonction de ce mât destiné à recevoir les forces de traction du bateau depuis la berge. En construction traditionnelle, la légèreté et l'élasticité sont recherchées pour éviter les ruptures de mât⁶⁴, deux qualités que possède le frêne en plus de produire des fûts hauts et bien droits⁶⁵.

Cependant, assez peu durable en milieu humide⁶⁶, il est rejeté en charpenterie navale⁶⁷, ce qui semble conforter l'hypothèse d'une protection, peut-être de cuir, fixée par les clous encore fichés au sommet du mât⁶⁸. Ayant conservé son écorce, la grume est simplement épannelée aux deux extrémités et le tenon à sa base est sculpté à l'aide d'une herminette à tranchant plat. Des traces d'usure, notamment au niveau de la gorge creusée au sommet de la pièce, trahissent le frottement des cordages utiles au halage du chaland⁶⁹.

3.5.7. Les aménagements internes

Les cloisons et les planches de vaigrage et de protection de la sole résultent du sciage de grumes de sapin et d'épicéa en majorité, mais aussi de pin de type sylvestre et de chêne caducifolié, débitées dans toutes les parties du bois de la moelle à la périphérie (Va4, Va10, Va24, Va32, fig. 5). D'après l'analyse dendrochronologique de trente-six pièces, certaines sont issues d'un même arbre, comme le montre, par exemple, le débitage en planches d'un sapin au moins âgé de cent soixante-deux ans pour un diamètre minimum de 48 cm (planches de vaigrage, fig. 5) ou d'un épicéa âgé de deux cent quinze ans au moins pour un diamètre minimum de 33 cm. Ce mode de débitage montre que les charpentiers ont cherché à exploiter au maximum le rendement des grumes au détriment de la qualité de façonnage des planches qui, pour celles débitées à la périphérie, ont tendance, au séchage, à se cintrer⁷⁰. Une grande partie du plancher du fond du caisson est constituée de planches remployées, comme le montrent, sur certaines, la présence d'un clou rabattu, d'une ferrure endommagée, de chanfreins, de chevilles ou d'orifices non fonctionnels. Ces observations, confortées par l'hétérogénéité des taxons, nous montrent que l'ensemble du plancher semble constitué de pièces de qualité plus ou moins bonne sélectionnées de manière opportuniste selon leur disponibilité sur les lieux de halte du chaland, constituant à bord une réserve de bois d'œuvre disponible et remployé au gré des besoins. Le choix d'essences résineuses de moindre qualité et la variabilité des débits observés au sein de l'ensemble des aménagements internes indiquent un souci d'économie du bois d'œuvre accordé à ces planches, souvent renouvelées en fonction de leur usure car vouées à protéger l'embarcation de la cargaison ou des activités à bord. Concernant leur façonnage, deux types de traces se distinguent et coexistent parfois sur une même pièce, une partie des planches étant sciée de long, une autre étant façonnée, comme pour les cans, à la hache à large tranchant. Concernant les planches

60. Marlier (dir.) 2014, 155-157.

61. Guyon 2010, 76.

62. Guyon 2010, 80-81, 92, 94.

63. Guyon 2010, 60-61, 92, 94.

64. Ballu 2000, 87.

65. Lieutaghi 2004, 610, 617-624; Rameau, Mansion, Dumé 1989, 461; Venet 1986.

66. *Ibid.*

67. Rival 1991, 60, 67.

68. Marlier (dir.) 2014, 210.

69. Marlier (dir.) 2014, 209.

70. Rival 1991, 188.

de cloison, les orifices destinés au passage de cordages ont été taillés au ciseau droit et à la gouge qui forment des facettes lisses, planes et concaves, bordées de petites saillies de fibres arrachées aux angles.

Les traverses, poutres de section carrée, proviennent du débitage à la hache à large tranchant de bois de sapin, essentiellement, et d'épicéa. Elles sont, en majorité, équarries sur brin dans des billes de bois de bout extraites de troncs d'arbres jeunes, âgés au minimum de vingt-trois à soixante-sept ans, pour les dix pièces soumises à l'analyse dendrochronologique, et dont le diamètre approchait la largeur des poutres de 16 cm maximum, le chanfrein non écorcé de certaines pièces correspondant à la périphérie de la grume. Certaines traverses sont équarries à une extrémité la plus large correspondant à la base du tronc, l'autre extrémité vers la cime, plus fine, étant simplement écorcée. 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, qui améliore la flexibilité et la résistance des pièces, est lié à leur fonction de soutien du plancher de cale et de protection de la coque.

4. CONCLUSION

À l'issue de cette étude, la quantité de bois nécessaire à la construction de la structure primaire du chaland AR3, hors caisson et aménagement interne, est évaluée à un total de cinquante à soixante-dix-sept arbres abattus, parmi lesquels quarante-sept à soixante-treize chênes caducifoliés, un à deux sapins et un épicéa, majoritairement âgés, pour la plupart matures. L'application de la dendrochronologie à des pièces confectionnées dans des essences différentes (chêne et sapin) conduit à des dates convergentes d'abattage des arbres, toutes deux distribuées sur les premières années de la deuxième moitié du I^{er} siècle de notre ère. Les chênes employés à la réalisation du chaland ont probablement poussé dans les environs de Chalon-sur-Saône, soit 400 km au nord d'Arles ; la provenance géographique des sapins demeure inconnue.

Les caractéristiques de la charpenterie mise en œuvre sur le chaland montrent une recherche de performance dans la sélection des essences et le débitage des pièces architecturales adaptés à la fonction des pièces choisies. Ainsi, la structure de base entièrement réalisée en chêne caducifolié s'oppose au bordé et aux aménagements internes où se mêlent diverses essences majoritairement de type résineux, le mât étant la seule pièce en frêne. Si la mise en œuvre des bois répond essentiellement à des exigences techniques, les contraintes environnementales ne sont pas négligeables. Malgré une riche panoplie d'outils de charpentier identi-

fiée, l'usage de la hache et de l'herminette reste très important, au détriment de la scie, plus efficace mais seulement réservée au débitage des grumes de grandes dimensions ou à l'ajustage de certaines petites pièces. D'une manière générale, les charpentiers ont délibérément choisi d'exploiter le bois d'œuvre selon son plus haut rendement en taillant les planches au plus large possible, au détriment de la qualité et malgré le surcroît de temps de travail occasionné. Les procédés de mise en œuvre des bois d'AR3, profondément empreints de l'héritage du passé, sont ainsi caractéristiques de la charpenterie navale antique et, en particulier, des chalands gallo-romains d'origine européenne.

Bibliographie

- Arnold 1992** : B. Arnold, *Batellerie gallo-romaine sur le lac de Neuchâtel, tome 1*, Saint-Blaise, Éditions du Ruau, Archéologie neuchâteloise, 12, 1992, 99 p.
- Arnold 1999** : B. Arnold, *Altaripa : archéologie expérimentale et architecture navale gallo romaine*, Neuchâtel, Musée cantonal d'archéologie, Archéologie neuchâteloise, 25, 1999, 181 p.
- Baillie 1982** : M. G. L. Baillie, *Tree-Ring Dating and Archaeology*, London, Croom Helm, 1982, 274 p.
- Ballu 2000** : J.-M. Ballu, *Bois de marine, Les bateaux naissent en forêt*, Paris, Éditions du Gerfaut, 2000, 153 p.
- Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011** : D. Djaoui, S. Greck, S. Marlier (dir.), *Arles-Rhône 3, le naufrage d'un chaland antique dans le Rhône, enquête pluridisciplinaire*, Arles, Musée départemental Arles antique et Actes Sud, 2011, 224 p.
- Grenouiller 1993** : B. Grenouiller, *Les traces d'outils à bois, de l'Antiquité à nos jours*, Mémoire de D.E.A., Paris, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, 1993, 255 p.
- Guibal, Pomey 2002** : F. Guibal, Pomey, Essences et qualité des bois utilisés dans la construction navale antique, L'apport de l'étude anatomique et dendrochronologique, *Forêt Méditerranéenne*, XXIII, 2, 2002, 91-104.
- Guyon 2010** : M. Guyon, Les épaves, in : E. Rieth (dir.), *Les épaves de Saint-George, Lyon, I^{er}-XVIII^e siècles, Analyse architecturale et études complémentaires*, Paris, CNRS Éditions, 2010, 48-97 (Archaeonautica, 16).
- Jacquot 1955** : C. Jacquot, *Atlas d'anatomie des bois des conifères*, 2 tomes, Paris, Centre technique du bois, 1955, 134 p., 64 pl.
- Jacquot, Trénard, Dirol, 1973** : C. Jacquot, Y. Trénard, D. Dirol, *Atlas d'anatomie des bois d'angiospermes (Essences feuillues)*, 2 tomes, Paris, Centre technique du bois, 1973, 176 p., 72 pl.
- Lambert 1998** : G.-N. Lambert, La dendrochronologie, mémoire de l'arbre, in : A. Ferdière (dir.), *Les méthodes de datation en laboratoire*, Paris, Éditions Errance, Collection «archéologiques», 1998, 13-69.
- Lambert, Lavier 1992** : G.-N. Lambert, C. Lavier, L'étalon dendrochronologique Bourgogne 29, in : B. Maurice, G.-N. Lambert (dir.), *Les veines du temps. Lectures de bois en Bourgogne*, Catalogue d'exposition, Autun, Musée Rolin, 1992, 123-156.

- Lieutaghi 2004 :** P. Lieutaghi, *Le livre des arbres, arbustes et arbrisseaux*, Arles, Acte Sud, 2004 (1^{re} édition : Robert Morel, 1969), 2004, 1322 p.
- Lonchambon 2000 :** C. Lonchambon, Un bateau monoxyle-assemblé à Chalon-sur-Saône (1^{er} siècle apr. J.-C.), in : *Archéologie des fleuves et des rivières*, Paris, Éd. Errance et Ville de Chalon-sur-Saône, 2000, 174-178.
- Marlier dir. 2014 :** S. Marlier (dir.), *Arles-Rhône 3, Un chaland gallo-romain du I^{er} siècle après Jésus-Christ*, Paris, CNRS Éditions et Musée départemental Arles antique, 2014, 330 p. (Archaeonautica, 18).
- Rameau, Mansion, Dume 1989 :** J.-C. Rameau, D. Mansion, G. Dume, *Flore forestière française, Guide écologique illustré*, t. 1 : *Plaines et collines*, Paris, Institut pour le Développement Forestier, 1989, 1786 p.
- Rameau, Mansion, Dume 1993 :** J.-C. Rameau, D. Mansion, G. Dume, *Flore forestière française, Guide écologique illustré*, t. 2 : *Montagnes*, Paris, Institut pour le Développement Forestier, 1993, 2421 p.
- Rieth 1998 :** E. Rieth, *Des bateaux et des fleuves. Archéologie de la batellerie du Néolithique aux Temps modernes en France*, Paris, Éd. Errance, 1998, 159 p.
- Rieth 2011 :** E. Rieth, 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, in : G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.), *Batellerie gallo-romaine, Pratiques régionales et influences maritimes méditerranéennes*, Paris, Édition Errance, 2011, 63-72 (Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine, 9).
- Rossiaud 2007 :** J. Rossiaud, *Le Rhône au Moyen Âge*, Paris, Aubier Flammarion, Collection historique, 2007, 648 p.
- Rival 1991 :** M. Rival, *La charpenterie navale romaine, Matériaux, méthodes, moyens*, Paris, Éditions du CNRS, Travaux du Centre Camille Jullian, 4, 1991, 333 p.
- Schweingruber 1982 :** F. H. Schweingruber, *Mikroskopische Holz-anatomie, Anatomie microscopique des bois, Microscopic wood anatomy*, Teufen, F. Flück-Wirth, Internationale Buchhandlung für Botanik und Naturwissenschaften, 1982 (1^{re} édition : Zug, Institut Fédéral de Recherches Forestières, Éd. Zürcher AG, 1978), 226 p.
- Schweingruber 1990 :** F. H. Schweingruber, *Anatomie europäischer Hölzer, Anatomy of European woods*, Bern und Stuttgart, Haupt, 1990, 800 p.
- Venet 1986 :** J. Venet, *Identification et classement des bois français*, Nancy, E.N.G.R.E.F., 1986 (2^e édition revue par R. Keller), 312 p.
- Vernet et al. 2001 :** J.-L. Vernet, P. Ogereau, I. Figueiral, C. Machado Yanes, P. Uzquiano, *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents, Sud-ouest de l'Europe : France, Péninsule ibérique et îles Canaries*, Paris, éd. du CNRS, 2001, 396 p.