

L'utilisation des images 3D comme outil de compréhension et de médiation pour l'étude des épaves de l'Antiquité romaine, à partir de trois exemples : Mandirac 1, Laurons 2, et Port-Vendres 1

The use of 3D images as a tool for understanding and mediating, in the framework of studying ancient Roman shipwrecks, from three examples: Mandirac 1, Laurons 2, and Port-Vendres 1

Marie-Pierre Jézégou, Fabrice Paul et Jean-Marie Gassend



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/pds/4456>

DOI : [10.4000/pds.4456](https://doi.org/10.4000/pds.4456)

ISSN : 2494-2782

Éditeur

Conseil régional Occitanie

Référence électronique

Marie-Pierre Jézégou, Fabrice Paul et Jean-Marie Gassend, « L'utilisation des images 3D comme outil de compréhension et de médiation pour l'étude des épaves de l'Antiquité romaine, à partir de trois exemples : Mandirac 1, Laurons 2, et Port-Vendres 1 », *Patrimoines du Sud* [En ligne], 12 | 2020, mis en ligne le 01 septembre 2020, consulté le 02 septembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/pds/4456> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/pds.4456>

Ce document a été généré automatiquement le 2 septembre 2020.



La revue *Patrimoines du Sud* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

L'utilisation des images 3D comme outil de compréhension et de médiation pour l'étude des épaves de l'Antiquité romaine, à partir de trois exemples : Mandirac 1, Laurons 2, et Port-Vendres 1

The use of 3D images as a tool for understanding and mediating, in the framework of studying ancient Roman shipwrecks, from three examples: Mandirac 1, Laurons 2, and Port-Vendres 1

Marie-Pierre Jézégou, Fabrice Paul et Jean-Marie Gassend

- 1 Au-delà de leurs qualités nautiques et de leurs capacités de transport, les épaves de navires¹, recèlent un ensemble de savoirs technologiques que l'outil numérique et la 3D mettent en évidence et rendent aisément compréhensible aux publics. Nous nous appuyerons sur trois exemples traitant d'épaves méditerranéennes afin d'illustrer les potentialités de ces outils par des cas précis. Ces trois épaves ont fait l'objet de fouilles archéologiques dirigées par deux d'entre nous². Le troisième auteur a conçu les outils de médiation numérique³.

L'épave de Mandirac (Narbonne, 11) et la restitution d'une scène de halage

- 2 L'épave *Mandirac 1* a été découverte à l'occasion des recherches sur le système portuaire narbonnais entreprises depuis 2005⁴. Elle a été réutilisée pour rehausser une des deux berges du chenal portuaire narbonnais durant l'Antiquité tardive. Elle est datée, par le

reliquat de cargaison qu'elle contenait, du premier tiers du V^e siècle de notre ère (fig. 1).

Fig. 1



Narbonne (Aude), *Mandirac 1*, cargaison d'amphores africaines et de Bétique du premier tiers du V^e siècle

S. Sanz-Lalliberté © CNRS, UMR 5140

- 3 Ses dimensions réduites, 11 mètres de longueur pour 4 mètres de largeur, l'absence de vaisselle utilisée pour le stockage et la préparation des repas de l'équipage et la position du massif d'emplanture du mât⁵, décentré vers l'avant, incitent à la considérer comme une allège (*navis caudicaria*) destinée à décharger les navires maritimes à l'entrée du chenal et à acheminer les marchandises par halage sur la voie fluviale, vers les entrepôts urbains.
- 4 Avant le démontage complet du flanc tribord (fig. 2 et 3), une série de coupes transversales (fig. 4) et longitudinales ont été réalisées afin d'estimer la capacité de charge de l'embarcation aux environs de 9 tonnes et de reconstituer son plan de forme (fig. 5).

Fig. 2



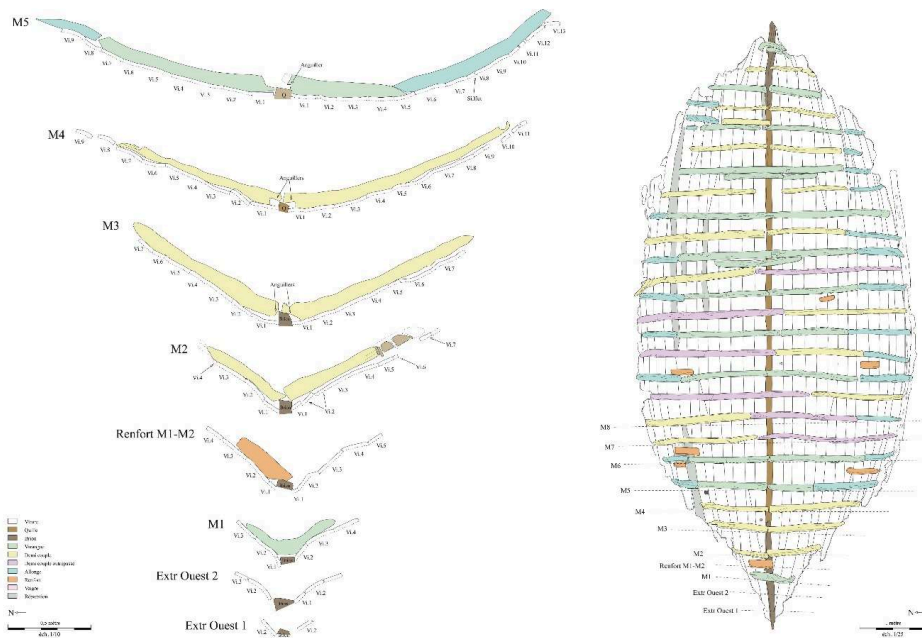
Narbonne (Aude), *Mandirac 1*, épave après prélèvement du reliquat de cargaison
S. Sanz-Lalliberté © CNRS, UMR 5140

Fig. 3



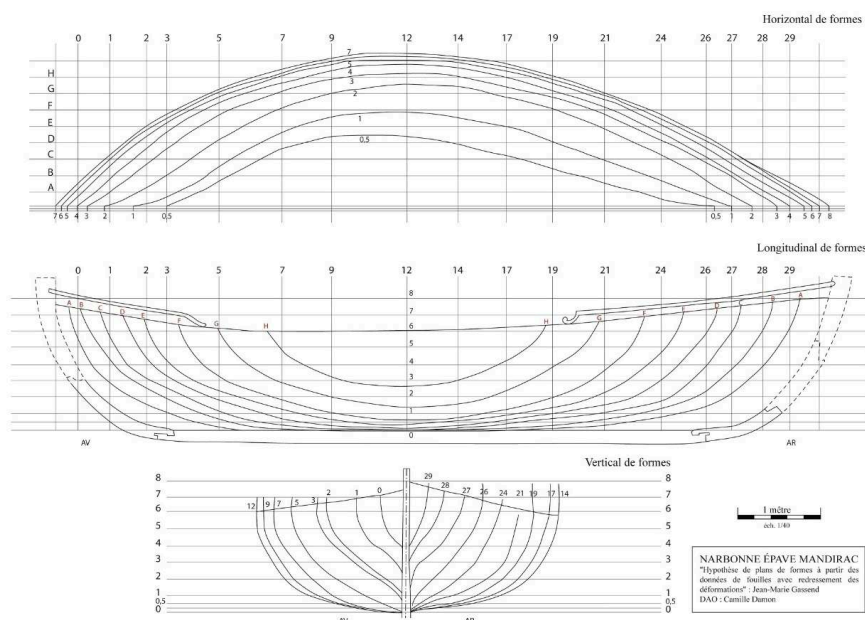
Narbonne (Aude), *Mandirac 1*, épave après démontage du flanc tribord
S. Sanz-Lalliberté © CNRS, UMR 5140

Fig. 4



Narbonne (Aude), *Mandirac 1*, aperçu des coupes transversales à l'avant de l'épave
P. Andersch-Goodfellow. © Institut National de Recherches en Archéologie Préventive

Fig. 5



Narbonne (Aude), *Mandirac 1*, hypothèse de restitution du plan de forme de l'embarcation

J.-M. Gassend © Institut de Recherche en Architecture Antique, Aix-en Provence ; © DAO C. Damon

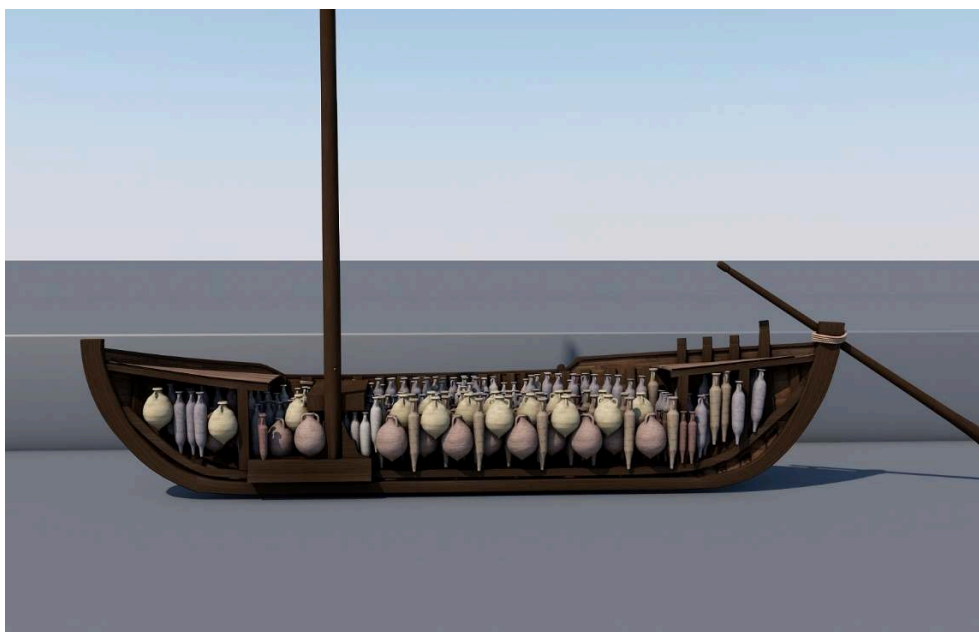
- 5 Il s'agit là du processus inverse de celui mis en œuvre dans la construction navale. En effet, pour construire un navire, une fois le cahier des charges établi par le commanditaire, un architecte naval élabore un plan de forme à partir duquel le maître charpentier de marine fait procéder à la mise en forme des éléments de la charpente.
- 6 À partir des études de charge et du plan de forme issu des relevés de terrain, commence alors le travail de modélisation qui rend possible l'élaboration d'une carène numérique sur laquelle pourront prendre place les différents éléments du gréement et de l'accastillage tels que les vestiges conservés ou les informations transmises par l'iconographie antique disponible permet de les reconstituer.
- 7 L'embarcation de Mandirac est un bateau de servitude portuaire réemployé dans le réaménagement du port fluvial narbonnais. Avant son emploi, elle a été dépouillée de tout ce qui était encore en état de servir : mât et emplanture de mât, pompe de cale, gouvernail et appareils divers (fig. 2 *supra*). C'est donc à l'iconographie surtout qu'il convient de se référer pour proposer une scène de halage crédible pour l'époque antique. Les sources textuelles peuvent également être mises à contribution et des comparaisons avec les époques médiévale et moderne peuvent aussi se révéler utiles. Enfin des comparaisons restent possibles avec l'embarcation *Arles-Rhône 3*, un chaland dont le mât de halage a été conservé dans l'épave qui a sombré dans le Rhône en Arles et qui après avoir été fouillée, restaurée et traitée est aujourd'hui présentée dans le musée départemental de l'Arles antique en Arles⁶. Toutefois cette embarcation n'évoluait pas dans le même espace de navigation et sa forme est différente de celle de *Mandirac 1*.

- 8 Afin de permettre une traction efficace et une avancée parallèle à la berge du fleuve, le mât de halage doit être placé entre le centre de gravité et l'extrémité avant pour que la résultante de la force de résistance de l'eau s'applique sur l'avant du bateau et l'éloigne de la rive. Alors que les mâts à gréement carré de l'Antiquité sont généralement placés au tiers avant, le mât de l'embarcation de Mandirac⁷ se trouve dans une position plus avancée, correspondant parfaitement à celle d'un mât de halage. Cette position consiste à respecter un jeu d'équilibre entre la force de la traction et son effet de propulsion. Si le bateau est directement halé par l'avant, il viendra s'échouer le long de la berge. Si le point de traction est situé au centre, la coque va pivoter autour du point central⁸. À l'entrée « halage », le Grand dictionnaire universel du XIX^e siècle stipule : « Le halage d'un bateau se fait en le tirant avec une corde fixée au mât placé dans son axe, en avant du centre de gravité et à laquelle on attelle des chevaux ou des hommes »⁹. Un petit cordage, le sambiau, réglé à la demande et fixé au niveau de l'extrémité avant du bateau, permet d'ouvrir ou de fermer l'angle du câble de halage¹⁰. Ce cordage est également bien visible sur certaines représentations de l'Antiquité¹¹. Le passage du câble de traction au sommet du mât, le haubanage et l'étau arrière sont directement inspirés du mât de halage retrouvé dans l'épave *Arles-Rhône 3*.
- 9 Afin de produire une reconstitution réaliste, d'autres questions restaient à résoudre et notamment le mode de traction, humain ou animal. Toutes les scènes de halage qui sont conservées depuis l'Antiquité montrent un halage exclusivement humain, tant sur les reliefs funéraires mosellans¹² que sur les représentations plus proches de la Méditerranée comme le relief de Cabrières d'Aigues¹³ ou la plinthe de la statue du Tibre¹⁴.
- 10 Les sources antiques¹⁵ n'excluent pas l'existence du halage animal mais aucune représentation n'est parvenue si l'on excepte un des reliefs de Neumagen aujourd'hui perdu sur lequel un homme accompagnerait deux mules tractant une embarcation¹⁶. Le recours à l'énergie humaine paraît plus souvent requis en matière de halage. Selon les représentations, deux ou trois personnages sont convoqués. Le corps penché, ils tiennent d'une main l'extrémité d'une épaisse corde ployée sur l'épaule. Pour s'aider, ne pas glisser ou être déséquilibrés, ils s'appuient sur un bâton ou une canne qu'ils tiennent de l'autre main. Le relief de Cabrières ou la plinthe de la statue du Tibre se distinguent des autres représentations par la présence d'un câble pour chaque personnage, au lieu d'un câble unique partagé entre les haleurs. Dans les deux cas, la traction est on ne peut plus élémentaire si on la compare à des scènes de l'époque moderne.
- 11 Selon Jacques Rossiaud¹⁷, sur le Rhône, le halage est exclusivement humain jusqu'à la fin du XV^e siècle et le halage animal ne fait pas disparaître la traction humaine que l'on trouve encore au début du XX^e siècle. En effet, la traction animale nécessite un entretien plus important des rives pour le passage des attelages ce que montrent d'ailleurs les archives d'époque moderne¹⁸. Un groupe d'hommes négocie plus facilement les passages difficiles. Toutefois, une différence se fait jour avec l'iconographie d'époque moderne : l'absence de harnais¹⁹ qui enveloppe le buste des haleurs en répartissant l'effort sur le haut du corps.
- 12 Afin de compléter la restitution de l'embarcation de Mandirac, il reste encore à représenter le système directionnel de l'embarcation. En effet, des contre-dérives sont nécessaires pour compenser l'obliquité de la traction et avec elle la perte de puissance des efforts des haleurs²⁰. Les sources iconographiques antiques divergent sur ce sujet

puisque l'on trouve aussi bien l'usage d'une paire de rames gouvernails²¹ de grandes dimensions²² qu'une simple rame²³ ou encore une godille²⁴.

- 13 Les sources de l'époque moderne fournissent des éléments de comparaison quant à la puissance nécessaire pour halier une embarcation. Celle-ci dépend bien entendu du plan d'eau. Un canal aux eaux immobiles ou un fleuve à fort débit ne sollicitent pas la même puissance. Sur le Rhône, par exemple, un adulte dans la force de l'âge peut tracter 1,5 t en parcourant de 6 à 12 km/jour en une douzaine d'heures, selon les secteurs²⁵. Dans un canal, deux hommes peuvent tracter 80 à 100 t à 1 km/h²⁶ or le port en lourd de l'épave de Mandirac est estimé à 9 tonnes. La remonte sur le chenal portuaire narbonnais se fait face à la tramontane, vent dominant dans cette région, mais l'Aude a très certainement, si près de son embouchure, un débit moindre que celui observé sur différents secteurs du Rhône.
- 14 Enfin, avant de proposer un modèle numérique d'une scène de halage de l'Antiquité tardive, à Narbonne, il nous a fallu reconstituer la disposition du chargement dans la cale. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur le reliquat d'amphores abandonnées avant la réutilisation de l'embarcation dans la berge orientale du chenal. En respectant la proportion de chaque type, leur implantation et leurs poids une fois remplies²⁷, telle que retrouvée lors de la découverte de l'épave (fig. 2 *supra*), il a été possible de reproduire chaque modèle à l'échelle de l'embarcation et de les placer dans la cale du bateau (fig. 6) tout en respectant un port en lourd aux environs de 9 tonnes, ce qui correspond à 475 amphores.

Fig. 6



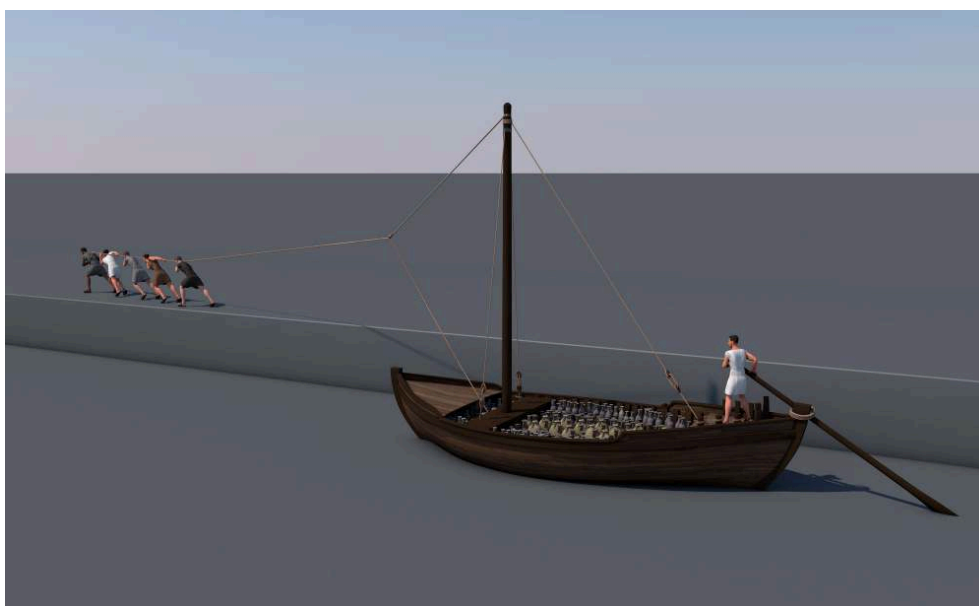
Narbonne (Aude), Mandirac 1, vue en coupe de la reconstitution du chargement d'amphores dans la cale

F. Paul © Edikom

- 15 Afin d'explicitier le modèle final (fig. 7), nous récapitulons ici les différents choix qui ont été faits :
- un bateau partiellement ponté (aux extrémités) ;

- un mât fortement haubané, solidement maintenu à la poupe pour compenser la traction vers l'avant tel que représenté sur le cippe du musée national romain²⁸ ;
- un câble de halage réglable dont la hauteur est réglable ;
- un passage et une fixation du câble au sommet du mât selon les enseignements de l'épave Arles-Rhône 3 ;
- un halage humain à la corde, sans bricole, avec un câble unique partagé entre les haleurs selon les enseignements des reliefs d'Igel et de Neumagen. En effet, sans harnais, il n'y a pas grand intérêt à un cordage par personnage en raison des problèmes de fixation de ces câbles en tête de mât²⁹ ;
- un système directionnel par godille comme représenté sur la plinthe de la statue du Tibre ou sur la stèle de Blussus ;
- la présence de 5 haleurs compte tenu de la capacité de charge de l'embarcation de Mandirac³⁰ et des contraintes du chenal.

Fig. 7



Narbonne (Aude), *Mandirac 1*, restitution d'une scène de halage à propos de l'épave de Mandirac
F. Paul © Edikom

- 16 Enfin les mouvements des haleurs sont inspirés d'une carte postale du port de Saint-Brieuc qui montre quatre personnages en position de halage. Cette image a retenu toute notre attention car les haleurs ne portent pas un véritable harnais bien que le câble entoure le buste de l'un d'entre eux. À la décize³¹, il est vraisemblable que l'embarcation de Mandirac devait pouvoir utiliser la force du vent, dans les zones où l'encombrement du chenal l'autorisait c'est-à-dire en amont. Pour cela, compte tenu de l'emplacement du pied du mât, elle ne pouvait porter qu'un gréement à la livarde (fig. 8). Ce type de gréement bien connu d'après l'iconographie antique³² a l'avantage de serrer le vent au près, type d'allure nécessaire dans le chenal lorsque le vent était au sud-est.

Fig. 8

Narbonne (Aude), *Mandirac 1*, restitution d'une voile à la livarde

F. Paul © Edikom

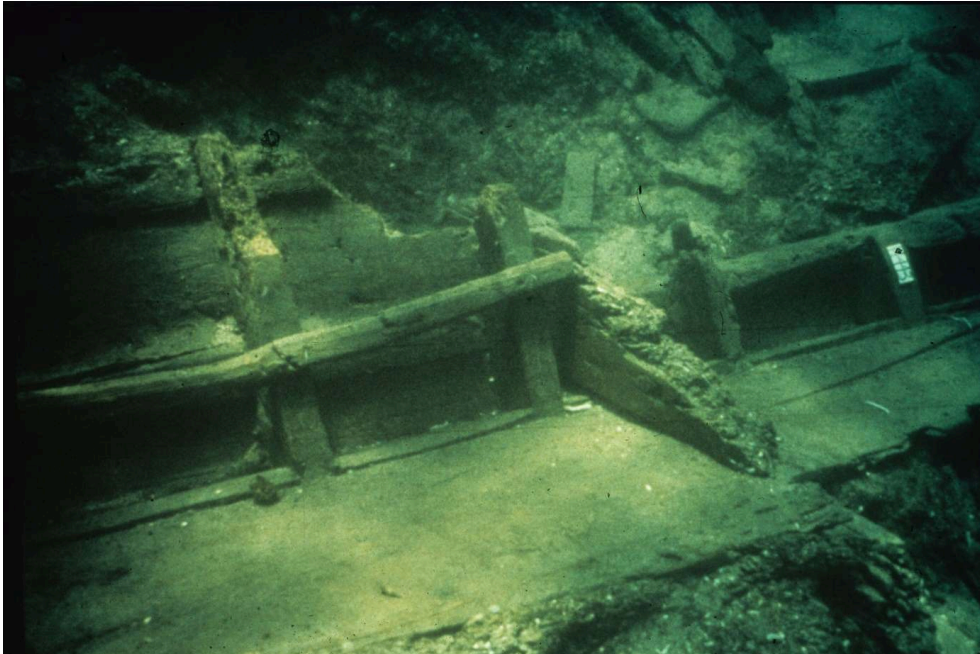
- 17 Nous aurions bien entendu pu produire d'autres types de représentation et notamment retenir celles d'Igel, de Neumagen et de Cabrières qui montrent les haleurs tenant le câble d'une seule main, l'autre prenant appui sur un bâton. Sur la plinthe de la statue du Tibre, seul le personnage de tête s'appuie sur un bâton. Le bâton était peut-être utile pour ne pas glisser sur les berges aménagées (empierrées ? comme c'est le cas à Narbonne, à l'embouchure du moins) des chenaux portuaires antiques lorsque l'on porte des sandales en cuir. Néanmoins il réduit la force utile des haleurs. Toute représentation repose sur des choix dans la documentation disponible et comprend forcément une part de subjectivité.

L'épave 2 des Laurons (Martigues, 13) et le système de gouvernail dans l'Antiquité

- 18 Les fouilles de l'épave *Laurons 2* dont le naufrage est daté de la fin du II^e s. de notre ère³³ ont été conduites par Jean-Marie Gassend, entre 1979 et 1983, dans l'anse des Laurons, par 2,5 m de profondeur.
- 19 La grande originalité de cette épave est d'avoir livré une partie importante de ses œuvres mortes, conservées jusqu'au-dessus du pont. En effet, le navire était probablement en carénage, couché sur un flanc, lorsqu'il a été emporté par une vague scélérate³⁴. Cette situation a protégé un flanc complet de la destruction par les tarets³⁵. Sont ainsi particulièrement bien conservés le pavois, le pont, et l'aile de protection de l'appareil de gouverne. Les virures de pont sont au nombre de quatre et sont enserrées entre deux poutres, un bau au-dessous et un surbau au-dessus (fig. 9). Une rame-gouvernail a été découverte dans la cale (fig. 10), fragilisée par l'action des tarets

(fig. 11). Cette rame avait été démontée et remise en cale pour être protégée pendant les travaux.

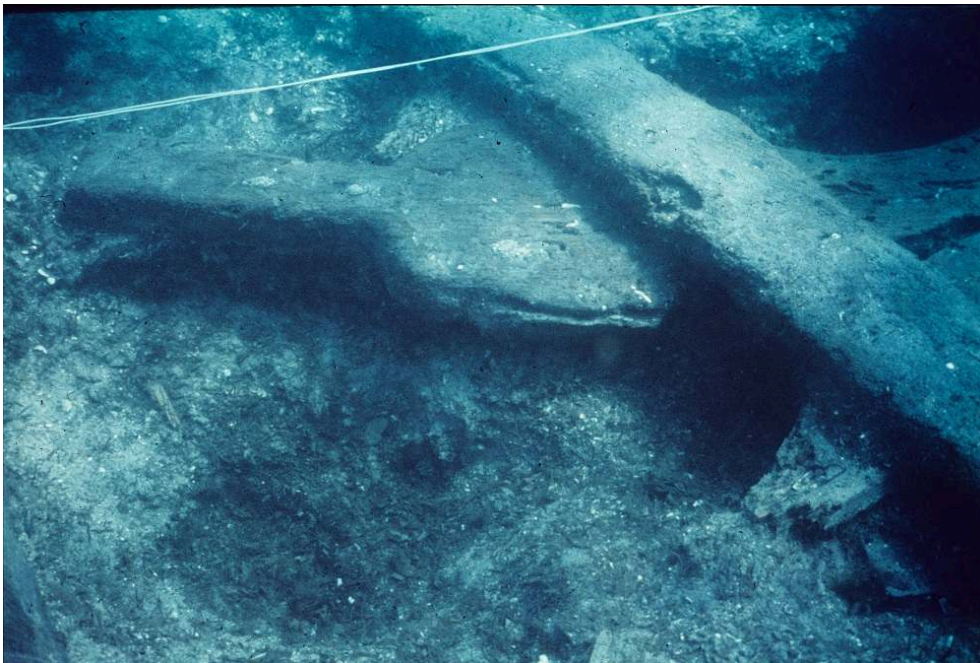
Fig. 9



Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, état de conservation exceptionnel des œuvres mortes. Le détail du pavois montre notamment le pont, les jambettes et la lisse de pavois ainsi qu'un surbau.

P. Foliot © Institut d'archéologie méditerranéenne, CNRS, Aix-en-Provence

Fig. 10



Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, la pelle du gouvernail en cours de fouille, visible sous un élément effondré

P. Foliot © Institut d'archéologie méditerranéenne, CNRS, Aix-en-Provence

Fig. 11

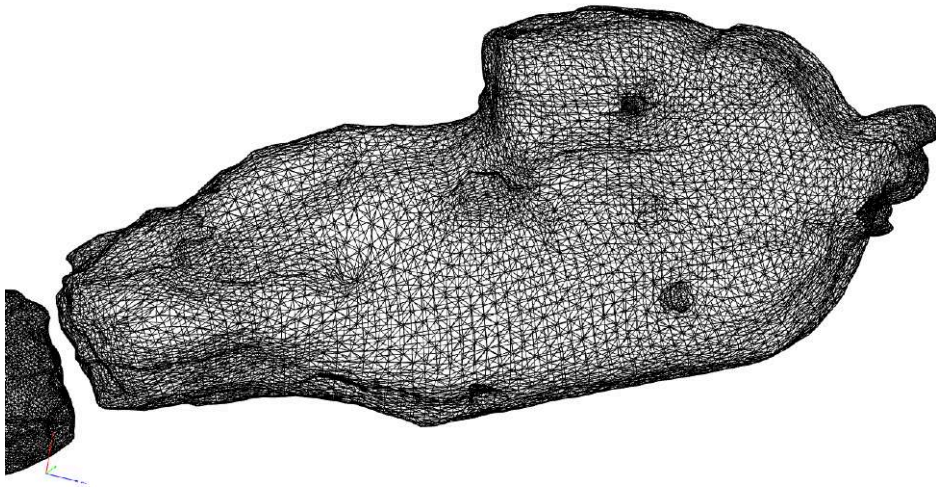


Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, la pelle du gouvernail mise au jour. On aperçoit les nombreuses coquilles blanches qui signalent l'action des xylophages marins

P. Foliot © Institut d'archéologie méditerranéenne, CNRS, Aix-en-Provence

- 20 Le système directionnel des navires de l'Antiquité est constitué de deux rames assez larges placées l'une à bâbord, l'autre à tribord, fixées sur la coque. Le timonier utilise l'une ou l'autre des deux rames selon l'allure du navire, c'est-à-dire selon la direction du vent. Ces rames-gouvernails sont constituées d'un safran et d'une mèche, l'ensemble étant mis en mouvement par une barre. En actionnant cette barre, le timonier fait tourner la mèche sur elle-même, puis celle-ci agit à son tour sur le safran. Le recours à la barre permet ainsi d'agir sans effort sur la mèche d'autant plus que le gouvernail latéral est « compensé ». En effet la forme des safrans latéraux antiques, qui possédaient une mèche placée plus ou moins près de l'axe central, révèle que les Anciens maîtrisaient le principe de la compensation³⁶. Ils pouvaient ainsi piloter aisément de grands navires³⁷.
- 21 La rame-gouvernail conservée dans l'épave a été restaurée par lyophilisation et elle est exposée au musée Ziem à Martigues. En 2016, le musée a commandé une borne multimédia afin d'expliquer les caractéristiques de ce bateau et le fonctionnement d'un gouvernail romain. Cinq cents photos (fig. 12) ont permis de produire une modélisation 3D précise des éléments incluant les formes, volumes, aspérités et textures (fig. 13). Cet ensemble de données a facilité le travail de restitution car de nombreuses zones d'ombres concernant le fonctionnement exact des rames et leur fixation à la coque subsistaient encore au moment du lancement de l'opération (fig. 14).

Fig. 12



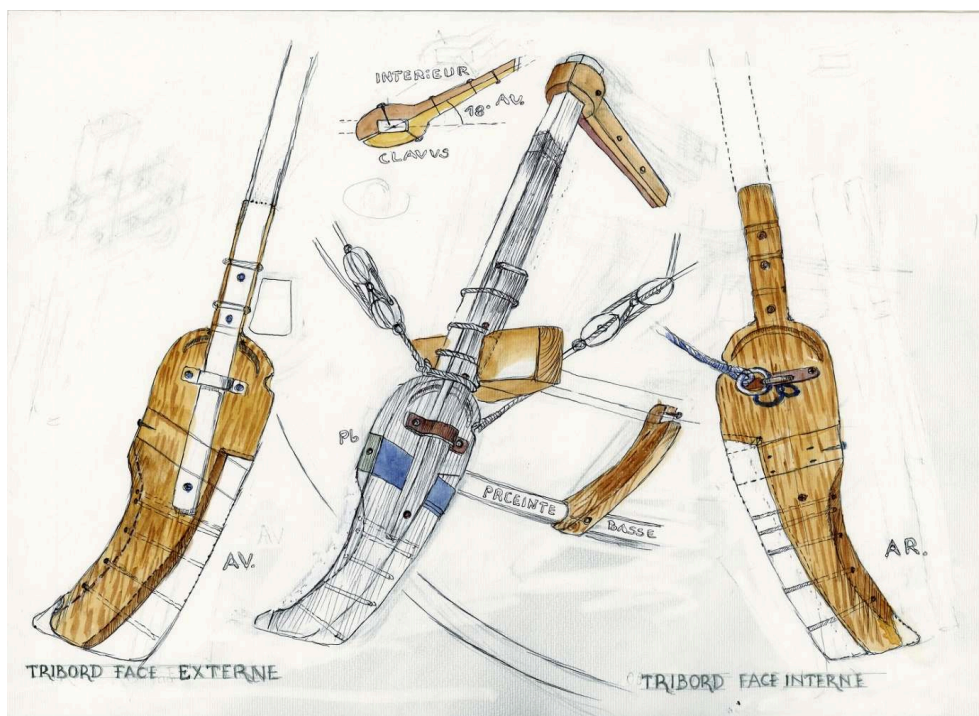
Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, restitution de la pelle du gouvernail par photogrammétrie
F. Paul © Edikom

Fig. 13



Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, le gouvernail réel et sa modélisation numérique
F. Paul © Edikom

Fig. 14

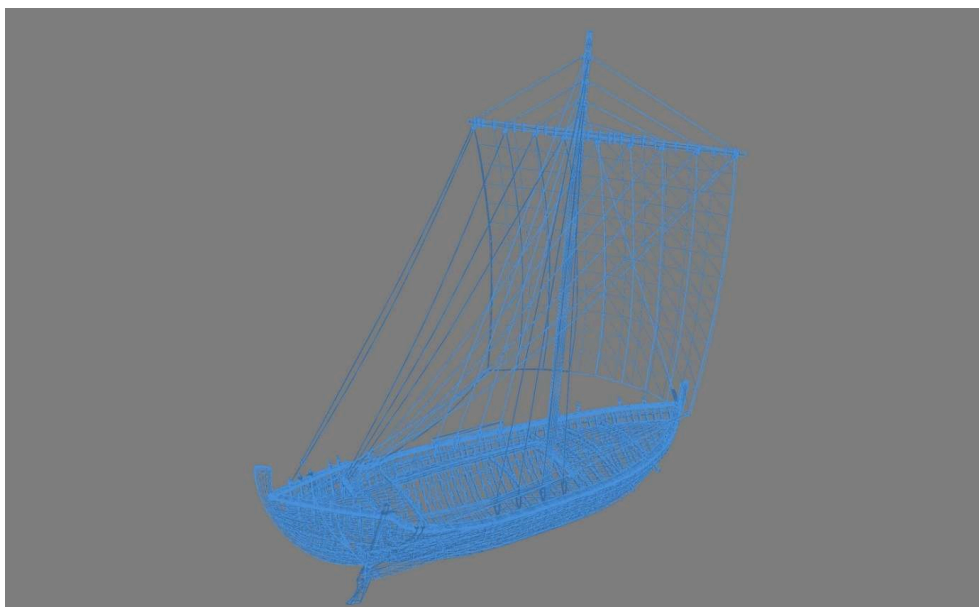


Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, attaches et fonctionnement des éléments d'une rame-gouvernail

J.-M. Gassend © Institut de Recherche en Architecture Antique, Aix-en Provence

- 22 La photogrammétrie des éléments préservés de ce gouvernail a permis tout d'abord une analyse de sa structure par l'observation plus précise des détails (marque d'usure, traces de corrosion...). Ce double numérique a ensuite été testé et des simulations ont permis de trouver la bonne solution d'assemblage. Enfin la trame de cette photogrammétrie a servi de support à la modélisation finale des rames-gouvernails bâbord et tribord.
- 23 Les deux rames-gouvernails modélisées ont été montées sur le bateau lui-même numérisé (fig. 15, 16) à partir du plan de formes et des relevés (fig. 17) réalisés par Jean-Marie Gassend, après reconstitution du gréement (fig. 18) librement inspiré de l'iconographie antique³⁸ et des vestiges du pont retrouvés in situ (fig. 19). Ce montage a été réalisé à partir des expériences en milieu naturel conduites sur la reconstruction à l'échelle 1 de bateaux antiques et notamment celui de Kyrenia. Lors des navigations expérimentales entreprises sur ce dernier, le mode de fixation des rames-gouvernails avait été soigneusement observé. Notamment la rame ne devait pas être reliée trop solidement à la structure du navire et la présence d'un léger jeu était souhaitable afin d'éviter qu'elle ne casse.

Fig. 15



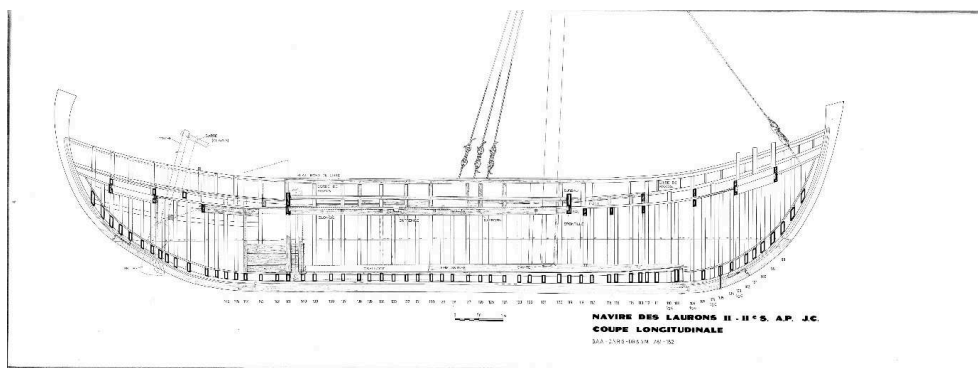
Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, modèle numérique non texturé de l'épave
F. Paul © Edikom

Fig. 16



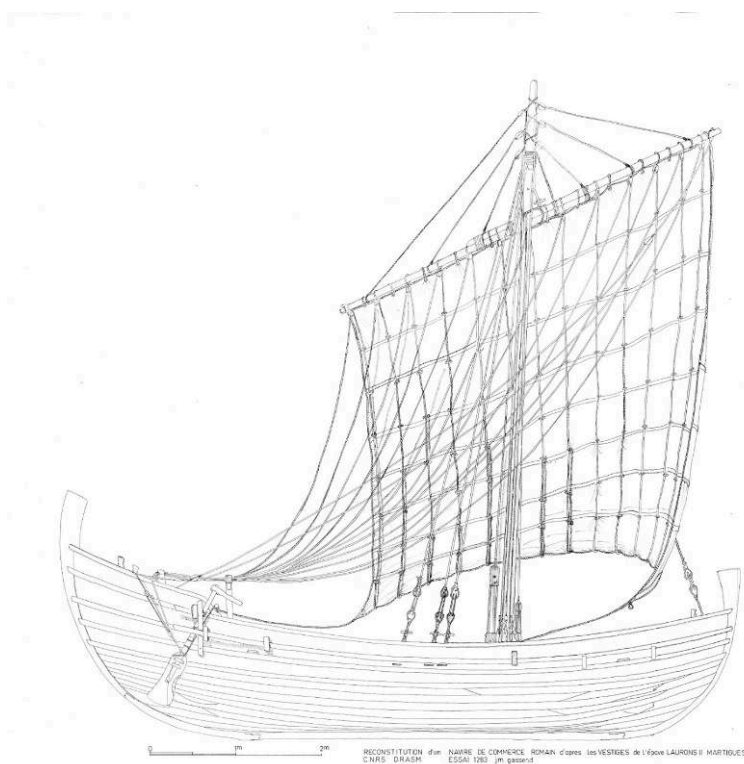
Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, modèle numérique avec texture offrant une meilleure lisibilité
F. Paul © Edikom

Fig. 17



Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, coupe longitudinale en élévation
J.-M. Gassend © Institut de Recherche en Architecture Antique, Aix-en Provence

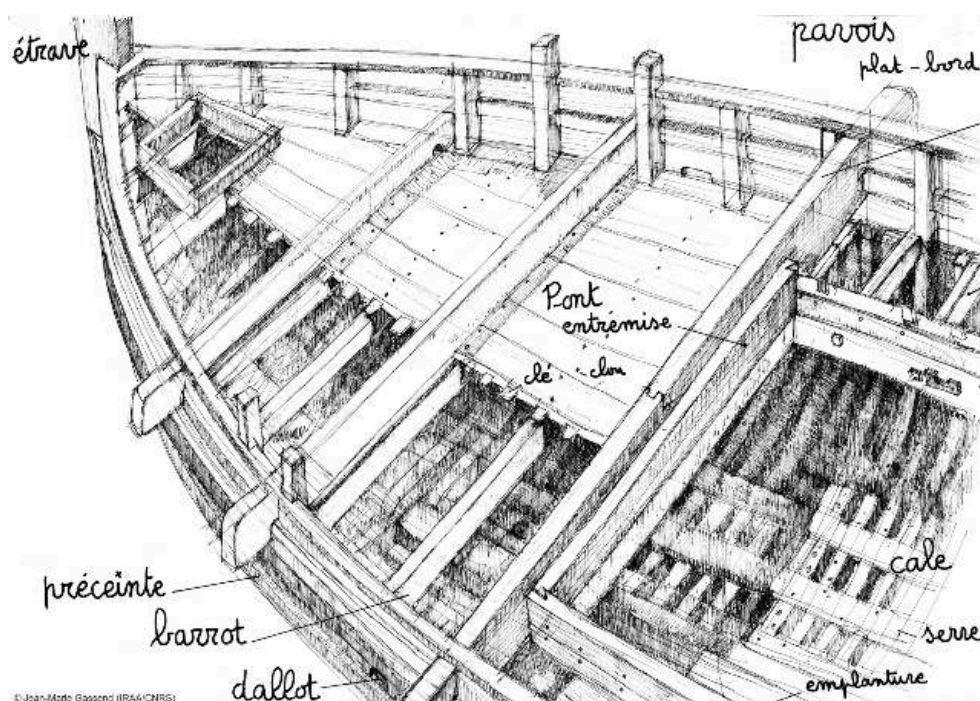
Fig. 18



Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, proposition de reconstitution d'un gréement à voile carrée à partir de l'iconographie antique disponible

J.-M. Gassend © Institut de Recherche en Architecture Antique, Aix-en Provence

Fig. 19



© Jean-Marie Gassend (IRAA/CNRS)

Martigues (Bouches-du-Rhône), *Laurons 2*, reconstitution du pont et de la cale à partir des vestiges conservés in situ

J.-M. Gassend © Institut de Recherche en Architecture Antique, Aix-en Provence.

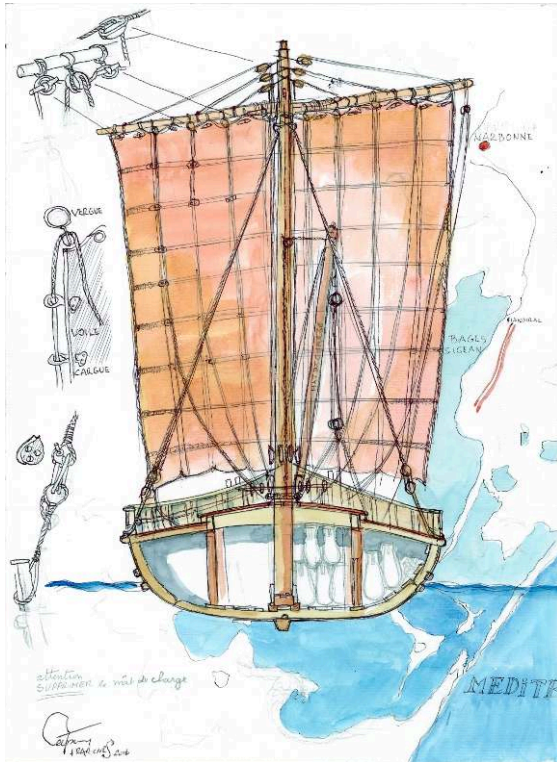
- 24 L'application numérique réalisée pour le musée Ziem permet aux visiteurs du musée d'interroger en détail le fonctionnement des divers éléments composant le gouvernail, de comprendre les circonstances du naufrage et l'architecture constitutive du pont par une immersion à l'intérieur du bateau.

L'épave 1 de Port-Vendres (66) : des apports exceptionnels à la connaissance de la navigation antique

- 25 Les fouilles de l'épave *Port-Vendres 1* ont démarré durant l'hiver 1963-1964³⁹ et se sont poursuivies d'octobre 1973 à mai 1974 avec le démontage et le prélèvement des vestiges de la coque en vue de sa restauration⁴⁰.
- 26 Il s'agissait, à l'époque, de la troisième opération au monde de prélèvement et de conservation d'une épave prélevée des eaux⁴¹. Son naufrage est daté de la fin du IV^e ou du tout début du V^e siècle, d'après l'ensemble monétaire retrouvé à bord⁴².
- 27 Grâce aux coupes transversales et longitudinales réalisées pendant les fouilles il a été possible d'obtenir le plan de forme préalable à la création du modèle numérique. Des études complémentaires sur le gréement (fig. 20) et sur l'agencement de la cale (fig. 21) ont rendu possible une restitution crédible du bateau sous voile (fig. 22) et du système de pompe de cale (fig. 23). Lors des fouilles, de nombreux vestiges de pompe de cale, du type « à chapelet », ont été découverts et son emplacement au tiers arrière du navire a été reconnu. Jusqu'à la découverte d'une pompe de cale en parfait état de conservation, en 1978, sur l'épave *Saint-Gervais 2* à Fos-sur-Mer, et la publication de la synthèse sur les

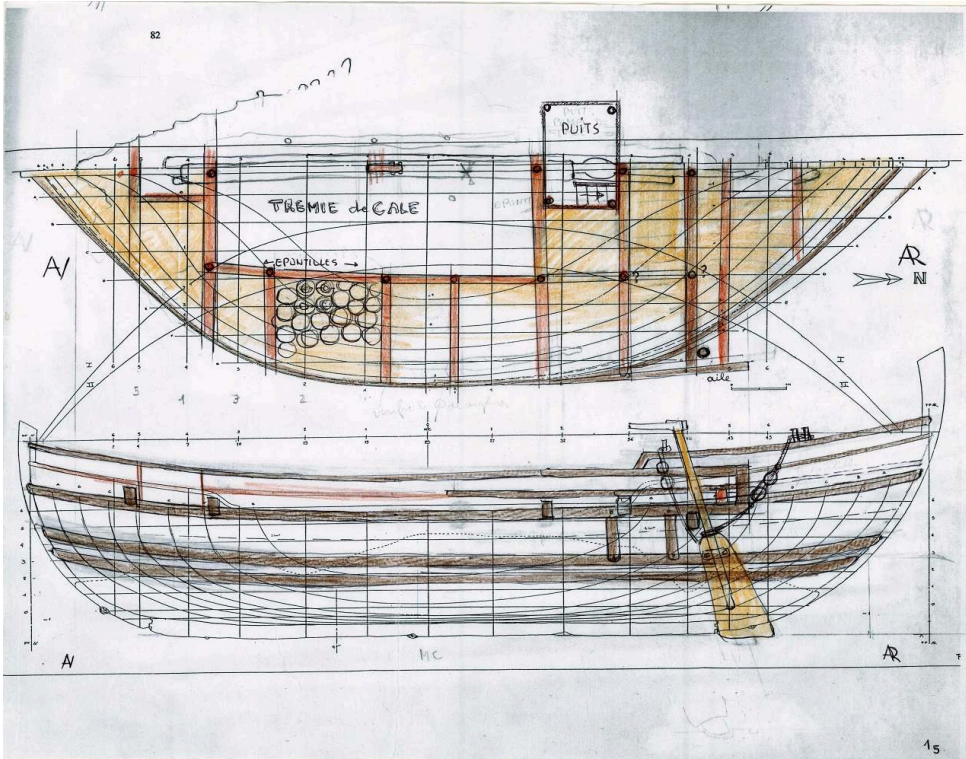
systèmes de pompe antiques qui s'est ensuivie⁴³, ce type de pompe n'était connu que dans la marine d'époque moderne⁴⁴.

Fig. 20



Port-Vendres (Pyrénées-Orientales), *Port-Vendres 1* ; études pour le gréement
Jean-Marie Gassend © Institut de Recherche en Architecture Antique, Aix-en Provence.

Fig. 21



Port-Vendres (Pyrénées-Orientales), *Port-Vendres 1* ; études pour la reconstitution de la cale
 Jean-Marie Gassend © Institut de Recherche en Architecture Antique, Aix-en Provence.

Fig. 22



Port-Vendres (Pyrénées-Orientales), *Port-Vendres 1* ; restitution du modèle numérique sous voile
 Fabrice Paul © Edikom.

Fig. 23



Port-Vendres (Pyrénées-Orientales), *Port-Vendres 1* ; au second plan, vue du bac de réception des eaux de la sentine et du système d'entraînement de la pompe de cale

Fabrice Paul ©Edikom.

Fig. 24



Port-Vendres (Pyrénées-Orientales), *Port-Vendres 1*, détail du logement de la pompe à fond de cale

A. Chéné © Institut d'archéologie méditerranéenne, CNRS, Aix-en-Provence

été numérisé et une modélisation en a été produite, qui intègre le mode d'entraînement sur le pont.

- 31 Les observations lors des fouilles de l'épave ont permis d'émettre une hypothèse très vraisemblable sur les causes du naufrage. Elle est étayée par la découverte, lors du prélèvement de la carène, des vestiges de la voile et de nombreux cordages disposés en galons sur le fond de vase, vers la zone arrière du bateau.
- 32 Cette accumulation inédite semble correspondre à une manœuvre de la dernière chance bien connue des marins : l'utilisation d'un préart. Le préart est une petite voile annexe qui est tendue sous la coque à l'emplacement d'une déchirure du bordé ou d'une forte entrée d'eau. La voile est appliquée fermement sur la coque au moyen d'écoutes bordées et la zone d'infiltrations est ainsi colmatée provisoirement. Vraisemblablement ici, la manœuvre a échoué puisque le navire a ensuite sombré dans l'abri naturel devant lequel elle a été tentée, piégeant ainsi les restes de la toile et des bouts utilisés sous l'épave.
- 33 Les exemples de modélisation numérique proposés dans cette étude montrent l'étendue et la diversité des thèmes liés à la navigation, qui sont ainsi rendus accessibles au grand public par la réalisation de contenus multimédia pour des tablettes tactiles, des téléphones portables ou des casques de réalité virtuelle. Les applications informatiques donnent à voir, de manière simple, des savoirs techniques complexes. Des données scientifiques de qualité, produites lors des opérations archéologiques, peuvent être utilisées des dizaines d'années plus tard et peuvent être encore approfondies. En effet, les productions virtuelles autorisent plusieurs hypothèses de restitution pour n'en conserver que les plus pertinentes. Au-delà, par la construction de répliques navigantes, l'archéologie expérimentale permet de revenir au réel et de mettre en pratique les hypothèses numériques en ayant déjà éliminé les options non fonctionnelles. Ainsi l'université de Trèves, sous la direction du professeur Christoph Schäfer, a intégré l'hypothèse de restitution du gouvernail des Laurons dans la réplique navigante de ce bateau appelée *Bissula*⁴⁶ (fig. 26) et qui actuellement fait l'objet de tests de navigation sur la Moselle⁴⁷.

Fig. 26



Trèves (Allemagne), *Bissula*, réplique navigante de l'épave 2 des Laurons baptisée *Bissula*
F. Paul © Edikom

- 34 Ces retours d'expérience serviront certainement à améliorer le modèle 3D, la représentation des techniques d'accroche et l'utilisation pratique du gouvernail. En particulier, l'orientation et la longueur du *clavus*⁴⁸ font encore débat et restent à valider. Le processus idéal consiste à s'appuyer sur les vestiges pour proposer les restitutions 3D puis de soumettre ces restitutions à l'expérimentation réelle pour alimenter les correctifs nécessaires au modèle virtuel de façon à ce que virtuel et réel puissent s'alimenter l'un l'autre pour arriver au meilleur compromis scientifique possible.

BIBLIOGRAPHIE

BONNEFOUX, baron de, Pierre Marie Joseph et PÂRIS, Edmond. *Le dictionnaire de la marine à voile*, Paris : édition René Baudoin, 1980.

BASCH, Lucien. *Le musée imaginaire de la marine antique*. Athènes, 1987.

BOETTO, Giulia. L'épave de l'Antiquité tardive Fiumicino 1 : analyse de la structure et étude fonctionnelle. *Archæonautica : L'archéologie maritime et navale de la Préhistoire à l'époque contemporaine* 2008, N° 15, p. 29-62.

- CARRE, Marie-Brigitte et JÉZÉGOU, Marie-Pierre. Pompes à chapelets sur des navires de l'Antiquité et du début du Moyen Âge. *Archæonautica*, 1984, N° 4, p. 115-143.
- CAVALIER, Odile. *La scène de halage de Cabrières-d'Aigues*. Avignon : Fondation Calvet, 2008.
- CHEVALIER, Yves et SANTAMARIA, Claude. L'épave de l'anse Gerbal à Port-Vendres, In *Hommage à Fernand Benoît*, Bordighera, 1972, t. 5, p. 7-32.
- DIONISO, Francesca. La navigazione fluviale sul Tevere in area Pontina : per una nuova interpretazione del termine *viator*. In DRAGO TROCOLI, Luciana. *Il Lazio dai Colli Albani ai Monti Lepini tra preistoria ed età moderna*. Rome : Quasar, 2009.
- GASSEND, Jean-Marie ; LOU, Bernard ; XIMENES, Serge. L'épave 2 de l'anse des Laurons (Martigues, Bouches-du-Rhône). *Archæonautica*, 1984, N° 4, p. 75-105.
- GASSEND, Jean-Marie. L'apport des découvertes des vestiges antiques du navire des Laurons à la restitution d'une épave antique. In RIETH, Éric (dir.). *Méditerranée antique, Pêche, navigation, commerce*. Paris : Éditions du CTHS, 1998, p. 197-201.
- JÉZÉGOU, Marie-Pierre et DESCAMPS, Cyr. Les vestiges du système de gouvernail découverts sur l'épave de la Mirande. In RIETH, Éric Rieth (dir.). *Méditerranée antique, Pêche, navigation, commerce*. Paris : Éditions du CTHS, 1998, p. 189-196.
- JÉZÉGOU, Marie-Pierre ; HUET, Nathalie ; GASSEND, Jean-Marie ; LE CORRE, Gildas ; MUSARD, Olivier ; MAGENTI, Victoria ; SALVAT, Michel ; BONNARDOT, Martin Luc ; VILLEVIEILLE, Samuel ; PAUL, Fabrice. « Heur et malheur d'une épave d'époque romaine découverte à Port-Vendres (Pyrénées-Orientales) », *Patrimoines du Sud*, 2017, N° 6.
- LAROUSSE, Pierre. *Grand dictionnaire universel du XIX^e siècle* en quinze volumes, vol. 9. Paris, 1872.
- LE GALL, Joël. *Le Tibre, fleuve de Rome dans l'Antiquité*. Paris : PUF, 1953.
- LIOU, Bernard. L'épave romaine de l'anse Gerbal à Port-Vendres. *Compte-rendu de l'Académie des Inscriptions et belles-Lettres*, 1974, p. 414-433.
- MARLIER, Sabrina et POVEDA, Pierre. Présentation et analyse du système mécanique. In MARLIER, Sabrina (dir.). *Archæonautica : Arles-Rhône 3. Un chaland gallo-romain du I^{er} siècle après Jésus-Christ*. 2014, N° 18, p. 209-216.
- NANTET, Emmanuel. Le gouvernail antique : bilan et perspectives. *Academia* [en ligne]. Sur https://www.academia.edu/29811699/Le_gouvernail_antique_bilan_et_perspectives
- OERTLING, Thomas. The Chain-pump: an 18th example. *International Journal of Nautical Archaeology*, 1982, N° 11, p. 113-124.
- POMEY, Patrice et TCHERNIA, André. Le tonnage maximum des navires de commerce romains. *Archæonautica*, 1978, N° 2, p. 233-251.
- RAEPSAET, Georges. *Mola Asinaria. L'helcium et la traction attelée du moulin « pompéien »*. À propos du moulin de Marcus Careius Asisa à Narbonne. *Revue Archéologique de Narbonnaise*, 2017-2018, p. 50-51.
- RIETH, Éric. *Des bateaux et des fleuves*. Paris, Errance, 1998.
- ROSSIAUD, Jacques. *Dictionnaire du Rhône médiéval*. Paris : Aubier, 2002.
- ROSSIAUD, Jacques. *Le Rhône au Moyen-Âge*. Paris : Flammarion, 2007.

SCAFOGLIO, Giampiero. Ausone et sa petite élève. L'idée de l'intégration culturelle dans la *Bissula*. In : WOLFFE, Étienne (dir.) *Ausone en 2015 : bilan et nouvelles perspectives*. (Collection des études augustiniennes, série 204), Paris, 2018.

VERNOU, Christian et DEYTS, Simone. Transport et commerce en Gaule du Nord-Est. *Dossiers d'Archéologie*, mai/juin 2015, n° 369, p. 40-45.

NOTES

1. - Durant les 60 dernières années, l'archéologie sous-marine a fourni un abondant corpus d'épaves, notamment pour la période antique. Sur le littoral d'Occitanie, les concentrations les plus importantes sont : Port-Vendres, Agde, Sète et Frontignan. D'autres découvertes ont eu lieu à l'occasion de fouilles terrestres dans des zones anciennement humides et aujourd'hui atterries comme c'est le cas près de Narbonne avec l'épave de Mandirac.
2. - Mandirac 1 par Marie-Pierre Jézégou (2014 et 2015) ; Laurons 2 (1978-1981) et Port-Vendres 1 (1973 et 1974) par Jean-Marie Gassend (avec une courte intervention durant l'hiver 1964-1965 sous la direction conjointe d'Yves Chevalier et Claude Santamaria).
3. - Edikom.
4. - Sous la direction conjointe du CNRS (ASM-UMR 5140, Corinne Sanchez) et du DRASSM (ministère de la Culture, Marie-Pierre Jézégou) avec le soutien financier de la Région Occitanie et du LabEx ArcHiMede.
5. - Le massif d'emplanture est disposé longitudinalement dans l'axe du bateau, à l'avant afin de recevoir le pied du mât.
6. - MARLIER, 2014, p. 211.
7. - Les traces d'encastrement du massif d'emplanture visibles sur les membrures ont permis de reconnaître sa position.
8. - RIETH, 1998, p. 106.
9. - Larousse, 1872, p. 26.
10. - ROSSIAUD, 2002, p. 194.
11. - Par exemple celle figurée sur le cippe daté de la fin du III^e siècle ou du début du IV^e siècle et conservé au Palazzo Massimo (musée national romain) à Rome : LE GALL, 1953.
12. - Le monument funéraire d'Igel (Trèves) daté du III^e siècle : VERNOU, 2015, p. 44 ; CAVALIER, 2008, p. 49 ou le relief de Neumagen, vers 220 : CAVALIER, 2008, p. 50 ; DIOSONO, 2009, p. 471.
13. - Conservé au musée Calvet d'Avignon.
14. - Musée du Louvre : CAVALIER, 2008, p. 51 ; DIOSONO, 2009, p. 470 ; ou la reproduction par Pierre Bourdic (connu 1684-1711) dans les Jardins des Tuileries.
15. - Plusieurs exemples chez RAEPSAET, 2017-2018, p. 360.
16. - HOSIUS, 1926, p. 117 cité par DIOSONO, 2009, p. 471.
17. - ROSSIAUD, 2007, p. 216.
18. - ROSSIAUD, 2007.
19. - Appelé aussi « bricole » comme par exemple sur la scène de halage sur le canal du Loing à Saint-Mammès représentée par Émile Tilly (1837-1919) : RAEPSAET, 2017-2018, p. 362 ou sur les dessins à la sanguine de Victor Prouve (1858-1943).
20. - ROSSIAUD, 2007, p. 215.
21. - L'Antiquité ne connaît pas le gouvernail d'étambot qui n'apparaît en Méditerranée qu'à la fin du Moyen Âge.
22. - Comme sur la fresque représentant l'Isis Geminiana, fin du II^e siècle ou début du III^e siècle, provenant de la nécropole Laurentine à Ostie ; BASCH, 1987, p. 468. Ou encore sur le cippe daté de

la fin du III^e siècle ou du début du IV^e siècle et conservé au Palazzo Massimo (musée national romain) à Rome : BOETTO, 2008, p. 54.

23. - Comme sur les reliefs d'Igel et de Neumagen ou sur celui de Cabrières d'Aigues.

24. - Comme sur la plinthe de la statue du Tibre ou sur la stèle de Blussus datée du I^{er} siècle et conservée à Mayence ; VERNOU, 2015, p. 43.

25. - ROSSIAUD, 2007, p. 217-219.

26. - RIETH, 1998, p. 107.

27. - En effet, nous connaissons, pour chaque type, la nature du produit transporté (soit par comparaisons avec des exemples tirés d'autres sites, soit par des analyses chimiques), sa densité et le volume du contenant.

28. - LE GALL, 1953.

29. - Cf. note 12 *supra*.

30. - Cf. *supra* et note 26 : 1,5 t x 5 = 7,5 t mais le débit de l'Aude est moins puissant que celui du Rhône.

31. - Descente d'un cours d'eau porté par le courant.

32. - cf. le sarcophage de Copenhague ou le navire à livarde sur un relief funéraire de Thessalonique

33. - GASSEND, 1984, p. 76.

34. - Sept bateaux ont fait naufrage en même temps dans l'anse des Laurons.

35. - Nom commun du *teredo navalis*, un bivalve marin xylophage.

36. - GASSEND, 1998, p. 199.

37. - Sur le tonnage des plus gros navires de l'époque romaine : POMEY, 1978, p. 250.

38. - Cf. un des bas-reliefs du sarcophage de Sidon ; BASCH, 1987, p. 463.

39. - Sous la direction d'Yves Chevalier et Claude Santamaria : CHEVALIER, 1972, p. 7-32.

40. - Sous la direction de Jean-Marie Gassend : LIOU, 1974, p. 414-433.

41. - Sur les fouilles et la mise en valeur de cette épave, cf. LIOU, 1974 ; JÉZÉGOU, 2017. Cette histoire est également racontée en images sur le site du Parc marin du golfe du Lion.

42. - LIOU, 1974, p. 428.

43. - CARRE, 1984, p. 115-143.

44. - OERTLING, 1982, p. 113-124.

45. - CARRE, 1984, p. 118-120.

46. - Du nom de la jeune esclave suève offerte au poète Ausone par l'empereur Valentinien en 368 : SCAFOGLIO, 2018, p. 217.

47. - En attendant leur prochaine venue en Méditerranée, il est possible de visualiser sur leur site internet une vidéo qui montre l'utilisation d'un casque de réalité augmentée pour contrôler la reconstruction du bateau. Les charpentiers peuvent ainsi confronter en direct le modèle numérique et la réplique en construction.

48. - Nom de la barre de gouvernail que le timonier a entre les mains. Une seule barre de gouvernail a été découverte sur des épaves antiques. Il s'agit de l'épave *Port-Vendres 5* : JÉZÉGOU, 1998, p. 189-196.

RÉSUMÉS

Les épaves de navires, au-delà de leurs qualités nautiques et de leurs capacités de transport, recèlent un ensemble de savoirs technologiques que l'outil numérique et la 3D donnent à voir et à comprendre. Nous nous appuyons sur trois exemples traitant d'épaves méditerranéennes de l'Antiquité pour illustrer notre propos. L'enregistrement photogrammétrique des vestiges de l'épave *Mandirac 1* et les relevés en coupe permettent de restituer le plan de forme du navire malgré les déformations inhérentes à son enfouissement. Puis des hypothèses de restitution du gréement et du mode de propulsion de l'embarcation sont proposées, à partir des représentations iconographiques, afin de mieux appréhender les superstructures rarement préservées. L'épave *Laurons 2* a permis, à l'aide de restitutions 3D, de comprendre et de faire comprendre le mode de fonctionnement du gouvernail latéral en usage à l'époque romaine. Enfin des images de réalité virtuelle illustrent le mécanisme des pompes de cale ou encore l'utilisation d'un prélat pour étancher des entrées d'eau à propos de l'épave *Port-Vendres 1*.

Shipwrecks, beyond their nautical qualities and their transport capacities, contain a body of technological knowledge that digital tools and 3D make it possible to show and understand. We will use three examples of ancient Mediterranean shipwrecks to illustrate our point. The photogrammetric recording of the remains of the *Mandirac 1* wreck and the cross-sectional surveys allow us to reconstruct the shape of the ship despite the deformations inherent in its burial. Hypotheses for the reconstruction of the rigging and the mode of propulsion of the boat are then proposed, based on the iconographic representations, in order to better understand the rarely preserved superstructures. The wreck of *Laurons 2* has provided 3D reconstructions of the lateral rudder in use during the Roman period, allowing us to understand how it worked. Finally, virtual reality images illustrate the mechanism of the bilge pumps or the use of a tarpaulin to block water inlets in the wreck *Port-Vendres 1*.

INDEX

Index géographique : Port-Vendres, Narbonne, Martigues, Aude, Bouches-du-Rhône, Pyrénées-Orientales

Mots-clés : archéologie navale, navigation, Antiquité romaine, multimédia, réalité virtuelle

Keywords : naval archaeology, sailing, Roman antiquity, multimedia, virtual reality

AUTEURS

MARIE-PIERRE JÉZÉGOU

Ingénieure d'études au département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM)

FABRICE PAUL

Société Edikom

JEAN-MARIE GASSEND

Architecte DPLG