

numéro

21

*Revue d'***HISTOIRE**  
**MARITIME**

Histoire maritime  
Outre-mer  
Relations internationales

*Les nouveaux enjeux  
de l'archéologie sous-marine*

**Tiré à part**

**I-2. Alexandra Grille – 979-10-231-1262-7**





*Revue d'***HISTOIRE  
MARITIME**

n° 21 • 2015/2

Les PUPS, désormais SUP, sont un service général  
de la faculté des Lettres de Sorbonne Université.

© Presses de l'université Paris-Sorbonne, 2015

© Sorbonne Université Presses, 2020

ISBN PAPIER : 979-10-231-0502-5

ISBN PDF COMPLET : 979-10-231-1255-9

TIRÉS À PART EN PDF :

- I-1. Marie-Yvane Daire *et al.* – 979-10-231-1256-6
  - I-1. Michel L'Hour – 979-10-231-1257-3
  - I-1. Christophe Cérino – 979-10-231-1258-0
  - I-1. Blair Atcheson *et al.* – 979-10-231-1259-7
- I-2. Vincent Dumas *et al.* – 979-10-231-1260-3
  - I-2. Pierre Poveda – 979-10-231-1261-0
  - I-2. Alexandra Grille – 979-10-231-1262-7
- I-3. Emmanuel Nantet – 979-10-231-1263-4
  - I-3. Gaëlle Dieulefet – 979-10-231-1264-1
  - I-3. Jerzy Gawronski – 979-10-231-1265-8
- I. Gérard Le Bouëdec – 979-10-231-1266-5
  - I. Glossaire – 979-10-231-1267-2
  - II. Antoine Rivault – 979-10-231-1268-9
  - II. Claire Boër – 979-10-231-1269-6
  - II. Olivier Lopez – 979-10-231-1270-2
- II. Irina Tsitocitch-Kozlova – 979-10-231-1271-9
  - II. Pierre Caillousse – 979-10-231-1272-6
  - II. Raphaël Ramos – 979-10-231-1273-3
- II. Jean-Baptiste Blain – 979-10-231-1274-0
- Varia.* Laura Le Goff, Catherine Dupont – 979-10-231-1275-7
  - Varia.* Pierre Le Bot – 979-10-231-1276-4
  - Varia.* Guillemette Crouzet – 979-10-231-1277-1
  - Varia.* Jean-Marie Kowalski – 979-10-231-1278-8
- Chronique, position de thèse – 979-10-231-1279-5
- Comptes rendus – 979-10-231-1280-1

Maquette et réalisation : Compo Meca Publishing (64990 Mouguerre)  
d'après le graphisme de Patrick Van Dieren  
Versions PDF : 3d2s (Paris)

SUP

Maison de la Recherche  
Sorbonne Université  
28, rue Serpente  
75006 Paris

tél. : (33)(0)1 53 10 57 60

fax : (33)(0)1 53 10 57 66

sup@sorbonne-universite.fr  
<https://sup.sorbonne-universite.fr>

## SOMMAIRE

Avant-propos .....7

### Éditorial

Jean-Pierre Poussou .....9

### I. DOSSIER

## LES NOUVEAUX ENJEUX DE L'ARCHÉOLOGIE SOUS-MARINE

Les nouveaux enjeux de l'archéologie sous-marine

Christophe Cérino, Michel L'Hour, Éric Rieth ..... 15

### LES NOUVELLES PROBLÉMATIQUES DE LA RECHERCHE

Les apports de l'archéologie subaquatique au projet européen « *Arch-Manche* »

Marie-Yvane Daire, Catherine Dupont, Loïc Langouët, Laetitia Le Ru, Grégor Marchand,  
Chloé Martin, Garry Momber, Pau Olmos, Julie Satchell, Lauren Tidbury ..... 21

De la mer à la *Lune* : la longue marche des archéologues sous-marins français vers  
les abysses

Michel L'Hour .....45

Les épaves de la Bataille de l'Atlantique au Pays de Lorient : enjeux scientifiques,  
patrimoniaux et de valorisation

Christophe Cérino .....67

Retour en Normandie : prospections archéologiques de l'*US Navy* sur la flotte  
immergée de l'Opération *Neptune*

Blair Atcheson, Robert Neyland, Alexis Catsambis .....85

### LES NOUVELLES TECHNOLOGIES AU SERVICE DE LA RECHERCHE SUBAQUATIQUE

Application de la photogrammétrie en archéologie navale

Vincent Dumas, Philippe Groscaux †, Giulia Boetto ..... 127

Méthode de restitution des navires antiques : nouveaux outils et nouvelles analyses des restitutions en archéologie navale Pierre Poveda .....	157
---	-----

L'épave de l'Aber Wrac'h 1 : entre tradition (maquette) et innovation (3D) Alexandra Grille .....	181
--	-----

#### LES NOUVEAUX ENJEUX DE VALORISATION DE LA RECHERCHE

Le gouvernail antique : bilan et perspectives Emmanuel Nantet .....	197
--	-----

Échanges maritimes et culture matérielle : une approche par l'analyse des mouillages et des céramiques, xv <sup>e</sup> -xviii <sup>e</sup> siècles Gaëlle Dieulefet .....	207
---	-----

4 Navires et villes en archéologie maritime : le navire de la <i>VOC Amsterdam</i> et l'archéologie biographique de la ville d'Amsterdam au xviii <sup>e</sup> siècle Jerzy Gawronski .....	231
--	-----

#### CONCLUSIONS

Synthèse de la table ronde interdisciplinaire du 15 avril 2014 : « Archéologie sous-marine, histoire et patrimoine maritime : les nouveaux enjeux de la recherche » Gérard Le Bouëdec .....	263
--	-----

Glossaire Éric Rieth .....	267
-------------------------------	-----

#### II

### PRÉSENTATION DE LEURS RECHERCHES PAR LES DOCTORANTS EN HISTOIRE MARITIME (LORIENT, JUIN 2014)

Le duc d'Étampes et la Bretagne : être gouverneur d'une province maritime au xv <sup>e</sup> siècle (1543-1565) Antoine Rivault .....	281
--	-----

Entre terre et mer : cadre de vie, culture matérielle et destins de marins provençaux au xviii <sup>e</sup> siècle Claire Boër .....	293
---	-----

Travailler chez l'autre, vivre avec ? En Barbarie avec les employés de la Compagnie royale d'Afrique au xviii <sup>e</sup> siècle Olivier Lopez .....	307
--	-----

La présence russe dans le Pacifique Sud sous le règne du tsar Alexandre I <sup>er</sup> (1801-1825) Irina Tsitovitch-Kozlova .....	319
La transformation des littoraux de la pointe du Médoc de la fin du xvi <sup>e</sup> au milieu du xix <sup>e</sup> siècle: problématique, sources et méthodes d'analyse Pierre Caillosse .....	329
La Marine américaine et la réorganisation du renseignement au lendemain de la Seconde Guerre mondiale Raphaël Ramos .....	343
Les <i>U-Boot-Bunker</i> construits dans les villes portuaires françaises de la côte atlantique: des lieux aux multiples fonctionnalités (1940-2010) Jean-Baptiste Blain .....	357

III  
VARIA

L'exploitation des ressources marines par les populations médiévales: un premier bilan des coquillages découverts en contexte archéologique entre Manche et Garonne Laura Le Goff, Catherine Dupont .....	367
« Beaucoup de mal et peu d'honneur » : la Marine royale en guerre contre Tunis et Tripoli (1727-1729) Pierre Le Bot .....	389
« Boutres tricolores, boutres de discorde » : Britanniques et Français en Oman et dans le nord de l'océan Indien à la fin du xix <sup>e</sup> siècle Guillemette Crouzet .....	407
D'une rive de la rade de Brest à l'autre, une nouvelle École navale pour une nouvelle Marine Jean-Marie Kowalski .....	435

IV  
CHRONIQUE

Jean Boudriot (1921-2015) .....	463
Paul Butel (1931-2015) .....	465
Entre tradition et innovation: itinéraire d'un marin, Edmond Pâris (1806-1893) Position de thèse de Géraldine Barron-Fortier .....	471

v  
COMPTES RENDUS

Jean-François Henry, <i>L'île d'Yeu dans la Grande Guerre. Chronique de la vie quotidienne</i> .....	477
Alain Blondy (avec la collaboration de Jean Bérenger), <i>Documents consulaires : Lettres reçues par le chargé d'affaires du Roi à Malte au XVIII<sup>e</sup> siècle</i> .....	479
Christian Borde et Christian Pfister (dir.), <i>Histoire navale, histoire maritime. Mélanges offerts à Patrick Villiers</i> .....	481
Jean de Préneuf, Éric Grove et Andrew Lambert (dir.), <i>Entre terre et mer. L'occupation militaire des espaces maritimes et littoraux</i> .....	484



## AVANT-PROPOS

L'ampleur de ce numéro 21, son caractère largement technique et en même temps innovant sont le fruit de la collaboration des partenaires habituels de notre revue – la Fédération d'histoire et d'archéologie maritimes de l'université Paris-Sorbonne, l'UMR CNRS 6258 CERHIO (Université de Bretagne Sud) et le GIS d'histoire maritime –, avec le Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM) du ministère de la Culture. Le soutien de celui-ci, qui est venu s'ajouter à nos financements ordinaires, a permis de doter ce numéro 21 d'une illustration en couleur exceptionnellement riche. Nous lui exprimons notre très vive gratitude et nous nous réjouissons de cette collaboration dont le but est le bien commun de nos deux très proches disciplines, l'histoire maritime et l'archéologie sous-marine. Nous tenons aussi à remercier nos collègues Philippe Jarnoux et Pierrick Pourchasse (EA CRBC) pour avoir pris en charge la coordination des échanges avec le Bureau de traduction universitaire de l'université de Brest qui a assuré les conversions de l'anglais vers le français.



## ÉDITORIAL

*Jean-Pierre Poussou*

Le numéro 21 de la *Revue d'histoire maritime* constitue l'un des plus fournis, par son volume, que notre revue ait publié depuis sa création. Cela tient tout d'abord à l'ampleur du dossier principal : « Les nouveaux enjeux de l'archéologie sous-marine », dû à l'initiative de Christophe Cérino, dossier qu'il a rassemblé en collaboration avec Michel L'Hour et Éric Rieth. Il s'agissait de répondre à un double enjeu : d'une part, faire mieux connaître aux historiens du maritime les considérables progrès et les importants résultats obtenus depuis une génération par l'archéologie sous-marine, champ de recherche en plein développement ; d'autre part, rapprocher deux démarches disciplinaires : celles de l'histoire et de l'archéologie sous-marine, voisines mais relativement peu liées, alors que les plans de rencontre sont plus nombreux qu'on ne le croit, comme le montre, par exemple, dans ce numéro 21, le remarquable texte de Jerzy Gawronski. C'était d'autant plus nécessaire que les manières d'explorer le maritime et son histoire, les sources utilisées, plus encore les manières d'écrire des uns et des autres sont dissemblables. Il est certain, en particulier, que le vocabulaire des archéologues sous-marins est peu familier des historiens, tant il est fourni en termes particuliers et techniques, au point qu'il nous a fallu rajouter au dossier un volumineux glossaire qui devrait rendre de grands services aux historiens du maritime, ainsi qu'à tous ceux qui s'intéressent à l'archéologie sous-marine, et pour lequel il faut fortement remercier Éric Rieth. Nos lecteurs seront donc aux prises avec des textes d'une technicité inhabituelle pour eux, mais cela en valait la peine, et l'on verra que la démarche impulsée par deux colloques successifs, tenus à Lorient en 2009 et 2014, et dont ce numéro est l'aboutissement, a tenu toutes ses promesses.

Trois directions ont été choisies. Au départ, nous avons les « nouvelles problématiques de la recherche archéologique sous-marine » dont la première caractéristique est de souligner l'originalité de ses buts : ici analyse des changements côtiers (Marie-Yvane Daire et son équipe), puis prospection et étude des épaves à grande profondeur (Michel L'Hour, Christophe Cérino,

Robert Neyland et collaborateurs<sup>1</sup>). L'analyse grâce à l'archéologie subaquatique des changements côtiers a des perspectives pluridisciplinaires riches d'avenir puisque, dans le cadre du projet européen *Arch-Manche*, à la fois elle fait connaître les effets des changements climatiques survenus sur nos côtes sur le temps long de l'Holocène, et elle aboutit à l'étude de sites archéologiques aujourd'hui submergés, les résultats étant spectaculaires pour le Solent et pour la presqu'île de Quiberon. Ainsi revivent les paysages mésolithiques côtiers submergés (Marie-Yvane Daire *et al.*).

10

Ce sont aux épaves maritimes, conservées à de grande profondeur, que sont consacrés les trois autres textes inclus dans cette première partie du dossier. Tout en axant son propos sur le chantier-laboratoire du vaisseau à deux ponts, la *Lune*, « ce précieux témoin de la première Marine de Louis XIV » englouti depuis 1664 en rade de Toulon, à 91 mètres de profondeur, Michel L'Hour saisit cette occasion pour nous retracer les étapes de la conquête des abysses par les archéologues sous-marins français, ce qui fait de cet article un texte de référence historiographique très précieux. Mais, l'une des avancées récentes a été l'intérêt porté aux épaves métalliques contemporaines, ce qui nous situe dans un autre domaine que celui de la *Lune*, et ce qui soulève d'autres problèmes et difficultés qu'exposent les textes signés par Christophe Cérino et Robert Neyland. Les démarches et moyens d'investigation ne sont plus du tout les mêmes : il faut posséder une très bonne connaissance des matériels et armements utilisés pendant la Seconde Guerre mondiale, mais aussi des opérations de guerre ; il est nécessaire, par ailleurs, de disposer de gros moyens financiers et matériels vu le nombre des bunkers et autres édifices liés au mur de l'Atlantique ou à la mise en défense des installations allemandes, et étant donné également l'étendue du champ à couvrir dans le cadre de l'opération *Overlord*. Pour celle-ci, le rôle du *Naval History and Heritage Command* a donc été essentiel. Les résultats étonneront, mais il nous faut également prendre en considération que cette sauvegarde du patrimoine sous-marin hérité des combats de la fin de la guerre de 1940-1945 peut déboucher sur des conséquences historiques considérables non seulement grâce à la publication des recherches qui y sont liées, mais aussi parce que, comme cela s'est passé au pays de Lorient – et Christophe Cérino y a pris une grande part –, le débouché de ces travaux est la création d'espaces muséographiques.

Il a été beaucoup question dans ces premiers textes des technologies, notamment récentes, et de leur si fécond apport aux recherches sous-marines. C'est à les étudier plus en détail que nous invite la deuxième partie du dossier.

---

1 Ce sont Blair Atcheson et Alexis Catsambis. Ce n'est que par commodité que nous ne citons dans cet éditorial que Robert Neyland car c'est avec lui que nous avons été en contact.

La photogrammétrie numérique en est un élément essentiel car elle permet d'établir « une documentation graphique normalisée et objective devant servir de support à l'élaboration des différentes hypothèses d'une recherche mise en œuvre en Croatie (Vincent Dumas, le regretté Philippe Groscaux, et Giulia Boetto). Très technique, l'article montre à quel point « l'utilisation de la photogrammétrie numérique et des autres procédés d'acquisition 3D » est « une évolution majeure des méthodes de relevé », le but étant aussi d'aboutir à la reconstitution des navires ou marques, ce à quoi est consacré le texte suivant de Pierre Poveda, qui fait partie de la même unité CNRS que les précédents auteurs. P. Poveda s'est attaché à la « restitution des navires antiques par de nouveaux outils et nouvelles analyses ». Le but de ces travaux est à la fois de reconstituer ces navires mais aussi, grâce à cette démarche, d'atteindre la « quantité fabuleuse de savoirs », qu'ils représentent, sans oublier les cargaisons. Depuis une quinzaine d'années, les recherches ont pu aller beaucoup plus loin grâce à « la place de plus en plus importante prise par l'outil informatique ». C'est justement, cette fois de manière concrète, à une reconstitution que s'est attaquée Alexandra Grille à propos de l'épave de l'*Aber Wrac'h I* – 18 m de long sur 5 de large –, découverte en 1985 ; le modèle numérique a permis « d'analyser la séquence de construction après la reconstitution des pièces architecturales individuelles, et de réaliser les calculs des propriétés hydrostatiques ».

La troisième partie du dossier s'attache, par trois exemples, à montrer ce que peut apporter la valorisation de la recherche sous-marine. Ce sont « les nouveaux enjeux » de cette valorisation. Dans un cas, avec Emmanuel Nantet, le but a été de reprendre la célèbre question du gouvernail antique. Notre auteur montre qu'on ne peut pas le considérer de manière simplement négative, en le définissant comme un instrument très inférieur au gouvernail d'étambot, comme on l'a trop fait : les fouilles sous-marines amènent à la conclusion qu'il n'était nullement figé et surtout qu'on ne peut comprendre son fonctionnement et apprécier celui-ci que dans le cadre général du navire dont il n'est qu'un élément. Pour sa part, Gaëlle Dieulefet a étudié des sites de mouillage méditerranéens des xv<sup>e</sup>-xviii<sup>e</sup> siècles car ils sont « les témoins des mouvements maritimes et des navires de passage », et sont plus particulièrement riches en céramiques. Non seulement les productions sont variées mais en outre elles permettent de découvrir, en plus des courants d'échanges, des pratiques culinaires et de préparation des aliments, ce qui débouche sur des approches très nouvelles. Encore plus spectaculaire est la recherche menée par Jerzy Gawronski sur l'*Amsterdam*, navire de la Compagnie hollandaise des Indes Orientales – ou VOC – qui s'échoua sur la côte anglaise, près d'Hastings, lors de son voyage inaugural, en 1749. L'article, d'un intérêt exceptionnel, dont une large partie se consacre à des aperçus méthodologiques essentiels, montre comment l'étude

de cette épave n'apporte pas seulement des données sur le navire lui-même mais sur sa cargaison, et par là sur « l'économie et la production urbaines » de la ville d'Amsterdam à cette époque. L'archéologie sous-marine permet ainsi de déboucher sur l'histoire économique, industrielle (la construction navale mais aussi les produits emportés) et même sociale du grand port hollandais, ce qui est fascinant. Une synthèse conclusive de Gérard Le Bouëdec permet de replacer l'ensemble dans son contexte et de mieux en apprécier la richesse.

12

Le caractère novateur du dossier qui expose les récentes avancées de l'archéologie sous-marine est prolongé aussi bien par l'ensemble du deuxième dossier – la présentation de leurs recherches par sept doctorants – que par les quatre articles de *Varia*. Deux des textes se rapportent encore à l'archéologie maritime, qu'il s'agisse de la transformation des littoraux de la pointe du Médoc de la fin du XVI<sup>e</sup> au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle (Pierre Caillosse), ou de l'étude des coquillages découverts en contexte archéologique entre Manche et Garonne (Laura Le Goff et Catherine Dupont). Mais nous en sommes très loin lorsqu'il s'agit du rôle de la Marine dans la réorganisation du renseignement américain après 1945 (Philippe Ramos), des possibilités offertes par l'utilisation des *U-Boot-Bunkers* construits par les Allemands dans les villes portuaires françaises de la côte atlantique et de l'évolution de celle-ci (Jean-Baptiste Blain), ou de la présence russe dans le Pacifique Sud sous Alexandre I<sup>er</sup> (Irina Tsitovitch-Kozlova), sans oublier le conflit franco-anglais à propos des boutres « tricolores » en mer d'Oman et dans le nord de l'océan Indien à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (Guillemette Crouzet). Les rapports avec la « Barbarie » au XVIII<sup>e</sup> siècle sont abordés par deux textes, l'un consacré aux conditions de vie, de l'autre côté de la Méditerranée, des employés de la Compagnie d'Afrique (Olivier Lopez), l'autre aux opérations militaires contre Tunis et Tripoli entre 1727 et 1729 (Pierre Le Bot). Nous restons au XVIII<sup>e</sup> siècle avec Claire Boër, qui analyse les conditions de vie des marins provençaux au XVIII<sup>e</sup> siècle, cependant qu'Antoine Rivault montre la complexité, au milieu du XVI<sup>e</sup> siècle, du rôle de gouverneur d'une province maritime, la Bretagne, à travers l'étude du duc d'Étampes qui occupa ce poste de 1543 à 1565. Enfin, Jean-Marie Kowalski met à profit le cinquantenaire de l'inauguration de la nouvelle École navale de Lanvéoc-Poulmic par le général de Gaulle pour nous exposer comment celle-ci a été décidée et construite.

Le numéro est complété, comme de coutume, par les comptes rendus que précèdent la position de thèse de Géraldine Barron-Fortier qui fait revivre la figure de l'amiral Pâris, centrale pour l'histoire de notre Marine nationale dans la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, et le rappel du souvenir de deux grandes figures de l'histoire maritime qui viennent de nous quitter, Jean Boudriot et Paul Butel.

I. DOSSIER

**Les nouveaux enjeux  
de l'archéologie sous-marine**





## LES NOUVEAUX ENJEUX DE L'ARCHÉOLOGIE SOUS-MARINE

*Christophe Cérino, Michel L'Hour, Éric Rieth*

Le dossier principal de ce numéro 21 de la *Revue d'histoire maritime* a été édité avec le soutien du Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM) du ministère de la Culture, de l'UMR CNRS 6258 CERHIO – université de Bretagne sud –, du GIS d'histoire maritime et de la FED (Fédération d'histoire & d'archéologie maritime) – université de Paris IV-Sorbonne. Nous tenons à leur en témoigner notre vive reconnaissance.

Nous tenons également à remercier nos collègues Philippe Jarnoux et Pierrick Pourchasse – EA CRBC – pour avoir pris en charge la coordination des échanges avec le Bureau de traduction universitaire de l'université de Brest qui a assuré les conversions de l'anglais vers le français.

Il est l'aboutissement d'une démarche collective menée pendant plusieurs années. En juin 2009, le DRASSM du ministère de la Culture et le Centre de recherche historique de l'ouest – UMR CNRS 6258 CERHIO – ont organisé à l'université de Bretagne-sud un grand colloque international, « Archéologie sous-marine et patrimoine. Des pratiques aux enjeux de médiation », qui a rassemblé une cinquantaine d'archéologues et d'historiens maritimes. Il s'agissait à cette occasion de faire, d'une part, un état des lieux de la recherche en archéologie sous-marine et de ses grands apports scientifiques depuis la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, d'autre part de mieux saisir son articulation avec le concept global de patrimoine<sup>1</sup>. Cinq ans se sont écoulés depuis cette manifestation. Aussi, fidèles aux engagements pris en 2009, nous nous sommes donné cette fois pour objectif de faire le point sur les dernières grandes innovations de la discipline et sur ses nouvelles problématiques de recherche. Le présent numéro de la *Revue d'histoire maritime* s'inscrit en outre dans le prolongement des échanges intervenus lors de la table ronde interdisciplinaire sur « Les nouveaux enjeux de la recherche en archéologie sous-marine », co-organisée à Lorient le 15 avril 2014 par

1 Christophe Cérino, Michel L'Hour, Éric Rieth, *Archéologie sous-marine. Pratiques, patrimoine, médiation*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2013.

le CERHIO et le DRASSM<sup>2</sup>. Publié dans une revue d'histoire, ce numéro thématique consacrée à l'archéologie sous-marine a aussi pour ambition, dans l'esprit d'interdisciplinarité de cette table ronde, de rappeler et de souligner qu'au-delà des méthodes, des techniques, et des problématiques propres à l'étude des « documents papiers » et des vestiges archéologiques sous-marins, il n'existe fondamentalement qu'une même science historique.

16

Depuis ses balbutiements scientifiques, dans les années 1950, jusqu'à nos jours, le chemin parcouru par l'archéologie sous-marine en termes de méthodes de recherche est considérable. À l'aube d'un nouveau siècle, l'ambition portée par les chercheurs n'est pas moins que de s'affranchir des deux contraintes majeures inhérentes au milieu marin et à l'archéologie : difficulté voire impossibilité des interventions humaines en profondeur, et déconstruction généralement irréversible des vestiges étudiés. En conjuguant les progrès technologiques récemment accomplis dans le domaine de l'exploration sous-marine civile ou militaire avec la révolution robotique en marche, il s'agit désormais d'inventer les outils et la méthodologie qui permettront d'explorer les gisements vierges de toutes prédatons et perturbations d'origine anthropique, localisés à plusieurs centaines, sinon plusieurs milliers de mètres de profondeur.

Par ailleurs, le développement des techniques de photogrammétrie numérique sous-marines constitue une avancée majeure pour les relevés infographiques en 2D et 3D. Sans négliger l'extrême rigueur des chaînes procédurales qu'il convient encore pour l'essentiel d'inventer afin de produire des données fiables, ces nouveaux outils numériques ouvrent la voie à des relevés qui permettront de virtualiser les vestiges engloutis. L'enjeu n'est rien moins que d'offrir à l'avenir la possibilité aux archéologues de « jouer et rejouer » en amont de la phase de terrain et dans un environnement numérique immersif les phases cruciales d'une opération de fouille. Considéré autrefois comme relevant d'un rêve inaccessible, cette ambition semble en passe d'être satisfaite, ainsi qu'en témoignent les diverses expérimentations en cours, notamment sur l'épave du vaisseau *Lune*, perdu par 91 mètres de profondeur au large de Toulon. L'archéologue humanoïde capable d'intervenir jusqu'à deux mille mètres de

---

2 Il ne s'agit pas ici de la publication de cette journée, dont Gérard Le Bouëdec rend compte sous la forme d'une synthèse en fin de volume, mais d'un élargissement d'une partie des thèmes qui y furent abordés par Pascal Arnaud (Institut universitaire de France - UMR 5189 HISOMA, Université Lyon II) / Christophe Cérino (UMR 6258 CERHIO, Université de Bretagne-sud) / Franca Cibecchini (DRASSM, ministère de la Culture) / Dominique Frère (UMR 6258 CERHIO, Université de Bretagne-sud) / Jean-Pierre Joncheray (FFESSM) / Gérard Le Bouëdec (DRASSM, ministère de la Culture) / Michel L'Hour (DRASSM, ministère de la Culture) / Sylviane Llinares (UMR 6258 CERHIO, Université de Bretagne-sud) / Éric Rieth (UMR 8589 LAMOP, Université de Paris I – Musée national de la Marine).

fond ne séjourne plus seulement dans l'imaginaire des passionnés de science-fiction : il a déjà commencé sa lente incubation dans les laboratoires...

Au-delà de la création de modèles numériques d'épaves et de l'acquisition de données fiables et pertinentes s'affranchissant des limites de la plongée humaine, l'informatique s'apprête à révolutionner le champ des interprétations comme des stratégies scientifiques en favorisant un questionnement permanent et formateur sur la validité des résultats et la « scénarisation » pour essai des hypothèses de recherche en présence. Par la simulation, il est ainsi possible d'envisager des *scenarii* de chargement de la cargaison et du lest, de mieux appréhender la nature et l'architecture des vestiges disparus, de modéliser et confronter des conceptions de coques, ou d'étudier leurs comportements en navigation au gré de conditions météorologiques diverses... Si les technologies réclament encore d'être améliorées, puisqu'elles ne permettent pas, pour l'heure, de s'affranchir de la réalisation de modèles réels, le transfert des outils informatiques aujourd'hui mobilisés dans les domaines de la construction navale et de l'aéronautique va bouleverser à court terme – n'en doutons pas – le champ méthodologique et le cadre de recherche des archéologues sous-marines de demain.

Outre la robotique et l'informatique, cette ouverture à l'interdisciplinarité de l'archéologie sous-marine permet de renouveler ses propres questionnements sur la formation des dépotoirs portuaires, les conditions de mouillage des navires, les formes de gouvernails, ou encore la reconstruction des réseaux du commerce maritime à différentes périodes. Dans des perspectives diachroniques et pluridisciplinaires, elle peut aussi bien apporter sa contribution scientifique pour chercher à comprendre l'évolution des environnements littoraux au cours des dix mille dernières années que pour intégrer les traces les plus récentes des conflits contemporains, lesquelles constituent autant de mémoires sensibles propres à générer l'émergence de nouveaux enjeux sociétaux, notamment de commémoration. C'est à la découverte de quelques-uns des aspects de ces récentes évolutions de l'archéologie sous-marine que les contributions rassemblées dans ce numéro invitent le lecteur.



*Les nouvelles technologies au service  
de la recherche subaquatique*



## L'ÉPAVE DE L'ABER WRAC'H 1 : ENTRE TRADITION (MAQUETTE) ET INNOVATION (3D)

*Alexandra Grille*

*Université de Paris I, UMR CNRS 8589 LAMOP*

L'épave de l'Aber Wrac'h 1 fut découverte en octobre 1985 dans le nord-ouest de la Bretagne, à proximité de Brest. En 1987 et 1988, deux campagnes de fouilles furent menées par le DRASSM, sous la direction de Michel L'Hour. À partir de 2004, une reconstitution de l'épave fut engagée dans le cadre d'une thèse dirigée par Éric Rieth intégrant la création d'une maquette d'étude pour reconstruire les parties disparues. Celles-ci furent ensuite transférées dans un modèle numérique permettant d'analyser la séquence de construction après la reconstitution des pièces architecturales individuelles, et de réaliser les calculs des propriétés hydrostatiques.

La partie préservée de la coque était longue de 18 m, large de 5 m, et construite principalement en chêne, à l'exception de la quille en hêtre – *Fagus sylvatica*. Un fragment de l'étrave était préservé avec les entailles de trois abouts de bordage. Vingt-quatre virures de bordé disposées à clin étaient en moyenne larges de 23 cm et épaisses de 3 cm. Elles étaient lutées avec de la mousse et rivetées. La charpente transversale dense comprenait des couples mesurant en moyenne 20-25 cm de droit et posés avec une maille de 13 cm. Un vaigrage était essentiellement gournablé et fermé par des accotars. Deux serres additionnelles étaient placées dans la partie supérieure de la coque. La plus haute aidait peut-être à soutenir le bau en M116. Trois têtes de baux traversants furent découvertes en place dans la partie médiane et avant de l'épave. Des défenses en forme de demi-cône étaient positionnées en avant des têtes de baux et pointaient vers l'avant<sup>1</sup>.

Le navire est actuellement daté de la période 1380-1440 par les artefacts découverts : pièces de monnaie et chaussures, ainsi que par une datation

1 Michel L'Hour et Elisabeth Veyrat, « The French medieval clinker wreck from Aber Wrac'h », dans Christer Westerdahl (dir.), *Crossroads in ancient shipbuilding, Proceedings of the Sixth Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde 1991, ISBSA 6*, Oxford, Oxbow Monograph 40, 1994, p. 169-174.

radiocarbone<sup>2</sup>. De nouvelles analyses dendrochronologiques, menées par Nigel Nayling<sup>3</sup> et Catherine Lavier<sup>4</sup> suite à la campagne de fouille 2013, permettront peut-être prochainement de connaître la date et la région d'abattage des bois.

## PROCESSUS DE RECONSTITUTION

Selon Richard Steffy, les objectifs de toute reconstitution de navires peuvent se synthétiser selon cinq axes majeurs : la construction, la conception, la technologie, le chargement, les artefacts, et enfin les personnes. Deux méthodologies de reconstitution se distinguent par l'étendue de leur contribution à l'histoire maritime. La reconstitution « capitale », sous forme de plan de construction ou de formes, apporte une contribution majeure à la construction navale ou à l'histoire maritime et incorpore des procédures de recherche étendues. Il s'agit notamment des projets tels que le *Vasa*, la *Mary Rose*, ou l'épave de *Red Bay M24*. La reconstitution « de contribution », quant à elle, résulte d'épaves moins bien conservées. Elle apporte de nouvelles données mais manque de potentiel pour fournir des contributions à la connaissance des procédés de conception et de construction. Pour les mettre en œuvre, il existe trois types de reconstitution :

182

- graphique : elle se présente sous forme bi-dimensionnelle. Le principal défaut est l'absence de limitations mécaniques et de contrôle physique. Les tensions des courbes peuvent aisément être modifiées sans que les surfaces soient elles-mêmes développables en trois dimensions. « ... [L']expérience et le bon sens sont les seules vérifications pour ces formes. Pour des formes de construction non documentées, ces moyens s'avèrent discutables »<sup>5</sup> ;
- tridimensionnelle : il s'agit d'adjoindre à la reconstitution graphique, une maquette, voire une réplique ou des dispositifs expérimentaux. Elle débouche sur la résolution de problèmes et la reconnaissance de détails. Pour assembler les fragments provenant du site, il est possible d'employer l'outil informatique, mais en adaptant et en paramétrant les matériaux pour appliquer une tension spécifique aux courbes. La seconde option est la réalisation d'une maquette d'étude, en suivant, pour la construction à franc-bord, la séquence suivante : création d'une maquette à partir d'un plan de formes préliminaire, matérialisation des coutures de bordage et prolongation sur les parties non conservées, restitution des virures à partir du brochetage

---

<sup>2</sup> *Ibid*, p. 166

<sup>3</sup> University of Wales, Trinity Saint David.

<sup>4</sup> Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.

<sup>5</sup> Richard Steffy, *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*, College station, Texas A&M University Press, 2012, p. 221.



restitué, et enfin repositionnement des données d'origine. Cette maquette peut être complétée par une reconstitution des fragments afin d'anticiper le réassemblage de pièces conservées qui seront présentées dans un musée, d'une maquette de section pour comprendre l'interaction entre architecture et artefacts ou chargement, et enfin d'une maquette d'exposition proposant au public une vision plus concrète du navire ;

- physique : la construction d'une réplique à l'échelle 1 est un outil permettant de restituer le travail des charpentiers, de tester le gréement, la gouverne et les autres éléments relatifs aux manœuvres par des navigations expérimentales<sup>6</sup>.

Les méthodes de reconstitution diffèrent principalement selon l'état de l'épave. L'analyse précise des données archéologiques et l'évaluation des effets de détérioration, déformation et contraction constituent un point de départ en prenant en compte des solutions alternatives possibles pour résoudre les problèmes tant au niveau des pièces individuelles que de la forme globale de la coque. Cette tâche devrait être préférentiellement dévolue à un groupe interdisciplinaire intégrant archéologues, architectes navals, charpentiers et marins. Dans la plupart des projets de reconstitution, des données exogènes provenant d'autres navires peuvent compléter les parties disparues, mais elles doivent toujours être justifiées et argumentées : « Le terme de reconstitution minimale est aujourd'hui utilisé pour décrire une ou plusieurs reconstitutions basées sur des données de fouille [...] en utilisant des informations comparatives valables pour compléter les parties manquantes sans recourir à des conjectures architecturales, des éléments extérieurs ou des intrusions anachroniques<sup>7</sup> ».

Dans le cas de l'épave Aber Wrac'h 1, l'absence de relevés détaillés des virures rendait impossible la reconstruction à partir des chevillages en recréant les bordages à échelle réduite, comme cela a été mené sur les épaves de Newport (Pays-de-Galles) ou de Barcode 6 (Norvège)<sup>8</sup>. Cette lacune majeure a obligé à trouver des solutions alternatives pour restituer la forme du navire par la membrure avant de recourir aux largeurs de virure. L'ensemble du processus présenté ci-dessous en détaille le fonctionnement. Ce projet a été mené en collaboration avec Pierre Lotodé, charpentier de marine au sein du chantier du GUIP<sup>9</sup>, reconnu pour son

6 *Ibid.*, p. 214-234.

7 Ole Crumlin-Pedersen et Sean McGrail, « Some Principles for the Reconstruction of Ancient Boat Structures », *International Journal of Nautical Archaeology*, vol. 35, 1, 2006, p. 53-57.

8 Nigel Nayling et Toby Jones, « The Newport medieval ship, Wales, United Kingdom », *International Journal of Nautical Archaeology*, vol. 43.2, 2014, p. 265-266. Tori Falk, Inger M. Egenberg et Hilde Vangstad, « Digital documentation for many purposes: the Barcode 6 boat as a case study », dans Colin Breen et Wes Forsythe (dir.), *ACUA underwater archaeology proceedings 2013*, Advisory council on underwater archaeology, 2013, p. 152-153.

9 Le GUIP est une entreprise de charpenterie de marine qui s'est spécialisée dans la restauration ou la reconstruction de navires du Patrimoine. Le GUIP a notamment construit la *Recouvrance* en 1992.

expertise dans la construction traditionnelle en bois, avec les conseils avisés et l'expérience du Dr Fred Hocker, directeur de recherche sur le *Vasa*, et avec l'aide de Philippe Thomey, architecte naval enseignant au sein du DPEA<sup>10</sup> d'architecture navale de l'université de Nantes.

## MODÉLISATION PHYSIQUE

La reconstitution initiale est basée sur la charpente transversale et la quille, puisque le brochetage des bordages n'a pas été relevé. Deux types distincts d'informations étaient disponibles pour les membrures : coupes et dessins à l'échelle 1/1.

184 Chaque couple a été réassemblé suivant les indications du chevillage. Une ligne passant par le chant interne supérieur de chaque virure a été tracée. Regroupée sur un même transversal, elle a servi de base déformée à la création d'un plan de forme de la partie centrale du navire. Ces couples de tracé ont ensuite été soigneusement lissés.

Chacun d'entre eux a, dans un second temps, servi de gabarit pour une maquette en bois à l'échelle 1/10. Le bordé fut reconstitué sur la base de la largeur des virures connue par les relevés des membrures ainsi que par les cotes en développé mesurées dans les mailles depuis la serre VAI6. Le développement et les tensions naturels du bois ont permis de restituer les parties manquantes suivant le principe de construction bordé premier. Afin de déterminer la position de l'avant et de l'arrière du navire, des gabarits d'étrave et d'étambot ont été placés sur un dispositif mobile, verticalement et horizontalement. Ils ont d'abord été disposés dans une position minimale, déterminée par la longueur préservée des bordages, puis déplacés en fonction de leur développé. Cela a permis de déterminer l'élanement de l'étrave et la quête de l'étambot en contrôlant les déformations de la coque. Trois principales itérations ont été nécessaires pour trouver le meilleur équilibre (fig. 1).

## MODÉLISATION NUMÉRIQUE

### Partie conservée du navire

Comme la seconde maquette d'étude était achevée en 2007, la modélisation numérique est apparue comme une solution pour terminer le processus de reconstitution de la forme et vérifier la maquette en reconstruisant chaque pièce architecturale. Un relevé numérique de la maquette fut tenté avec un scanner 3D. La méthode était relativement nouvelle, et le scanner enregistra plus de points que

<sup>10</sup> Diplôme Propre aux Écoles d'Architecture.



Fig. 1. Le modèle physique à son achèvement

les ordinateurs, excepté les stations de travail, ne pouvaient en traiter. Pour réduire la taille du fichier de plus de 4 Go, certains points ont été numériquement retirés sans prendre en considération leur position par rapport aux données nécessaires. Le fichier final était totalement inexploitable, puisque les chants des virures n'étaient pas spécifiquement relevés et impossibles à reconstituer. Le modèle numérique fut créé à partir de la maquette par des mesures manuelles. La face interne de chaque virure fut relevée au niveau des couples réguliers et transférée dans le logiciel *Rhinoceros*. Dès que le bordé fut modélisé, la charpente, le vaigrage et les baux furent reconstruits suivant les données d'origine provenant des sections, des relevés en développé issus des minutes sous-marines et à l'échelle 1/1.

Dans les parties disparues de l'avant et de l'arrière, la modélisation numérique a permis de tester les différentes possibilités et de clarifier le mode de construction. Deux fourcats découverts à l'avant de l'épave ont été replacés dans le modèle numérique en prenant en considération leur acculement et l'angle des entailles de virures, du fait de l'absence de coupes transversales. Ils ont été replacés sur l'étrave : l'un dans les fonds, le second un peu plus haut dans le navire. Comme leur position originelle dans le bateau n'était pas connue, ils n'avaient pas été utilisés dans le processus de reconstitution. Ils ont ainsi permis de valider la maquette physique dans sa partie basse et avant. Le tour des fourcats fut également très utile pour reconstituer les pièces manquantes, puisque seuls les trous de gournables étaient conservés à l'avant. Après avoir replacé ces gournables dans le modèle numérique, il était possible de reconstruire la position approximative et la forme des couples dans cette partie, en utilisant le droit moyen des couples précédents et en centrant l'axe des gournables.

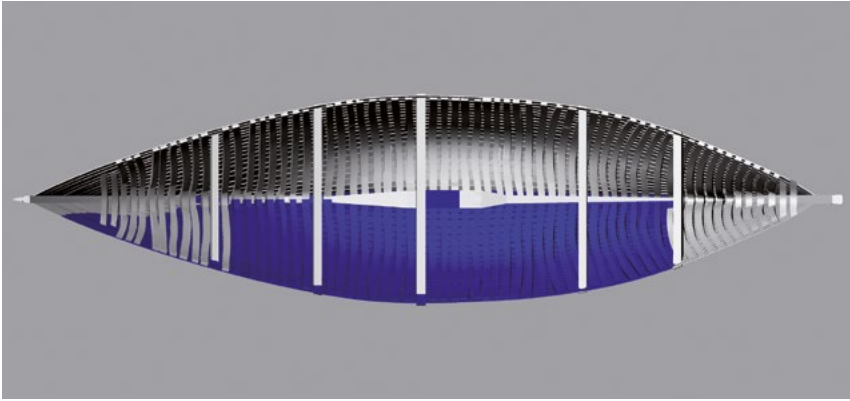


Fig. 2. Reconstitution de l'épave conservée. Les pièces préservées sont en bleu, celles reconstituées en gris

Dans la partie arrière du navire, aucune information n'était préservée. La reconstitution de la charpente est purement hypothétique. Compte tenu de la forme du navire et du processus de construction à la proue, il fut décidé de reconstituer des varangues et allonges comme à l'avant et de maintenir les mêmes mailles et échantillonnages que la charpente transversale conservée. Cela a permis d'obtenir un maximum de précision pour le calcul des propriétés hydrostatiques (fig. 2).

Enfin, la carlingue fut reconstituée en suivant les données provenant des pièces de contrebutement et des pieds des allonges : elle s'arrête lorsque le tour des varangues à l'axe du navire devient trop important.

#### Comparaison entre les pièces modélisées et originales du navire

À l'issue de la modélisation numérique, il semble essentiel de comparer les données d'origine au modèle numérique. On constate que la différence entre le relevé du premier couple à l'avant et le modèle numérique est de seulement 4 cm. Dans la partie médiane et arrière du navire, où les couples étaient très déformés et ployés vers l'extérieur sous l'effet du poids du lest, la différence est d'environ 40 cm. Les angles relevés sur les têtes de bau de la partie médiane et avant, M116, M107 et M98, varient au maximum de 3-4° par rapport au modèle numérique en tournure<sup>11</sup> et ouverture. Enfin, l'angle des abouts de bordage à l'étrave montre une légère différence de 1 à 2° entre les données originales et modélisées, mais les faces interne et externe n'étaient pas bien conservées.

<sup>11</sup> « Courbe de la coque vue de dessus » (Xavier Buhot-Launay, *Construire un bateau en bois*, Douarnenez, Le Chasse-Marée, 1988, p.146). Comme les virures 21 et 23 sont encastrées dans des feuillures des faces inférieure et supérieure des baux, elles indiquent la tournure de la coque à ce niveau.

## Reconstruction des œuvres mortes

La reconstitution des œuvres mortes est prioritairement basée sur les premiers résultats des calculs hydrostatiques pour les œuvres vives conservées. Du fait de la finesse des entrées et sorties d'eau, ainsi que du relativement faible volume de la carène, les œuvres mortes ont fait l'objet d'une reconstitution minimale. Elle est basée sur les pièces considérées comme structurellement nécessaires à la construction du navire, et connues sur des épaves contemporaines ou antérieures. Cela permet d'estimer le poids minimal du navire et d'évaluer sa stabilité. La portée entre les baux nécessitait la mise en place d'élongis pour soutenir le bordé de pont, en suivant le modèle de l'épave de Brême<sup>12</sup>. Huit virures au-dessus de la virure 23 forment un pavois haut de 1,30 m. Cela est suffisant pour protéger l'équipage quand le navire roule sans surcharger les œuvres mortes. D'après les relevés, aucun chanfrein n'a été observé au niveau des recouvrements sur les vingt-troisième et vingt-quatrième virures. Cela suggère que les côtés se prolongeaient dans la continuité du bordé précédent. Il n'y a apparemment aucun changement dans la forme de la coque au niveau de la muraille. Les courbes de bau sont reconstituées directement fixées au bordé, comme le suggère une pièce disjointe très endommagée, découverte dans la partie centrale de l'épave.

Enfin, le volume plus important à l'arrière ainsi que les épaves contemporaines amènent à reconstruire un château arrière. Comme la forme du navire est très fine dans cette partie, il n'était pas possible d'intégrer le château dans les côtés du navire : la forme est trop étroite et il n'existe aucun passage pour la barre. L'intégration du château arrière dans les navires dès le xv<sup>e</sup> siècle semble être liée à l'introduction d'un tableau arrière qui permet d'assurer la continuité de la forme de la coque dans les superstructures. La forme du navire Aber Wrac'h 1, reconstruite sur la base des derniers couples de l'arrière préservés, ne pourrait avoir supporté une telle structure. Le château arrière est ainsi reconstitué comme une structure séparée, basée sur le principe de la coque de Brême<sup>13</sup>, mais adaptée à la forme d'Aber Wrac'h 1.

12 L'épave de la coque de Brême fut découverte sur les berges de la rivière Weser à Bremerhaven en 1962. Elle constitue à ce jour l'une des épaves médiévales les mieux préservées, car conservée à plus de 70 %. Le navire a vraisemblablement coulé en cours de construction alors que les superstructures restaient à achever. Elle est datée de 1380 par la dendrochronologie. Étudiée en détail par Werner Lahn, un charpentier de marine, et conservée au PEG – *polyéthylène glycol* –, elle est actuellement présentée au public au Deutsches Schiffartsmuseum à Bremerhaven. - Werner Lahn, *Die Kogge von Bremen. Band I, Bauteile und Bauablauf*, Hamburg, Ernst Kabel Verlag, 1992, p. 17-19. - Concernant les élongis, *Ibid.*, Blatt (feuille) 2, 4 et 21.

13 *Ibid.*, Blatt 9, 10, 12, 13, 14 et 15.

Comme l'arrière du navire avait disparu, aucun indice d'un gouvernail ne fut retrouvé. Une reconstitution hypothétique était cependant nécessaire aux propriétés hydrostatiques. Les navires du XVI<sup>e</sup> siècle, dont les épaves ont livré des gouvernails, ont une forme et un gréement totalement différents, et n'ont pas les mêmes efforts à la barre. Se baser sur les traités de construction navale du XVIII<sup>e</sup> siècle ne donnerait pas davantage de résultats pour les mêmes raisons. Donc, la reconstitution du gouvernail est basée sur l'expérience des répliques de la cogue de Brême<sup>14</sup>, puisqu'aucun gouvernail d'étambot d'un grand navire à clin du XV<sup>e</sup> siècle n'a été découvert en Europe du Nord et de l'Ouest<sup>15</sup>.

### LA RECONSTITUTION ET SES APPLICATIONS

#### Conception et séquence de construction

##### Le fond

188

La reconstitution permet de comprendre la séquence de construction et le mode de conception qui lui est associé. La quille est taillée pour la mise en forme du retour de galbord qui est plus plat à mi-navire. Son droit diminue vers les extrémités, alors qu'il est plus large dans sa partie médiane. Les trois premières virures complètent le retour de galbord et amorcent la forme du navire. Le galbord lui-même est taillé en forme. Les deuxième et troisième virures sont chanfreinées avant d'être mises en place. Les virures 4 à 6 forment le fond et assurent la liaison avec le bouchain. Leurs chanfreins sont moins importants et servent principalement à gérer le recouvrement. Les virures 7 à 9 composent le tournant de bouchain. Leur chanfrein était réalisé en place le long du can supérieur.

Cette première phase de construction peut également être reconnue par l'insertion de toutes les varangues. La première (M130) semble avoir été placée à l'arrière lorsque la cinquième virure était posée. Une seconde varangue (M105) est localisée à l'avant et pourrait avoir été mise en place après que la sixième virure ait été posée. Le premier ensemble important de varangues a été installé après la septième virure. La plupart des varangues atteignent la huitième et la

<sup>14</sup> *Ibid.*, Blatt 9.

<sup>15</sup> Le navire de Cavalaire 1, daté de la fin du XV<sup>e</sup> siècle, fait exception : Marion Delhaye, « L'épave médiévale de Cavalaire : un exemple de l'évolution architecturale avant la Renaissance », *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco*, n° 2, 1998, p. 43-48. Cependant, comme pour les navires du XVI<sup>e</sup> siècle, sa forme reconstituée s'éloigne considérablement de celle du navire Aber Wrac'h 1 : Brad Loewen et Marion Delhaye, « Oak growing, hull design and framing style. The Cavalaire-sur-Mer wreck, c. 1479 », dans Anton Englert, Frederick Hocker et Lucy Blue (dir.), *Connected by the Sea: Proceedings of the Tenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde 2003, ISBSA 10*, Oxford, Oxbow books, 2006, p. 99-104.

neuvième virures, avec de courts et de longs bras alternant sur le côté bâbord pour éviter de créer une ligne de rupture, à l'exception des fourcats au niveau de l'étrave et l'étambot.

#### Les côtés : une seconde étape indépendante

Les virures des côtés semblent avoir été posées sans avoir été chanfreinées : les côtés sont droits sans réelle incurvation. D'après les relevés et l'état de préservation de l'épave, les premières allonges atteignent la virure 19 dans la partie médiane du navire (M114-118-124). Mais la conservation irrégulière des allonges à l'avant et à l'arrière restitue une image limitée : la plupart des premières allonges atteignent la vingt et unième et la vingt-deuxième virures.

Les baux traversants font partie intégrante du processus de construction. Le bau le plus avant est placé une virure plus bas que les autres, probablement pour limiter la tonture du pont. La séquence de construction suit le même principe que les autres baux encastés dans la virure 21. La virure est entaillée pour recevoir la face inférieure du bau qui est feuillurée pour recevoir le bordé. Une planche locale de renfort est placée sur la face interne du bordé dans l'environnement du bau. Une entaille réalisée dans la face inférieure du bau permet d'encastrer la tête d'allonge, réduite de 20 cm à 10-12 cm sur le droit. La vingt-deuxième virure est ensuite placée. Elle est coupée à chaque bau, s'achevant et débutant dans les feuillures latérales des baux. Finalement, la vingt-troisième virure est placée dans la feuillure supérieure du bau et renforcée par une autre planche doublant intérieurement la virure. Cette virure n'est pas chanfreinée, ce qui suggère que la partie supérieure de la muraille continuait dans le même alignement que la virure 22.

Des écarts d'allonges inversés, dans lesquels la seconde allonge est posée avant la première, ont été découverts à différents emplacements. Leur longueur originale est inconnue, mais leur pied s'étend des douzièmes aux quatorzièmes virures. Neuf des allonges sont préservées. Elles sont positionnées symétriquement à partir du bau M116, agissant comme un bau d'étambrai. Ce bau est encadré par deux allonges inversées (M115 et M117). Le rythme des autres varie : un premier ensemble est proche de la partie centrale, deux puis une allonge normale séparant celles inversées, et un second ensemble à l'avant et à l'arrière séparé par sept à huit membrures.

La répartition de ces allonges montre que leur position a été intentionnellement définie, probablement depuis l'origine de la construction et avant la mise en place des baux. Comme les allonges inversées ne sont pas conservées dans leur longueur originale, il est difficile d'avoir une compréhension claire de leur rôle. La distribution symétrique suggère cependant qu'elles ont été placées pour répartir les efforts sur la coque. Comme elles atteignent les virures 12 à 14,



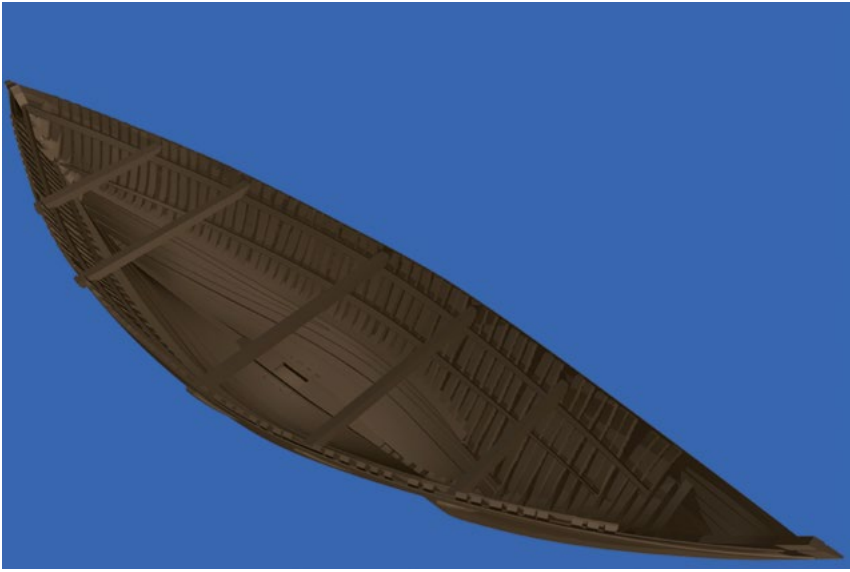


Fig. 3. Reconstruction tridimensionnelle de l'épave avec toutes les pièces reconstituées

elles évitent d'avoir les écarts des premières et secondes allonges sur les mêmes virures et permettent peut-être de contrecarrer la pression sur la coque par les écarts inversés.

Les serres ont ensuite été placées. La plus basse (VAI3) est entaillée sur les assemblages varangue-1<sup>re</sup> allonge. La seconde (VAI6) est placée au niveau du tournant de bouchain. La serre intermédiaire (VAI7) renforce les écarts entre les 1<sup>re</sup> et 2<sup>de</sup> allonges inversées. La serre la plus haute court sur les assemblages entre 1<sup>re</sup> et 2<sup>de</sup> allonges normales. En M116, elle fournit peut-être un soutien additionnel au bau d'étambrai.

Un vaigrage, protégeant la charpente, complète l'espace entre les deux serres inférieures et la carlingue. Il est fermé par des accotars placés le long de la serre de bouchain (fig. 3).

#### Calcul préliminaire des propriétés hydrostatiques

Bien que ce travail soit encore en cours, une analyse préliminaire des propriétés hydrostatiques a servi de validation au modèle numérique. Elle est menée sous *Orca*, un module complémentaire d'architecture navale du logiciel *Rhinoceros*.

#### Données hydrostatiques générales

À partir de la reconstitution, les dimensions hors tout du navire sont 25,85 m de longueur, 6,95 m de bau et 4,45 m de creux – 8,26 m au niveau du château arrière. Le volume en cale sous les baux est estimé à 96 m<sup>3</sup>.



Bien que cela soit basé sur une reconstitution minimale des œuvres mortes du navire, le devis de poids<sup>16</sup> peut être évalué à partir des pièces architecturales reconstituées modélisées sous *Rhinoceros*. Le logiciel fournit un volume très précis des pièces individuelles. Considérant une masse volumique de  $800 \text{ kg.m}^{-3}$  pour le chêne et de  $700 \text{ kg.m}^{-3}$  pour le hêtre, le navire pèse environ 35 tonnes.

Les baux traversants fournissent une ligne de flottaison maximale théorique. Considérant la répartition des masses, la quille ne semble pas en différence<sup>17</sup>. À cette limite maximum, le bau le plus bas est placé à 2,88 m de la ligne de base. Le déplacement est alors de 115 t. Mais les baux n'étant pas destinés à être immergés en permanence, il est certain que cette ligne de flottaison extrême ne devait pas être atteinte. Le tirant d'eau en charge était donc probablement un peu moindre.

### Propriétés hydrostatiques sans le grément

Le centre de gravité du navire peut être défini à partir de la masse et de la position des pièces individuelles. *Rhinoceros* permet de calculer le centre de gravité des pièces architecturales modélisées et donc, *in fine*, le centre de gravité du navire. Dans ces conditions, la position longitudinale du centre de gravité est de 14,31 m à partir de la perpendiculaire avant et le centre de gravité vertical de 2,9 m.

Du fait de sa forme, la coque vide est instable, puisque sa hauteur métacentrique transversale est négative. Un lest minimum est requis. Les analyses menées sur les pierres découvertes sur le navire suggèrent qu'au moins une partie provient du lest, et qu'il s'agissait principalement de granit.

Il est probable que le vaigrage des fonds, fermé par des accotars, a pu également contribuer à faciliter le lestage et délestage du navire. Le volume de cette partie,  $14 \text{ m}^3$ , fut progressivement diminué pour déterminer le lest minimum nécessaire à la stabilité du navire. Avec un volume lesté de  $5 \text{ m}^3$ , correspondant à une masse de 11,7 t de granit, le navire sans son grément est stable. Le bras de redressement est suffisant à  $45^\circ$ , où la majeure partie du navire est sous l'eau – plat-bord, étrave et étambot.

Dans cette configuration minimale, le tirant d'eau est de 1,75 m, soit plus d'un mètre sous les baux.

16 Le devis de poids est la première étape du calcul des propriétés hydrostatiques. Il s'agit d'un tableau récapitulatif le moment (des forces) appliqué à chaque pièce constitutive ainsi que des éléments d'armement et d'équipement du bateau. Leur somme détermine la position du centre de gravité du navire. Il faut donc déterminer et regrouper la masse et la position exacte en x, y et z de chacun de ces éléments.

17 La quille est en différence quand elle est inclinée lorsque le navire est dans ces lignes. Quand elle n'est pas en différence, cela signifie que la flottaison lui est parallèle.



Fig. 4. Reconstitution hypothétique du navire sous voile. À gauche : la coque reconstituée avec le château arrière. À droite : le navire proche de sa ligne de flottaison en charge maximum

192

#### Propriétés hydrostatiques avec le gréement

##### Reconstruction du mât et de la vergue

L'emplanture de mât, intégrée à la carlingue, est le seul indice conservé du gréement, à l'exception des pommes de racage. La partie élargie de la carlingue est longue de 2,13 m, large de 50 cm et profonde *a minima* de 25 cm. L'emplanture de mât est longue de 90 cm, large de 34 cm et profonde de 14 cm, d'après la restitution.

Suivant l'iconographie contemporaine, il est possible de restituer une longueur de mât correspondant à celle du navire. Le pied de mât ne peut excéder la largeur de la carlingue dans la partie élargie. Le mât ainsi reconstitué aurait été long d'environ 25 m et son diamètre à l'emplanture de 50 cm. La vergue mesurerait 13 m de longueur. Mât et vergue auraient pesé 2,74 t (fig. 4). Le centre de gravité longitudinal est alors placé à 14,10 m de la perpendiculaire avant et le centre de gravité vertical est à 3,62 m.

Une première approche de la stabilité en charge complète a été menée avec un chargement de grain en vrac. La masse atteindrait presque 75 t. Le déplacement est donc de 112 t. Le tirant d'eau est de 2,84 m, soit 4 cm sous la tête du bau. Dans ces conditions excessives, où la ligne de flottaison est placée trop haut, le bras de redressement est efficace jusqu'à un angle de chavirement de 52°. L'envahissement se produit à 30,5° de gîte. Un navire sans un pont étanche nécessite plus de stabilité que cela, donc le tirant d'eau en charge est sans aucun doute bien moindre.

En dépit de ses spécificités, la forme de coque reconstruite du navire Aber Wrac'h 1 est stable. Il reste à déterminer sa capacité de charge réelle, évitant une immersion régulière des baux. Différents types de chargement seront modélisés pour correspondre au contexte médiéval : chargement en tonneaux ou mixte – lingots pour les métaux, balles et tonneaux selon la nature de la cargaison –, tel que mentionné dans les archives. La modélisation numérique aidera alors à définir la meilleure position des différents types de chargement, à vérifier la stabilité du navire dans différentes conditions et à comparer la forme de la carène aux autres navires médiévaux.

Pour ce faire, comme pour comparer Aber Wrac'h 1 aux autres épaves Atlantique, les résultats de l'étude dendrochronologique, basée sur 89 échantillons prélevés lors de la campagne de fouille 2013, sont nécessaires. Architecturalement, le plus proche exemple du navire Aber Wrac'h 1 est certainement le bâtiment de Newport, découvert en 2002 sur les berges de la rivière Usk<sup>18</sup> et dont la datation se situe après 1449<sup>19</sup>. Mais les différences architecturales comme de formes ne pourront être appréhendées qu'en définissant la chronologie des deux navires, et après avoir déterminé s'ils ont été construits dans des zones géographiques proches, et s'ils ont partagé un même espace de navigation. Le xv<sup>e</sup> siècle constitue à la fois une rapide période de transition et de développement architectural, dans un contexte politique international instable, contribuant au déploiement d'une piraterie endémique sur le littoral atlantique, et socioéconomique complexe par l'essor commercial qui se poursuivra au xvi<sup>e</sup> siècle.

Il est à espérer que les analyses paléoenvironnementales lèveront le voile sur l'épave Aber Wrac'h 1 et aideront à resituer le navire dans son contexte socio-économique et historique. La comparaison avec les autres épaves pourrait amener à la compréhension de tout un pan de la construction navale de la fin du bas Moyen Âge et du début de la période moderne sur le littoral atlantique.

18 L'Usk est un fleuve du pays de Galles qui passe par Newport avant d'atteindre l'estuaire de la Severn. Il a constitué une importante route commerciale vers l'intérieur.

19 N. Nayling et T. Jones « The Newport medieval ship, Wales, United Kingdom », art. cit., p. 239-278.



## HISTOIRE MARITIME

collection dirigée par Olivier Chaline

Vous pouvez retrouver à tout moment l'ensemble des ouvrages  
parus dans la collection « Histoire maritime »  
sur le site internet de Sorbonne Université Presses :

<https://sup.sorbonne-universite.fr/>

*La Real Armada*

*La Marine des Bourbons d'Espagne au XVIII<sup>e</sup> siècle*

Olivier Chaline & Augustin Guimerá Ravina

*Les Marines de la guerre d'Indépendance américaine*

1763-1783

tome I. *L'Instrument naval*

tome II. *L'Opérationnel naval*

Olivier Chaline, Philippe Bonnichon & Charles-Philippe de Vergennes (dir.)

*La Maritimisation du monde*

*de la préhistoire à nos jours*

GIS d'histoire maritime

*L'Approvisionnement des villes portuaires en Europe*

*du XVI<sup>e</sup> siècle à nos jours*

Caroline Le Mao & Philippe Meyzie (dir.)

*La Naissance d'une thaloassociatie*

*Les Pays-Bas et la mer à l'aube du Siècle d'or*

Louis Sicking

*La Piraterie au fil de l'histoire*

*Un défi pour l'État*

Michèle Battesti (dir.)

*Le Voyage aux terres australes du commandant Nicolas Baudin*

*Genèse et préambule*

1798-1800

Michel Jangoux

*Les Ports du golfe de Gascogne*

*De Concarneau à la Corogne*

XV<sup>e</sup>-XXI<sup>e</sup>

Alexandre Fernandez & Bruno Marnot (dir.)

*Les Grands Ports de commerce français et la mondialisation*

*au XIX<sup>e</sup> siècle*

Bruno Marnot

*Les Huguenots et l'Atlantique*  
*Pour Dieu, la Cause ou les Affaires*  
Mickaël Augeron, Didier Poton et Bertrand van Ruymbeke (dir.)  
Préface de Jean-Pierre Poussou

*Négociants et marchands de Bordeaux*  
*De la guerre d'Amérique à la Restauration*  
1780-1830

Philippe Gardey  
Préface de Jean-Pierre Poussou

*La Compagnie du Canal de Suez*  
*Une concession française en Égypte*  
1888-1956

Caroline Piquet

*Les Villes balnéaires d'Europe occidentale*  
*du XVIII<sup>e</sup> siècle à nos jours*  
Yves Perret-Gentil, Alain Lottin & Jean-Pierre Poussou (dir.)

*La France et l'Indépendance américaine*  
Olivier Chaline, Philippe Bonnichon & Charles-Philippe de Vergennes (dir.)

*Les Messageries maritimes*  
*L'essor d'une grande compagnie de navigation française*  
1851-1894

Marie-Françoise Berneron-Couvenhes

*Canadiens en Guyane*  
1745-1805

Robert Larin

Prix de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer, 2006

*La Mer, la France et l'Amérique latine*  
Christian Buchet & Michel Vergé-Franceschi (dir.)

*Sous la mer*  
*Le sixième continent*  
Christian Buchet (dir.)

*Les Galères au musée de la Marine*  
*Voyage à travers le monde particulier des galères*  
Renée Burlet

*La Grande Maîtresse, nef de François I<sup>er</sup>*  
*Recherches et documents d'archives*  
Max Guérout & Bernard Liou

*À la mer comme au ciel*  
*Beautemps-Beaupré et la naissance de l'hydrographie moderne*  
*L'émergence de la précision en navigation et dans la cartographie marine*

1700-1850

Olivier Chapuis

Prix de l'Académie de marine, 2000

Grand prix de la Mer décerné par l'association  
des écrivains de langue française, 2000

*Les Marines de guerre européennes*

XVII<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles

Martine Acerra, José Merino & Jean Meyer (dir.)

*Six millénaires d'histoire des ancres*

Jacques Gay

*Coligny, les protestants et la mer*

1558-1626

Martine Acerra & Guy Martinière (dir.)

« BIBLIOTHÈQUE DE LA REVUE D'HISTOIRE MARITIME »

*La Vie et les travaux du chevalier Jean-Charles de Borda (1733-1799).*

*Épisode de la vie scientifique du XVII<sup>e</sup> siècle*

Jean Mascart

# REVUE D'HISTOIRE MARITIME

Dirigée par Olivier Chaline & Sylviane Llinares

28. *Sortir de la guerre sur mer*
27. *Mer et techniques*
26. *Financer l'entreprise maritime*
25. *Le Navire à la mer*
24. *Gestion et exploitation des ressources marines de l'époque moderne à nos jours*
  - 22-23. *L'Économie de la guerre navale, de l'Antiquité au XX<sup>e</sup> siècle*
  21. *Les Nouveaux Enjeux de l'archéologie sous-marine*
20. *La Marine nationale et la première guerre mondiale: une histoire à redécouvrir*
19. *Les Amirautés en France et outre-mer du Moyen Âge au début du XIX<sup>e</sup> siècle*
18. *Travail et travailleurs maritimes (XVIII<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècle). Du métier aux représentations*
  17. *Course, piraterie et économies littorales (XV<sup>e</sup>-XXI<sup>e</sup> siècle)*
  16. *La Puissance navale*
  15. *Pêches et pêcheries en Europe occidentale du Moyen Âge à nos jours*
  14. *Marine, État et Politique*
  13. *La Méditerranée dans les circulations atlantiques au XVIII<sup>e</sup> siècle*
  12. *Stratégies navales: l'exemple de l'océan Indien et le rôle des amiraux*
  - 10-11. *La Recherche internationale en histoire maritime: essai d'évaluation*
  9. *Risque, sécurité et sécurisation maritimes depuis le Moyen Âge*
  8. *Histoire du cabotage européen aux XVI<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> siècles*
  7. *Les Constructions navales dans l'histoire*
  6. *Les Français dans le Pacifique*
  5. *La Marine marchande française de 1850 à 2000*
  4. *Rivalités maritimes européennes (XVI<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> siècle)*
  - 2-3. *L'Histoire maritime à l'Époque moderne*
  1. *La Percée de l'Europe sur les océans vers 1690-vers 1790*





revue dirigée par

Olivier Chaline, Gérard Le Bouëdec & Jean-Pierre Poussou

## *Les nouveaux enjeux de l'archéologie sous-marine*

Ce numéro, très richement illustré, présente un dossier intitulé « Les nouveaux enjeux de l'archéologie maritime », dont les découvertes apportent beaucoup : comment, par exemple, ne pas être sensible aux conséquences du débarquement allié de 1944 ? C'est une discipline très proche de l'histoire par ses centres d'intérêt mais également très différente par ses démarches et parfois par son vocabulaire : un glossaire d'archéologie marine et sous-marine très fourni figure donc dans ce numéro.

Ce dossier est d'abord centré sur « les nouvelles problématiques de la recherche archéologique sous-marine », autour de l'étude des changements côtiers d'un côté, de la prospection et de l'étude des épaves à grande profondeur de l'autre. À partir du chantier-laboratoire du vaisseau *La Lune*, qui appartenait à la première Marine de Louis XIV, Michel L'Hour retrace les étapes de la conquête des abysses par les archéologues sous-marins français. Les technologies utilisées sont étudiées plus en détail dans la seconde partie du dossier, notamment la photogrammétrie numérique, la réalisation des modèles numériques et plus généralement toutes les possibilités apportées par l'informatique. Enfin, le dossier s'attache à montrer ce que peut apporter la valorisation de la recherche sous-marine, notamment grâce à une recherche aux résultats spectaculaires de Jerzy Gawronski, qui étudie la cargaison et les structures de l'*Amsterdam*, vaisseau hollandais qui s'échoua en 1749 ; ses recherches débouchent en effet sur l'économie et « la production urbaine » de la ville d'Amsterdam à cette époque.

Le caractère novateur du dossier est tout aussi évident grâce aux présentations de leurs recherches par sept doctorants, dont les thèses sont en cours, et par le contenu des *varia*. Dans le premier cas, on voit à la fois la diversité des sujets retenus puisque nous allons de l'archéologie côtière à l'utilisation des *U-Boot-Bunker* construits par les Allemands dans nos villes portuaires, en passant par la présence russe dans le Pacifique Sud au tout début du XIX<sup>e</sup> siècle. Les problèmes actuels attireront l'attention sur le conflit franco-anglais en mer d'Oman à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Beaucoup de lecteurs, par ailleurs, seront tout à fait intéressés par les conditions de la recreation de l'École navale au lendemain de la Seconde Guerre mondiale.

Le numéro rappelle enfin l'œuvre de deux très grands historiens du maritime : Jean Boudriot et Paul Butel.

