

Le Dustu : la photogrammétrie sous-marine pour l'étude archéologique de l'épave d'un navire terre-neuvier

■ Pierre-Yves LEPAGE

Le GRAHMS (Groupe de Recherche en Archéologie et Histoire Maritime de Bretagne Sud) est une association de plongeurs archéologues bénévoles située en Bretagne Sud. Les membres de ce groupe ont trouvé l'épave d'un trois-mâts entre Loctudy et les îles Glénan. L'étude de cette épave a montré qu'il s'agissait d'un navire de pêche terre-neuvier. Lors des plongées effectuées sur cette épave, les plongeurs ont utilisé la photogrammétrie adaptée au milieu sous-marin pour mieux identifier les différents artefacts trouvés sur le site. Cela a permis de mieux comparer ces éléments avec des données techniques et ainsi prouver l'identification du bateau.

■ MOTS-CLÉS

Archéologie, terre-neuvier, photogrammétrie, épave, guindeau, ancre, naufrage

Afin de mieux identifier les vestiges de cette épave, les plongeurs ont utilisé la photogrammétrie sous-marine. La mise en œuvre d'une telle technique se heurte à des difficultés. L'adaptation au monde sous-marin est l'une d'elles, mais aussi le volet budgétaire qui impose une solution "low cost" qu'il a fallu imaginer.

L'histoire d'un trois-mâts goélette terre-neuvier

■ La pêche à Terre-Neuve

Les navires terre-neuviens étaient jadis des bateaux armés pour la pêche à la morue sur les hauts fonds de Terre-Neuve. Cette activité très lucrative connut son apogée durant la première moitié du XIX^e siècle et les ports d'attache principaux de ces navires étaient Saint-Malo, Fécamp et Granville.

Jusqu'au déclenchement de la Seconde Guerre mondiale, les navires étaient principalement des trois-mâts, même si durant les années 1930, la motorisation à vapeur commençait à faire son apparition.

Après 1945, les bateaux qui reprirent l'activité étaient motorisés avec l'apparition de navires-usines, faisant accroître la pression sur les réserves naturelles. Au terme d'un conflit entre le Canada et la France, l'activité est définitivement arrêtée en août 1993.

■ La découverte de l'épave

Effectuant des recherches aux archives départementales du Finistère pour la réalisation d'une carte des naufrages aux Glénan, les membres du GRAHMS relèvent un article de presse (figure 1) signalant le naufrage du Dustu le



(collection P-Y Lepage)

Trois mâts terre-neuvier près de Saint-Malo.

Un groupe de bénévoles

Le GRAHMS (Groupe de Recherche en Archéologie et Histoire Maritime de Bretagne Sud) est constitué de quatre membres passionnés¹ par la découverte des vestiges sous-marins le long du littoral du Finistère sud et du Morbihan. Au palmarès de cette association, on

¹ Eric Le Gall, Sylvie Biezel, Bruno Jonin et Pierre-Yves Lepage.

compte les chantiers archéologiques des alignements mégalithiques immergés de Er Lannic (golfe du Morbihan) et de la bataille des Cardinaux, la découverte d'un bombardier B52 de l'US Air Force près de Belle Île, ainsi que l'édition de cartes des épaves.

La dernière découverte en date est celle d'un navire de pêche terre-neuvier entre Loctudy et les îles Glénan.

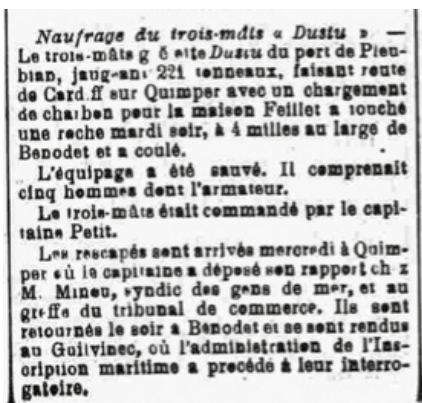


Figure 1. Coupe de journal relatant la perte du Dustu (Archives départementales du Finistère).

26 juillet 1930 sur une roche à quatre milles marins au sud de Bénodet. Dès la première plongée, des artefacts non identifiés sont découverts par une vingtaine de mètres de fond. Les relevés de positionnement de ceux-ci indiquent un site étendu sur plus de 150 m de long et 50 m de large. La coque en bois a disparu. Il faut noter que le site fait l'objet de violentes tempêtes.

Le mobilier présent sur site est parfois difficile à identifier, car des concrétions l'ont recouvert en partie. De plus, il n'existe pas de plan de ces navires et il faut se référer aux archives iconographiques pour tenter d'identifier l'utilité des objets retrouvés².

Il est apparu que la photogrammétrie appliquée au milieu sous-marin serait un excellent moyen d'étude en comparant les données obtenues avec des images d'archives. Une fois les rendus 3D obtenus, il serait beaucoup plus facile de les identifier un à un au travers de la littérature technique de l'époque.

■ Le Dustu

Le trois-mâts goélette Saint-Christophe fut construit en 1904 à Cancale au chantier Lhotellier (figure 2) et mis à l'eau le 10 septembre³.

2 L'association du Marité, qui fut un de ces navires terre-neuviers, a été contactée, mais celui-ci a subi une remise aux normes qui a profondément modifié la constitution du bateau.

3 Ironie de l'histoire, il est lancé la même semaine et au même endroit que le "Pourquoi Pas ?", le navire du Commandant Charcot.



Figure 2. Le chantier naval Lhotellier de Cancale tel qu'il était visible au début du XX^e siècle.

Ce navire terre-neuvier commença sa première campagne de grande pêche le 8 mars 1906⁴. Il changea de propriétaire à plusieurs reprises, tout en continuant les saisons de grande pêche jusqu'en 1929. Il fut renommé "Dustu"⁵ le 25 novembre 1929 et fut affecté cette fois au cabotage.

Le 22 juillet 1930, alors que le navire vient de jeter l'ancre non loin de Loctudy (Finistère), il heurte une roche. La coque étant déchirée, le navire ne tarde pas à couler. Aucune victime n'est à déplorer.

La photogrammétrie appliquée au monde sous-marin

■ La photogrammétrie par corrélation dense

La photogrammétrie par corrélation dense (dite plus simplement "photogrammétrie") utilise la photographie pour restituer la géométrie d'un objet ou d'un espace. C'est une technique plus flexible et moins coûteuse que la lasergrammétrie (ou LIDAR), qui fournit des informations sur la surface d'un objet d'un point de vue à la fois géométrique (morphologie, dimensions) et colorimétrique (texture).

4 Monsieur Bernard Cornillaut a rédigé une très intéressante "Histoire du trois-mâts Saint-Christophe". Ce livret a été publié par l'Association des Amis des Bisquines et du Vieux Cancale en 1987.

5 Dustu, en breton, signifie "allons 'y !"

La photogrammétrie est donc l'association de plusieurs photographies qui, une fois traitées par un logiciel adapté, permet à un ordinateur de restituer un objet en 3D, tout en respectant scrupuleusement les dimensions de l'objet. Cette technique n'est pas récente. Elle est largement utilisée en archéologie terrestre, en architecture ou pour de nombreux chantiers topographiques. En archéologie terrestre, elle permet d'étudier les objets *a posteriori* et de prendre des mesures qui peuvent se révéler difficiles à obtenir sans cette technique.

■ L'application au monde sous-marin

La photogrammétrie est appliquée au monde terrestre de manière très répandue. Elle l'est beaucoup moins pour le monde sous-marin.

Les principales raisons des difficultés de la mise en œuvre de cette technique au monde sous-marin sont que :

- il faut réinventer les techniques de prise de vue. Le positionnement, par exemple, est un élément clef. Le plongeur doit réguler sa flottabilité sans trop bouger et sans s'aider de ses palmes afin de ne pas remuer le fond. Pour ce faire, il doit utiliser la technique dite du "poumon ballast" qui permet de réguler finement la profondeur par l'apport maîtrisé d'air dans les poumons. La respiration devient donc un élément clef de technique de la prise de vue ;



- il faut disposer du matériel nécessaire, que ce soit en appareil photographique, éclairage vidéo, logiciel, ordinateur adapté. L'éclairage doit être suffisant dans un environnement sombre, doit couvrir un angle large tout en restant régulier (pas de "point chaud"). Le flash est à proscrire en raison du rythme des prises de vue ;
- il n'existait jusqu'à présent, aucune formation⁶ relative à la photogrammétrie dédiée à l'archéologie ;
- les contraintes liées à l'hyperbarie limitent le temps disponible pour travailler sur le sujet. Cela est d'autant plus vrai que plus l'épave est profonde, plus les temps de plongée sont limités et soumis aux paliers de décompression. La présence d'organismes fixés peut perturber le post-traitement. En effet, ces organismes bougent au gré de la houle et donc, arrivent à "tromper" le logiciel qui a besoin de références fixes pour effectuer les reconstitutions. Il faut donc parfois brosser les artefacts à photographier ;
- la turbidité de l'eau et la présence de petits organismes flottants gênent la mise au point en "trompant" l'auto-focus. Ce point d'autant plus vrai qu'un brossage de l'artefact avant la photographie génère des particules. Il faut donc organiser une plongée dédiée au brossage, puis revenir un autre jour pour la photographie, comptant sur les courants de marée pour "purger" la zone. Il faut aussi veiller à ne pas planifier de prise de vue après des épisodes venteux qui ont pour conséquence de remuer les sédiments ;
- plus une eau est turbide, plus il faudra approcher l'appareil photo de l'objet et donc limiter la prise de vue à des artefacts indépendants et non pas à l'ensemble d'une épave.

Le matériel photographique utilisé est ainsi un simple APN (Sony RX100) logé dans un caisson étanche apte à résister à la pression. L'éclairage est constitué de trois phares vidéo dont la lumière diffusée ne génère pas de point chaud. Ces phares sont disposés sur des bras. Ce montage permet de ne pas avoir de reflet sur les particules présentes

⁷ Ce chantier a été l'occasion de la première formation dans ce domaine.

entre l'objectif de l'appareil photo et le sujet photographié. En outre, le fait de monter ces éclairages de part et d'autre de l'appareil photo permet de limiter les ombres.

Afin d'augmenter le champ de chaque photo sans avoir à s'éloigner du sujet, il est placé une lentille humide grand-angle. Une lentille humide est un élément optique démontable sous l'eau et intègre donc l'eau entre deux couches de verre. Celle-ci vient se placer devant le caisson étanche.

Une deuxième lentille humide est adaptée. De couleur magenta, elle atténue la coloration naturelle de l'eau et aide ainsi à mieux retrouver les couleurs réelles des sujets photographiés.

Le logiciel de photogrammétrie qui est utilisé est Metashape de l'éditeur Agisoft. Ce choix est justifié par le fait que c'est celui communément utilisé par le DRASSM⁷ avec qui nous avons l'habitude de collaborer.

■ La photogrammétrie RTI

Le besoin des archéologues est quelquefois de mettre en évidence des détails dans un objet, ou dans une pierre, comme des gravures qui sont difficiles à entrevoir à l'œil nu ou avec la photographie classique.

⁷ DRASSM : Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines qui dépend du ministère de la Culture.

La photogrammétrie RTI (*Reflectance Transformation Imaging*) est un procédé où l'appareil photo ne bouge pas par rapport à l'objet. Seule la source lumineuse bouge dans l'espace pour faire apparaître les reliefs par effet de lumière rasante. Elle est appliquée en archéologie terrestre pour mettre en évidence, par exemple, des inscriptions sur une pierre.

La prise de vue doit se faire normalement dans une relative obscurité, avec des éclairages puissants et mobiles et un appareil photographique posé sur pied. Autant de contraintes qui, sous l'eau, deviennent très difficiles à appliquer.

L'avantage est que les plus petits reliefs finissent par être mis en évidence. L'inconvénient est que le rendu ne concerne qu'une petite partie de l'ensemble.

Dans le cas précis de l'épave, certains détails présents sur les artefacts trouvés pouvaient être révélés grâce à ce type de procédé.

■ Une alternative à la photogrammétrie RTI

La photogrammétrie RTI, telle que décrite précédemment, ne peut être appliquée au monde sous-marin. L'idée a alors été de constituer des photogrammétries "classiques", puis d'extraire informatiquement des fichiers au format STL, dépourvus de texture.

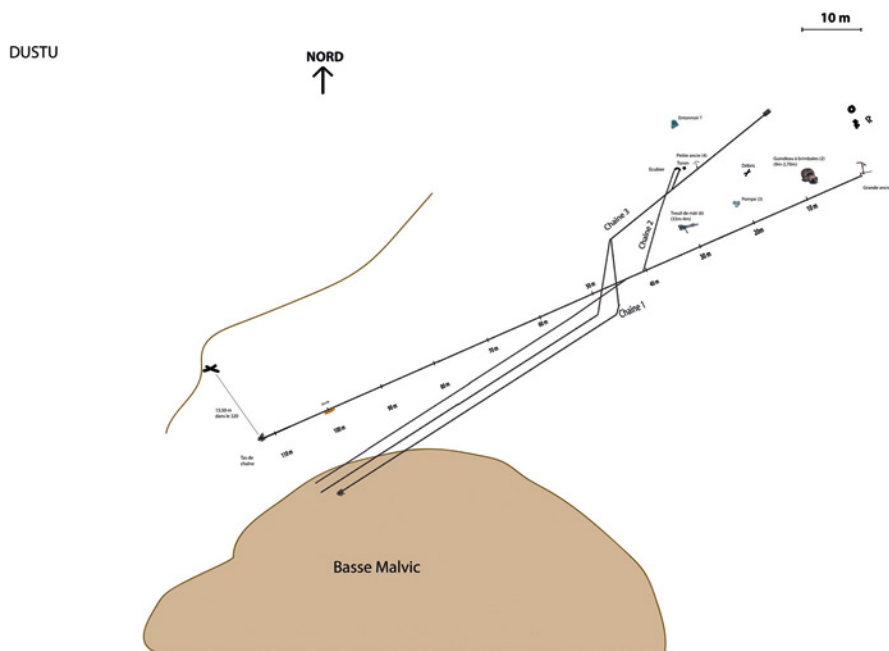


Figure 3. Relevé des vestiges trouvés sur place.



Figure 4. Relevé photogrammétrique du guindeau.

Ensuite, le fichier obtenu est traité simplement par un logiciel capable de générer des lumières rasantes sur l'objet obtenu. En modifiant sur l'ordinateur le positionnement de ces lumières, on peut ainsi mettre en évidence des détails qu'il est difficile de voir *in situ*.

Les pièces du Dustu reconnues par photogrammétrie

Il a été procédé à un relevé des pièces trouvées sur le site. L'épave étant située dans une zone propice aux tempêtes, celle-ci ne laisse à ce jour que quelques éléments métalliques étalés sur une vaste zone. Toutes les pièces en bois ont disparu.

Le premier travail a été de reconstituer un plan des pièces trouvées (figure 3). On remarque que les chaînes d'ancre se sont retrouvées tendues et forment de grandes lignes. Cela correspond au récit du naufrage et est en soit un élément tendant à prouver l'identification de cette épave.

■ Le guindeau

Une pièce assez imposante se situant non loin de l'ancre. Elle est constituée d'un axe supportant plusieurs pièces circulaires. Ces dernières ont subi une forte dégradation et se présentent donc de biais par rapport à l'axe porteur. La première hypothèse fut rapidement émise : il devait sûrement s'agir du guindeau. Encore fallait-il en avoir la certitude. Sur les navires terre-neuviers, il était fréquent d'utiliser des guindeaux à brimbale⁸. L'entraînement de la chaîne d'ancre se faisait par une roue munie de dents. Le mouvement de va-et-vient de la brimbale agissait sur l'axe au moyen d'une roue munie d'un engrenage. L'observation *in situ* a permis de repérer cette roue, mais la dégradation de cette pièce ainsi que les concrétions ont rendu cette observation difficile et l'interprétation aléatoire.

Un relevé photogrammétrique de cette pièce a été fait (figure 4), en rassemblant plus de 650 photographies. Le rendu

⁸ On peut indifféremment parler de "brimbale" ou de "bringuebale".

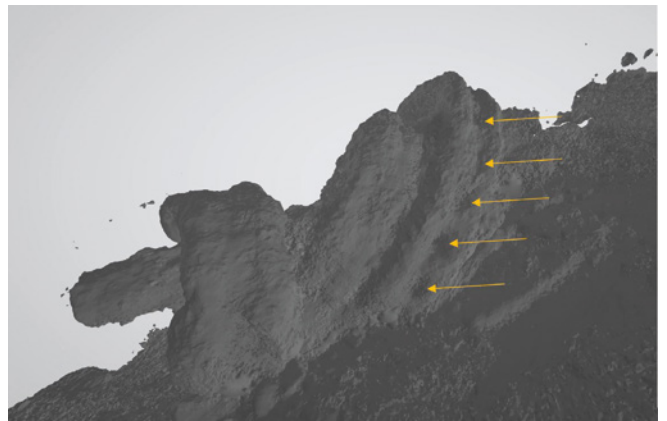


Figure 5. Lumière rasante sur la photogrammétrie du guindeau révélant la roue dentée de la brimbale.

final disposant de sa texture a permis certes d'obtenir un rendu 3D de l'objet global, mais là encore, l'identification de la roue dentée restait aléatoire.

Il a alors été appliqué à cette pièce, le procédé décrit précédemment. En "jouant" ainsi, il a été mis en évidence la présence des dents sur la roue (figure 5), démontrant ainsi la présence d'un mécanisme d'entraînement manuel, et par voie de conséquence, prouver que nous étions bel et bien sur un guindeau à brimbale (figures 6, 7 et 8).

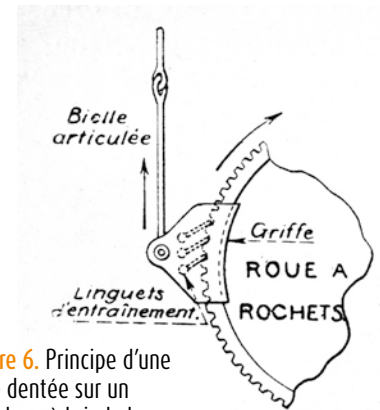


Figure 6. Principe d'une roue dentée sur un guindeau à brimbale (Extrait de "Grément Manœuvre et conduite du navire" - Massenet, Vallerey et Letalle - 1911) roue dentée de la brimbale.

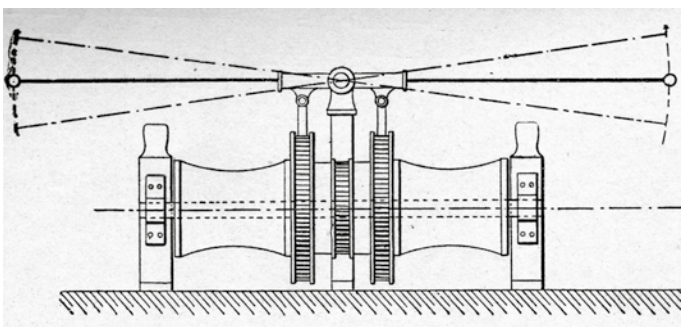


Figure 8. Principe d'un guindeau à brimbale (extrait de "Aide-mémoire du constructeur de navires" - Benjamin Martinenq - 1901).



Figure 6. Guindeau à brimbale sur un navire terre-neuvier.

(document Pierre-Yves Decosse)



Figure 9. Caps de mouton (photo Wikipédia).

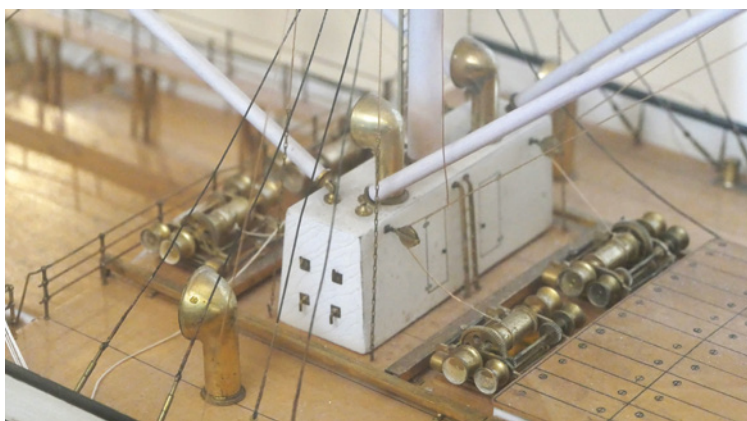


Figure 12. Treuil de chargement manuel sur une maquette du musée maritime de Dubrovnik.



Ainsi, nous avons la certitude que :

- le système de guindeau était dépourvu de tout équipement permettant son assistance à la manœuvre (piston vapeur, démultiplication, moteur...) ce guindeau était du même type que celui qui équipait les navires terre-neuviers ;
- la roue dentée témoignait du mécanisme de brimbale typique des navires terre-neuviers⁹.

⁹ Voir l'article de Pierre-Yves Decosse <https://www.histoiremaritimebretagnenord.fr/activit%C3%A9s-maritimes/constructions-navales/architecture-navale-3/>

■ Cap de mouton

Il a été trouvé une pièce dont la forme a fait penser à un cap de mouton (figure 9).

Un relevé photogrammétrique a été fait (figure 10), avec des règles d'un mètre posées à proximité servant au logiciel à étalonner les mesures.

En effet, une fois cette précaution prise, il est alors facile de prendre n'importe quelle mesure de longueur grâce au logiciel de photogrammétrie.

240 photographies ont été faites, ce qui est beaucoup au regard de la taille de la pièce, mais le résultat est beaucoup plus fin. Cela permet de mesurer le

fait que plus le nombre de photos est grand, plus le résultat final est précis. Cependant, il nécessite plus de traitement informatique.

La pièce considérée est donc un cap de mouton ferré dont l'anneau métallique est pris dans une gangue de concrétion.

■ Treuil de chargement

Il a été trouvé un treuil de chargement. Celui-ci a subi une torsion importante soit pendant soit après le naufrage, car l'axe supportant l'une des deux poupées est courbé à 90°. Là aussi, une photogrammétrie a été faite (figure 11). Là encore, l'examen de la pièce montre que l'entraînement de ce treuil se faisait manuellement (figure 12).

Le relevé photogrammétrique a été réalisé avec près de 250 photos.

■ Femelot et aiguillot

Il a été trouvé côte à côte un femelot et un aiguillot. Afin de pouvoir éventuellement mesurer les épaisseurs des bois à cet endroit, là aussi, un relevé photogrammétrique a été fait (figures 13 et 14).

La mesure faite avec le logiciel montre que le gouvernail avait une épaisseur d'environ 13,8 cm.

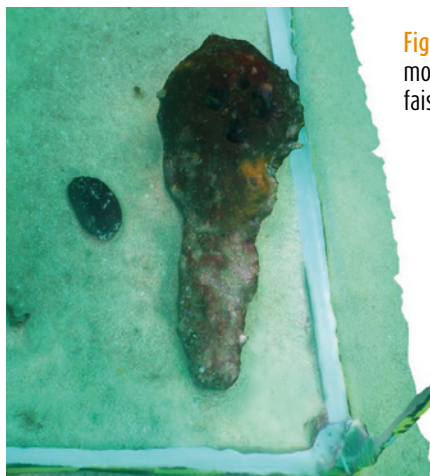


Figure 10. Relevé photogrammétrique du cap de mouton. L'objet noir est un morceau de charbon qui faisait partie du chargement du bateau.

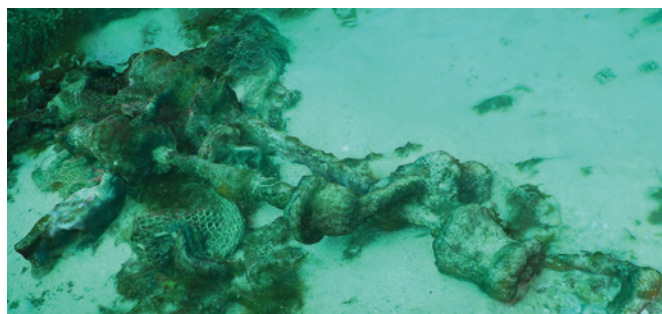
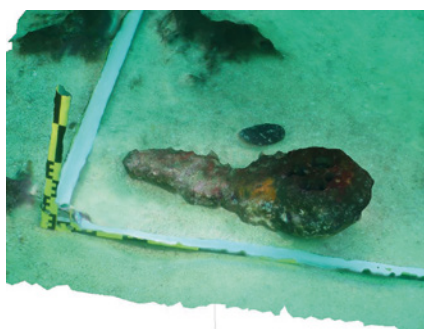


Figure 11. Relevé photogrammétrique du treuil de chargement manuel.

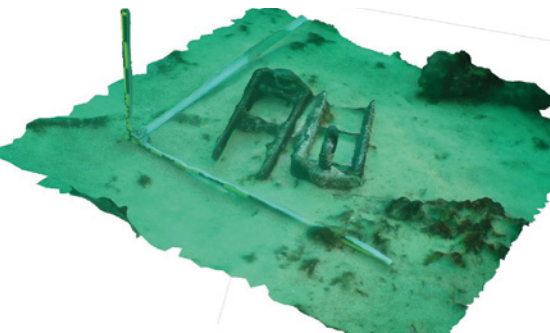


Figure 13 et 14. Relevé photogrammétrique du femlot et de l'aiguillot avec prise de mesure de l'épaisseur du safran.



Là encore, on voit que plus le nombre de photographies est élevé, plus le résultat est fin. Ici, 380 photos ont été faites pour obtenir ce rendu. En outre, le rendu fin permet d'effectuer des mesures précises avec le logiciel. La présence de ces deux pièces prouve que l'ensemble des œuvres mortes du navire (partie immergée du bateau) était en bois (figure 15).

■ Ancre principale

Une ancre à jas imposante a été trouvée et un relevé photogrammétrique (figure 16) a été fait afin de pouvoir

mieux analyser le tas de chaînes qui se trouve à la suite de cette ancre.

Il faut noter que cette photogrammétrie a été réalisée en août 2022. En juillet 2023, nous avons constaté que l'ancre avait basculé de 90 degrés pour une raison inconnue.

Afin de mieux détacher l'objet de son environnement, il a été procédé à un évidement sur le logiciel de photogrammétrie. Cette opération consiste à débarrasser le rendu du fond (figures 17 et 18).

On peut remarquer que la partie supérieure du jas n'a pas été intégrée.

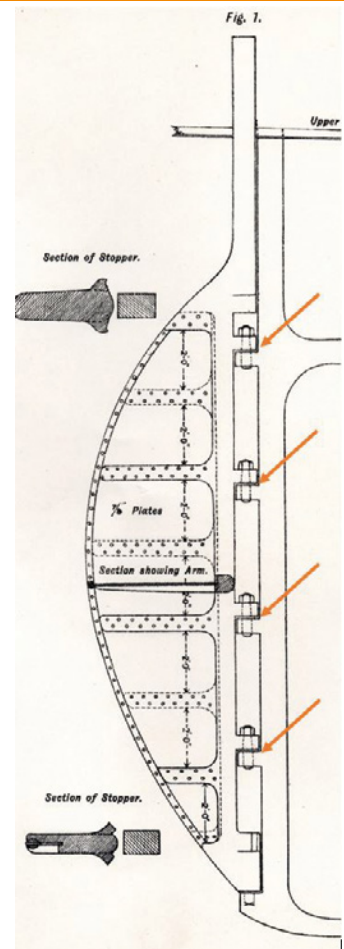


Figure 15. Montage d'un safran par des aiguillots et femlots sur un navire à voile du XIX^e siècle (Extrait de "The modern Practice of Shipbuilding" - Thearle - 1886).



Figure 16. Relevé photogrammétrique de l'ancre à jas.



Figure 17 et 18. Relevé photogrammétrique de l'ancre à jas débarrassée du fond.



Figure 19. Relevé photogrammétrique du pied de barre.

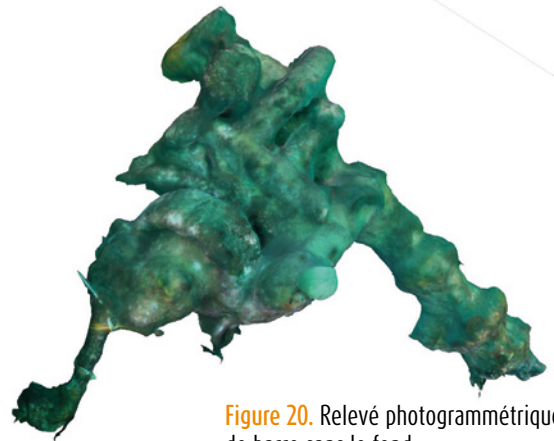


Figure 20. Relevé photogrammétrique du pied de barre sans le fond.



Figure 21. Relevé photogrammétrique au format STL du pied de barre.

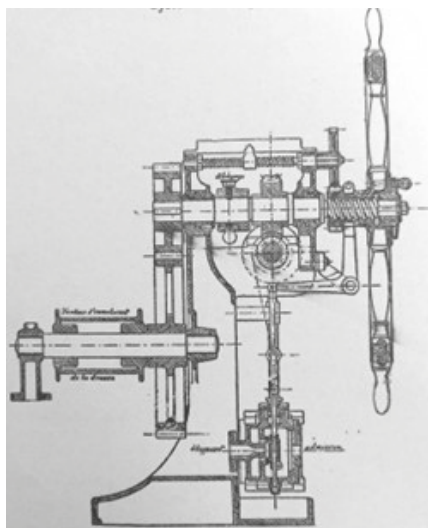


Figure 22. Schéma de pied de barre à roue, même s'il ne s'agit pas exactement de ce modèle, il donne une référence (extrait de "Aide-mémoire du constructeur de navires" - Benjamin Martinenq - 1901).

■ Pied de barre de poupe

Une autre pièce a été repérée qui pourrait ressembler à un pied de barre. Un relevé photogrammétrique a été fait, mais la qualité du rendu ne nous permet pas de distinguer clairement les formes précises de l'objet.

Aussi, pour améliorer ce rendu, celui-ci a été isolé de son environnement. Cette opération a été réalisée avec le logiciel de photogrammétrique (figure 20).

Afin de parfaire la lecture de cette pièce, il a ensuite été procédé à une extraction au format STL pour retirer les textures et placer la lecture du fichier obtenu sous la "Visionneuse 3D". Cette dernière opération permet ensuite de faire varier les éclairages pour mieux distinguer les formes (figure 21).

L'étude montre ainsi qu'il s'agit du pied de barre de poupe, qui est directement relié à la mèche de safran. Nous avons donc le support de roue et le départ de cette mèche de safran (figure 22).

■ Petite ancre

Une deuxième ancre a été trouvée sur le site. Il s'agit très probablement d'une ancre à jas rabattable autrement appelée "ancre d'amirauté". Le jas étant en position rangée, sa principale partie se retrouve sous le sable.

260 photos ont été faites pour réaliser le relevé photogrammétrique de cette petite ancre (figures 23 et 24).

Il faut noter que les navires de l'époque, et en particulier les voiliers, étaient dotés d'ancre plus petites que les ancres de proue (figure 25). Il s'agissait d'ancre dites "de touée" ou "ancre à jet". Pouvant être mouillées par des embarcations, elles étaient employées pour les manœuvres de halage, d'évitement et d'embossage du navire.

Conclusion

Cette opération archéologique a montré que la photogrammétrique peut être déployée dans un monde sous-marin et prend ainsi sa place dans l'étude des épaves. Cette discipline permet ainsi d'effectuer des comparaisons avec les archives techniques, ce qui est beaucoup plus difficile avec de simples photographies. La mise en œuvre, même en solution "low cost", nécessite l'implication de l'ensemble de l'équipe de plongeurs pour préparer les éléments, acheminer le matériel nécessaire sur place et veiller à la sécurité de l'opération dans une zone soumise aux aléas de la mer. Nous nous devons de souligner l'implication de nos partenaires qui ont permis de réaliser cette opération, à savoir le Conseil régional Bretagne, Seal Adventure, Grolleau Concarneau, CCI Quimper-Cornouaille, Arimer, Tech-H de Basse-Goulaine (44), Moreau Electricité, CIP Glénan, SNSM ÎleTudy et Hénaff SA. ●

ABSTRACT

The GRAHMBS (Groupe de Recherche en Archéologie et Histoire Maritime de Bretagne Sud) is an association of freelance undersea archaeologists located in South Brittany. The members of this group found the wreck of a three masts ship between Loctudy and the Glénan Islands. The research about this wreck showed that she was a Terre-Neuve fishing ship. During the diving on this wreck, the divers used the technology of photogrammetry to proceed to the identification of the objects founded on site. This helped to compare those elements with technical data and to prove the identification of the wreck



Figures 23 et 24. Relevé photogrammétrique de l'ancre d'amirauté.