

# Photogrammétrie et archéologie sous-marine profonde

## Le cas de l'épave étrusque Grand Ribaud F

■ Pierre DRAP - Luc LONG

*Cet article concerne le relevé et la représentation du patrimoine archéologique sous-marin. Le procédé est fondé sur un outil de photogrammétrie piloté par un Système Expert utilisant une base de connaissance issue de l'expertise archéologique. Le relevé s'appuie donc sur la notion de modèle tant géométrique que cognitif et produit une représentation tridimensionnelle du site qu'aucun archéologue, soumis aux contraintes de la plongée profonde, n'avait pu observer par ses propres moyens. Cette approche a été testée avec succès sur la fouille de l'épave étrusque Grand Ribaud F, au large de la presqu'île de Giens (Hyères, Var, France). L'importance archéologique du site et sa grande quantité d'amphores ont été des facteurs déterminants dans le choix de l'épave comme terrain d'expérimentation. Au-delà du relevé et de la représentation du site, nous nous sommes intéressés à la persistance des données au travers d'un formalisme XML et à l'accès à ces données depuis les représentations géométriques générées, 2D et 3D. Un site Internet permet de consulter l'état d'avancement de ce projet et les derniers résultats archéologiques (<http://GrandRibaudF.gamsau.archi.fr>).*

### ■ mots clés

Photogrammétrie sous-marine, Système expert, Archéologie sous-marine, Amphores étrusques, Base de données archéologique, Système d'Information Géographique, VRML, X3D, SVG, Java.

### Introduction

Ce projet touche au problème du relevé et de la documentation archéologique ainsi qu'à celui de la réalisation d'un modèle 3D de l'état de l'épave étrusque *Grand Ribaud F* tout au long des différentes phases de la fouille. La première étape, l'acquisition des données, comprend deux temps : l'analyse préalable des besoins et la définition des procédures. La collaboration étroite avec les experts du domaine considéré, les archéologues, permet de définir leurs besoins spécifiques, comme le corpus des objets à mesurer, les différents types de données auxquels ils seront liés, mais aussi de définir quel sera l'utilisateur final. Cette phase donne lieu à des développements informatiques particuliers pour rendre compte des spécificités du corpus étudié (élaboration de modèles théoriques, de mécanismes de valeurs par défaut, de règles de mesure, etc...).

Dans un second temps, la campagne de mesure, puis la génération de données 3D à partir des outils de photogrammétrie standard, ici Photomodeler de Eos<sup>1</sup> produit de la géométrie classique avec des résultats à présent courants tel que DTM ou orthophoto. S'appuyant sur le résultat des orientations obtenues avec Photomodeler, la dernière phase de mesure photogrammétrique se fait avec l'ARPEUTEUR, logiciel développé au MAP depuis 1999. La génération de données 3D est alors conduite par des experts du domaine concerné (archéologues, biologistes, architectes, ...) et produit de la géométrie

liée à des connaissances spécifiques du domaine étudié. Ce compte-rendu est scindé en deux articles distincts. Le premier fait état ici des problèmes posés à l'archéologue et de ses besoins en matière de reconstruction 3D, tandis que le second traitera de la photogrammétrie et de ses apports dans l'étude d'une épave profonde.

L'outil de photogrammétrie numérique, l'ARPEUTEUR, est fondé sur l'idée d'un processus de mesure guidé par la connaissance liée au domaine étudié. En archéologie comme

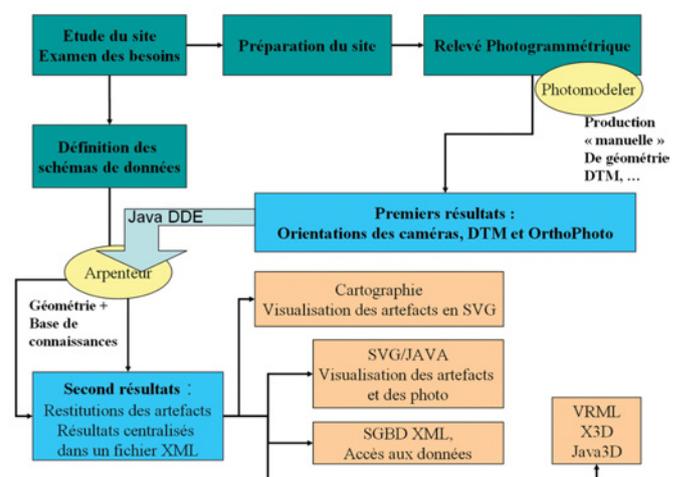
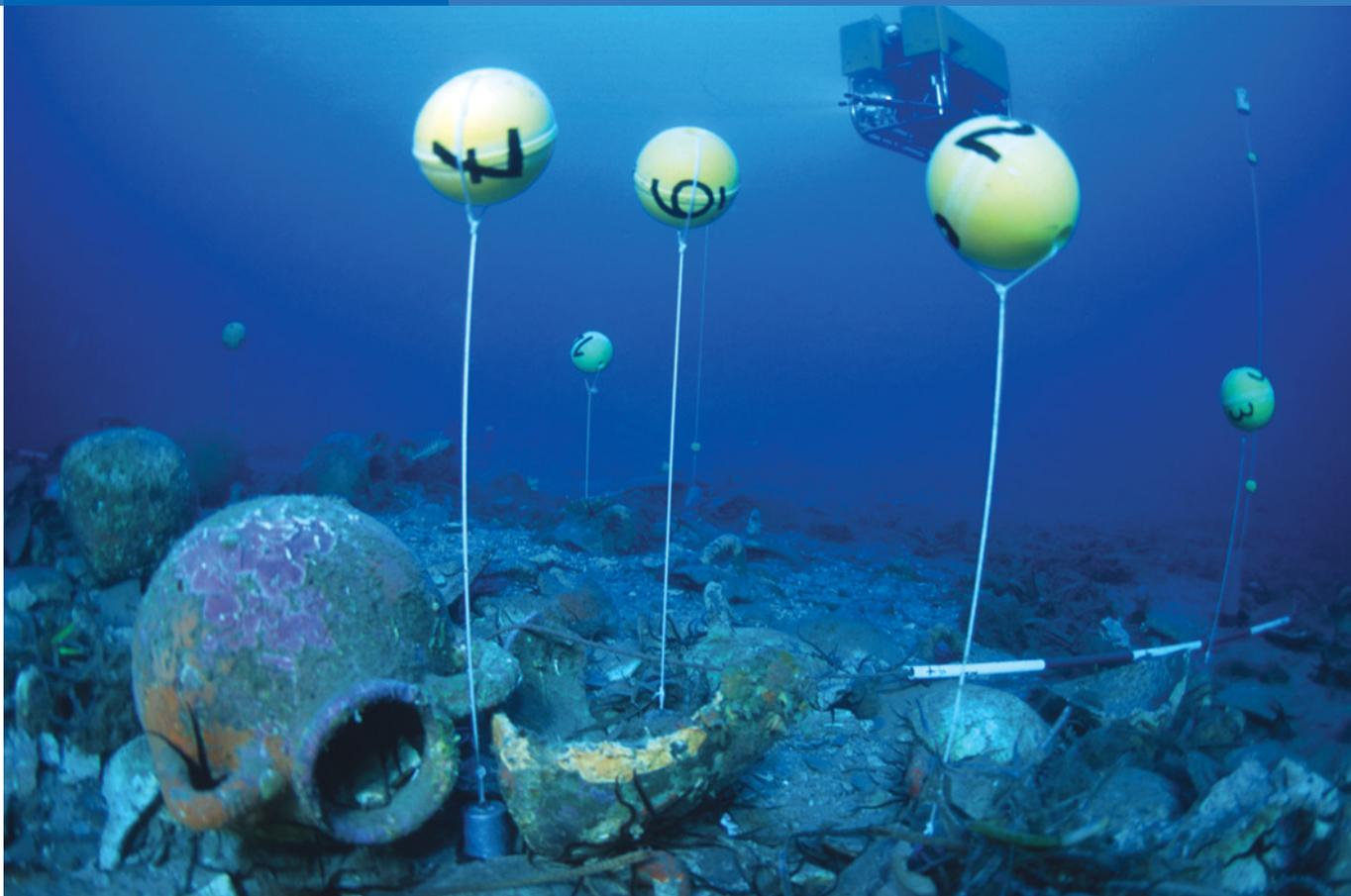


Schéma synoptique du processus de mesure. Depuis l'analyse jusqu'à la publication des résultats.

(1) Eos Systems Inc. <http://www.photomodeler.com/>



Vue du site avant la première prise de vue en Août 2000. Sur la photo de gauche, on peut voir le ROV super Achille, sur la photo de droite les submersibles de la Rémora 2000 de la Comex en phase de prélèvement des amphores à l'aide d'un système de ventouse.

■ ■ ■ en architecture, le but est de permettre à l'expert (l'archéologue ou l'architecte) d'utiliser son expérience et ses connaissances du milieu et des objets dès la phase de mesure. Le dernier développement du projet qui est présenté ici fusionne des données mesurées à un modèle théorique afin d'obtenir une représentation complète d'un objet partiellement mesuré. Le projet a été expérimenté sur une fouille archéologique sous-marine : l'épave étrusque profonde *Grand Ribaud F* découverte en 1999 au large de Hyères, France. L'épave est d'un grand intérêt archéologique par sa chronologie, qui la situe en pleine période archaïque, par l'importance de sa cargaison et par son excellent état de conservation. La gestion de données est l'un des problèmes majeurs d'une fouille archéologique. Elle se heurte à plusieurs types d'obstacles :

- Les données manipulées sont fortement hétérogènes (outre l'aspect multimédia important, l'utilisation de technologies diverses et sophistiquées accroît les difficultés de gestion, de présentation et d'analyse),
- Plusieurs acteurs sont susceptibles de vouloir les consulter simultanément, voire de les réviser,
- Ces données sont susceptibles d'évoluer au cours du temps (mises à jour, détection d'erreurs d'interprétation, modification des hypothèses de modélisation).

A l'issue de la présentation du projet, de celle du site archéologique, et d'une brève introduction des systèmes de gestion d'information en archéologie comme des divers outils à notre



disposition, nous aborderons l'aspect photogrammétrique, scindé en deux phases distinctes. Ce sera d'abord le cas du relevé "traditionnel" avec Photomodeler, puis des objets manufacturés, élaborés selon un modèle *a priori* géométrique. Évidente pour les objets industriels contemporains, cette approche se justifie également pour des productions plus anciennes telles que les amphores étrusques ou romaines. Enfin, nous aborderons les résultats archéologiques et nous accéderons aux données archéologiques à partir de leurs représentations géométriques.

## Le contexte du projet

### ■ L'épave étrusque *Grand Ribaud F* (Giens, Var)

Si les navigateurs étrusques furent parmi les premiers, dès la fin du VII<sup>e</sup> siècle avant J.-C., à construire un réseau d'échanges sur les rivages du Midi gaulois, on ne connaissait que trois

épaves étrusques très pillées en Méditerranée française. La découverte en 1999, par la Comex, sous la houlette d'Henri-Germain Delauze, d'une épave bien conservée, chargée d'amphores étrusques et de marchandises variées, apporte désormais des données nouvelles sur le commerce d'époque archaïque. Le gisement se situe par plus de 60 m de fond, au large de l'îlot du Grand Ribaud (Hyères, Var, France).

Une première expertise, en 2000, et deux sondages, en 2001 et 2002, furent dirigés par le Drassm (Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines, Ministère de la Culture), avec les moyens logistiques de la Comex. Grâce à l'expérience déjà acquise sur des gisements profonds, ces campagnes de fouille ont permis de tester et de valider de nouvelles méthodes, le plus souvent sans plongeur. Il fut notamment procédé à une couverture photogrammétrique des vestiges par robot et sous-marin et à plusieurs sondages profonds au moyen d'un ventilateur.

Ce diagnostic confirme l'importance historique et l'excellent état de conservation de l'épave, chargée sur plusieurs couches d'environ un millier d'amphores, de vases en bronze empilés et de céramiques étrusques et grecques de belle facture.

L'étude du mobilier permet d'avancer quelques hypothèses sur l'origine du chargement. Les amphores appartiennent toutes au type 4 individualisé en Languedoc par F. et M. Py. Dans cette région, l'arrivée massive de ce type d'amphores se situe entre 525 et 520. La plupart des bouchons de liège ont été retrouvés dans les récipients, poussés à l'intérieur par la pression. Des restes de sarments de vigne et les traces d'usure observées sur les amphores attestent qu'elles étaient calées avec du feuillage et solidement arrimées entre elles par des liens. L'examen de la pâte révèle une production homogène, caractéristique de l'Etrurie méridionale. On pense à la région de Caere (Cerveteri), grande cité exportatrice de vin, connue également pour ses ateliers de bronziers, dont le port d'embarquement principal était Pyrgi (Santa Severa).

Les bassins en bronze empilés et les disques à rebord perlé trouvés dans le navire étaient connus en Gaule dans les sépultures riches de la région d'Aix-en-Provence et aux alentours de Lattes.

Quant à la céramique mise au jour lors du dévasage, elle correspond à un complément de fret qui se répartit en trois catégories distinctes. Il s'agit d'abord de vases grecs à vernis noir représentés par des coupes attiques de type Bloesch C, à pied à tige, d'un type légèrement postérieur à celles de l'épave grecque Pointe Lequin 1A (Porquerolles, Var) datée vers 515 avant J.-C. On note également parmi ces productions grecques un askos oriental à "Figures noires" et bandes peintes. Cette vaisselle, qui constitue un excellent "fossile-directeur" pour la période archaïque, situe le naufrage dans le dernier quart du VI<sup>ème</sup> siècle, sans doute aux alentours de 500 avant J.-C.

Un deuxième groupe d'origine étrusque comprend des urnes ovoïdes, une coupe basse de type buccheroïde et trois mortiers dont la pâte est proche de celle des amphores. La dernière catégorie s'apparente à des urnes et des cruches en pâte claire dont l'origine exacte, étrusque ou grecque, n'est pas clairement définie.

Sur l'arrière du navire, le mobilier de bord se composait d'une meule, une pointe de lance en fer, une olpé en pâte claire et d'un petit nombre d'amphores diverses : grecques, massaliètes et étrusques. Ces dernières, différentes de celles du chargement, sont proches du type Py 5. Parmi le groupe d'amphores grecques, l'une d'elle, originaire de Calabre, portait sous la lèvre un nom d'origine étrusque qui désigne vraisemblablement un marin du bord. Du coup, si la présence d'amphores grecques parmi le mobilier de bord pouvait suggérer l'hypothèse d'un bateau grec ou massaliète se livrant à la redistribution de produits étrusques, le fait que l'une de ces amphores porte une signature étrusque paraît plaider en faveur d'un équipage toscan.

Bien conservée sous le chargement, la coque du navire a été explorée au cours de deux sondages profonds, après le démontage de la cargaison. L'un a été implanté au sud-ouest et l'autre à l'est, sur l'extrémité arrière de l'épave, où fut découvert le gouvernail latéral, conservé sur une hauteur de 1,24 m. La caractéristique des membrures et l'abandon partiel de la liaison par ligature au profit de l'assemblage par tenon et mortaise, à l'exception des extrémités du navire, nous renvoie directement à l'épave grecque archaïque *Jules Verne 7*, découverte dans le port de Marseille. Quoi qu'il en soit, l'épave *Grand Ribaud Fs* apparaît visiblement au plus gros navire connu à ce jour pour la période archaïque.

La comparaison entre le chargement, originaire d'Etrurie méridionale, et le mobilier mis au jour sur le site portuaire de Lattes et sur les oppida de l'arrière-pays désigne logiquement cet horizon barbare comme principale destination du navire. De fait, les cordages qui arrimaient les récipients entre eux sur l'épave, renforcent l'idée d'une masse homogène, unitaire et soigneusement scellée, qui échappe au commerce mixte et à la distribution par relais que sous-entend l'emporion grec.

Les prochains objectifs consistent à réunir la logistique et les financements nécessaires à une fouille globale du site. D'un haut niveau technologique, cette mission posera dans le même temps les bases d'une nouvelle forme d'archéologie sous-marine où le plongeur devra céder sa place aux engins actionnés à distance. Ainsi, sur cette épave exceptionnelle les archéologues tenteront d'asservir les progrès technologiques aux rigoureux impératifs de la recherche scientifique.

### ■ Photogrammétrie sous-marine au service de l'archéologie profonde

Quelques fouilles d'épaves, en France, à des profondeurs accessibles à l'homme, ont donné lieu à des photogrammétriques avec restitutions tridimensionnelles. Ce fut d'abord le cas en 1975 de l'épave d'amphores romaines de la Madrague de Giens, puis en 1986 sur le site Grand Ribaud D, chargé de dolia ([Hesnard, 1988]) et sur celui des blocs de calcaire de Carry-le-Rouet (Long, 1988).

Mais, par la rapidité de sa mise en place qui évite désormais le recours aux cadres et aux portiques pesants, la photogrammétrie s'est avérée très efficace depuis ces dernières années dans le domaine des gisements profonds. Du coup, profitant de l'expérience acquise depuis près de quinze ans

- ■ ■ sur plusieurs gisements archéologiques qui échappent à la plongée classique à l'air, la fouille de l'épave *Grand Ribaud F* marque par ses propres innovations une étape supplémentaire dans le développement de l'archéologie sous-marine à grande profondeur ([Long 1995 ; 1998]). Nous y avons testé et validé de nouvelles méthodes, même si la hauteur d'eau n'interdisait pas totalement le recours aux plongeurs lorsque la nécessité s'en faisait sentir<sup>2</sup>.

Précisons, au préalable, que la phase de couverture stéréophotogrammétrique avait déjà été largement développée dans les années 1990, à partir de divers sous-marins utilisant selon le cas des appareils semi-métriques ou des chambres métriques, argentiques. Ce fut notamment le cas en 1993 sur l'épave romaine *Plage d'Arles 4*, par 662 m de fond, puis sur celle du vaisseau *La Lune*, perdu en 1664 par 88 m de fond, au large de Toulon. Enfin, c'est en 1996 que la méthode fut perfectionnée, en baie de Marseille, sur l'épave romaine *Sud-Caveaux 1*, par 64 m de fond [Long 1998]. C'est toutefois en 1964 que le sous-marin *Asherah*, avec le soutien financier de la *National Geographic Society*, avait inauguré en Turquie, par 35 m de fond, les toutes premières prises de vues stéréoscopiques, sur l'épave byzantine *Yassi Ada 2* [Bass 1970 ; Bass, Rosencrantz 1973]. Réalisée aujourd'hui en une seule journée par une équipe bien entraînée, jusqu'à une profondeur qui peut atteindre 6000 m (limite d'intervention du sous-marin Nautile, IFREMER), l'opération consiste d'abord à équiper le site d'un certain nombre d'éléments indispensables au relevé photogrammétrique. Il s'agit d'établir de longueur pour la mise à l'échelle et de flotteurs pour l'orientation du référentiel, sur la verticale.

Sur l'épave *Grand Ribaud F*, le choix de la photographie numérique permettait de valider les prises de vues dès la remontée en surface du sous-marin et d'effectuer des mesures de contrôle le jour même, à bord du bateau. Cette couverture était nécessaire, pour mémoriser l'état de l'épave et permettre l'élaboration d'un plan du site et une reconstruction 3D utilisant conjointement les données observées sur le terrain et les hypothèses archéologiques.

## ■ Les systèmes de gestion de l'information en archéologie

Depuis plusieurs années les Systèmes d'Informations Géographiques sont devenus des outils quasi courants pour les archéologues<sup>3</sup> qui voient dans cette technologie l'alliance entre la grande masse d'informations collectée sur le terrain et la représentation graphique support de l'analyse. ([Barceló, 2000], [Brovelli, 2000], [Lianos, Patias, 1999]) Les représentations graphiques des SIG sont le plus souvent issues du domaine cartographique, c'est-à-dire alliant vecteur, image et symbolologie dans des outils de visualisation 2D. La culture séculaire de lecture des cartes (voir l'ouvrage de Christian Jacob à ce propos, [Jacob, 1992]) est un atout majeur dans l'utilisation des SIG et probablement un des obstacles à la constitution d'un SIG 3D. En effet, outre l'aspect réaliste, la puissance d'un SIG est aussi liée à la représentation cartographique symbolique des données offrant une expression synthétique de l'analyse des données. [Brovelli, 2000]

Si la représentation 2D suffit à rendre compte du travail archéologique en ce qui concerne une échelle urbaine ou plus grande, appliquée à une période dont les traces en élévation sont inexistantes, il n'en est pas de même quand les études sont menées à l'échelle de l'édifice ou dans le cas présent du navire. Le besoin de représentation 3D est alors primordial et la compréhension globale de l'étude passe par ce type de représentation.

## ■ Le projet ARPEUTEUR

ARPEUTEUR (pour ARchitectural PhotogrammEtry Network Tool for EdUcation and Research) est un ensemble d'outils logiciels développés en collaboration avec l'Equipe PAGE à Strasbourg du laboratoire MAP. Ces outils sont basés sur le concept d'utilisation en réseau et s'appuient sur les techniques de communication HTTP et FTP. Des exemples peuvent être consultés sur le site Internet <http://arpenteur.gamsau.archi.fr>.

Les principales justifications du projet sont les suivantes :

- Comme logiciel pour l'éducation et la recherche, le langage de développement JAVA™ fournit un outil et une technologie permettant à des équipes de travailler sur des sites et des systèmes distincts et distants, un moyen commode de travail et d'échange.
- Comme outil dédié à l'architecture, ARPEUTEUR bénéficie de l'expertise des deux équipes dans les domaines de la photogrammétrie rapprochée et de la représentation des connaissances architecturales.
- Comme outil dédié à la photogrammétrie, ARPEUTEUR est un système simple et doit être classé parmi les systèmes légers de photogrammétrie, légers au sens de sa simplicité d'utilisation et qui ne requiert pas de matériel d'exploitation lourd.

L'intégration de ces objectifs dans un même ensemble s'appuie sur des choix techniques et conceptuels.

Le premier de ces choix consiste à utiliser des images digitales obtenues à l'aide d'appareils de photographie numérique que l'on trouve aujourd'hui dans le commerce et dont certains présentent des caractéristiques suffisantes en ce qui concerne la qualité des images. Ces images numériques offrent également à l'utilisateur des outils de traitement qui automatisent certaines des tâches habituellement réalisées par un opérateur humain. Enfin, elles permettent l'intégration totale de la chaîne de traitement depuis les

(2) Avec les équipages de L'Archéonaute (Drassm) et du Minibex (Comex), les plongeurs qui se sont succédés sur l'ensemble des trois opérations étaient (par ordre alphabétique) : F. Bassemayousse, O. Benslimane, J.-C. Cayol, C. Chary, N. Cler, X. Coquoz, G. Dauphin, H.-G. Delauze, A. Del'homme, J.-D. Ferré, S. Fontaine, E. Gottwalles, J. Gory, N. Gilbert, P. Giustiniani, R. Graille, P. Grandjean, S. Greck, A. Grousset, O. Hulot, J.-P. Joncheray, P. Lauric, L. Leru, L. Long (chef de mission), D. Mageaud, S. Marlier, C. Marshal, J.-M. Mazier, S. Mercier, P. et S. Périno, Popof Tcherniomordick, J. Ramone, M. Rival, N. Rouers, G. Savon, M. Tavernier, J. Toulet, L. Vanrell, J.-L. Verdier, B. Vicens et Jo Vicente. D. Bourgal, J. Crawford, P. Drap, C. Lima, P. Nérhot et N. Vincent.

(3) Un grand nombre de recherches est mené dans cette direction, comme en témoigne le travail de l'UISPP qui en 1996 consacra son XIII<sup>e</sup> congrès à ce problème : "Archaeological Applications of GIS", XIII<sup>e</sup> congrès de l'UISPP à Forlì, Italie, 1996.

photographies jusqu'à certains résultats finaux comme la visualisation en 3 dimensions dans des logiciels de CAO-DAO 3D.

Cette intégration est mise à profit pour servir un autre choix, conceptuel, fondé sur l'idée d'un processus guidé par les connaissances relatives au domaine. Concernant l'architecture aussi bien que l'archéologie, il s'agit de permettre à l'expert du domaine d'exploiter ses connaissances pour produire au mieux un résultat conforme à ses vœux. Le résultat peut se présenter sous la forme de documents de relevé, de fichiers dédiés à la visualisation ou en corpus destiné à une base de données. Pour cela, le système fournit à cet expert un ensemble d'outils lui permettant d'exprimer des hypothèses relatives à son champ d'investigation, hypothèses dont l'utilisation conduit à un allègement du processus de mesurage. Parmi celles-ci, citons par exemple, la création d'un corpus représentant les objets présents dans le champ d'investigation.

Comme bénéficiaire de ces choix, ARPENTEUR apparaît comme un outil développé pour des professionnels de l'architecture ou de l'archéologie avec une intervention réduite de l'expert photogrammètre.

L'arpenteur utilise les connaissances de l'expert tout au long du traitement photogrammétrique, il utilisera donc diverses connaissances afin d'alléger les différentes étapes du processus. Voici rapidement les niveaux de connaissances utilisés en fonction des étapes du procédé photogrammétrique.

- Le premier niveau est géométrique. La connaissance que l'on a des objets étudiés est tout d'abord géométrique, souvent les objets manufacturés peuvent s'approcher par une succession de primitives géométriques. L'arpenteur étant un outil de photogrammétrie, nous nous efforcerons donc de prendre en compte la géométrie des objets, géométrie 3D, et d'en calculer une possible projection perspective sur la photo afin d'anticiper le geste de l'archéologue utilisant l'outil. Ces développements fortement axés sur le calcul géométrique et le traitement d'image sont très prometteurs, ils ont débouché sur le procédé I-Mage (Image processing and Measure Assisted by GEometrical primitive) qui a ouvert les portes aux développements visant à intégrer la photogrammétrie et les techniques de Laser Scanner au sein d'un seul et même outil de relevé [Drap, Grussenmeyer, Curtinot, Seinturier, Gaillard, 2004].
- Le second niveau est encore géométrique avec cependant une composante cognitive importante. Il s'agit d'utiliser la notion de modèle lié aux objets mesurés pour pouvoir compléter un ensemble de mesures. Ces mesures sont incomplètes soit parce que l'objet n'est vu que partiellement, soit parce que l'objet est endommagé lors de la prise de vue. La stratégie de reconstruction de l'objet est déterminée par un système expert qui applique un ensemble de règles faisant partie de la description de l'objet.
- Enfin, le dernier niveau de traitement utilisant les connaissances du domaine est celui de l'analyse et de la présentation des résultats. Un procédé photogrammétrique peut produire une grande quantité de résultats, il convient donc de savoir les organiser, les présenter et les utiliser en les fusionnant à d'autres données. Il s'agit ici

d'utiliser les capacités de la photogrammétrie pour faire un pas vers un système d'information patrimonial, liant les données géo référencées à un ensemble de données préexistantes. Les modèles 3D générés servent ici d'interface vers des bases de données qui peuvent être mises à jour indépendamment du relevé photogrammétrique. La connaissance du domaine est utilisée dans un processus de contrôle de cohérence des données (cohérence spatiale par exemple) et par l'application de règles de fusion et de révision des informations tout au long des fouilles archéologiques.

#### Formats des données

Depuis 2002, les données utilisées et générées par l'arpenteur sont stockées sous forme de fichiers XML. Le langage XML, qui repose sur le principe de marquage, permet de dissocier le contenu de sa description. Ce qui assure une bonne structure à l'information et facilite les échanges et partages de données.

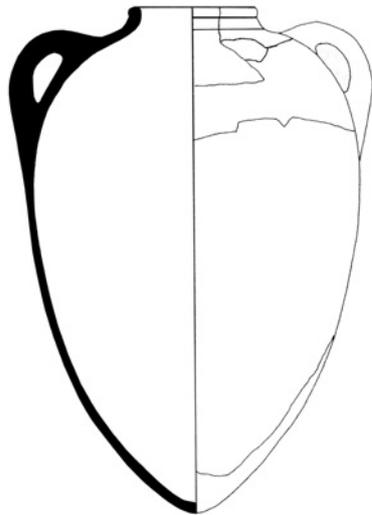
Ainsi, il est possible par exemple d'importer un projet élaboré sous PHOTOMODELER™ et d'en retirer toute l'information nécessaire grâce à une traduction au format XML. On peut donc envisager d'exploiter sur arpenteur un chantier multiimages mis en place sous PHOTOMODELER™.

#### ■ L'élaboration d'un corpus spécifique

Le système de gestion documentaire proposé dans ce travail repose sur l'hypothèse de l'existence d'un modèle théorique des objets architecturaux étudiés. Nous pouvons ainsi proposer un modèle théorique depuis les amphores jusqu'aux éléments constitutifs du navire. Ce modèle a pour vocation de décrire d'une part une typologie d'objet, travail qui fut entrepris par exemple dès 1899 par Heinrich Dressel pour la première classification des amphores, et d'autre part un ensemble de relations décrivant le comportement et l'agencement de ces objets entre eux.

#### Typologie des amphores :

Toutes les amphores du chargement, à bord de l'épave, sont d'origine étrusque. Simple emballage perdu fabriqué en série par une main d'œuvre servile, l'amphore commerciale était, dans l'Antiquité, indiscutablement liée au transport maritime et pouvait se retrouver à des milliers d'exemplaires sur un même navire. Si c'est particulièrement le cas pour l'époque romaine, on ne connaissait pas jusque-là, pour la période archaïque, avant le *Grand-Ribaud F*, de navire aussi lourdement chargé d'amphores. Il faut préciser, de manière générale, que les amphores que l'on retrouve sur tout le pourtour de la Méditerranée, ont servi à conditionner en très grande quantité pour un coût modeste les denrées alimentaires de base. C'est le cas du vin, que l'on retrouve notamment dans nos amphores étrusques, mais d'autres produits pouvaient être conservés dans ces récipients en terre cuite : huile, olives, viandes, conserves de poissons, sauces, saumures... Produites pour un seul voyage, les amphores apportent en conséquence une documentation exceptionnelle et donnent l'occasion aux archéologues, amphorologues et historiens, de saisir à travers elles les structures, l'organisation et les pulsations mêmes du commerce et de l'économie antiques.



**Amphore phénicienne d'occident de type P. Cintas 268. A la fin du VIII<sup>e</sup> siècle et au VII<sup>e</sup> siècle avant J.-C., les amphores les plus anciennes de ce groupe sont probablement phéniciennes, tandis que les plus récentes sont étrusques (d'après [Gras 1985], p. 295, fig. 40).**

- ■ ■ Au VII<sup>e</sup> siècle avant J.-C., les premières amphores étrusques connues, en forme d'obus, furent vraisemblablement inspirées de certaines productions phéniciennes occidentales qui font leur apparition en Etrurie dès les dernières années du VIII<sup>e</sup> siècle. Sur ce point, M. Gras a mis en exergue le type 268 de P. Cintas, qu'il faut sans doute ranger parmi leurs prototypes. Généralement massives, pansues et dépourvues de col, les amphores étrusques sont munies d'une lèvre ou d'un bord en bourrelet et d'anses à profil arrondi. Si F. Benoit, en 1956, identifia le premier ce type d'amphores sur l'épave de la Love, à Antibes, les divers types qui caractérisent cette longue production ont ensuite été individualisés par F. et M. Py, en 1974, dans une étude sur les importations en Vaunage et à Villevielle (Gard). Onze ans plus tard, M. Gras et M. Slaska, complétèrent cette classification en proposant une typologie des amphores d'Etrurie méridionale. Entre ces deux dates, d'autres chercheurs ont tenté à leur tour d'ordonner les productions étrusques, notamment B. Bouloumié (1980), M. Carduner (1981), G. Marchand, (1982), tandis que plus récemment J.-C. Sourisseau (1997) dressait un bilan synthétique des divers travaux.

Au total, deux séries principales d'amphores étrusques peuvent être isolées : les amphores à fond plat (forme 1-2 et 5) et celles à fond pointu ou bombé, puis taillé, comme sur l'épave (formes 3A, 3B, 4 et 4A). Une bonne partie des formes à fond plat peut être attribuée à la région de Vulci, bien que certaines d'entre elles puissent également provenir de Campanie. Les amphores à fond pointu et bombé, en particulier les formes 3A et 3B, caractéristiques du VI<sup>e</sup> siècle avant J.-C. ont sans doute été produites simultanément dans plusieurs centres bien distincts. Une partie d'entre elles est issue des ateliers de la région de Caere (Cerveteri), alors qu'un autre groupe important provient d'un centre de production encore mal déterminé, peut-être situé dans la vallée de la Fiora, au nord de Vulci.

Pour la période qui nous intéresse, soit la fin du VI<sup>e</sup> siècle et le début du V<sup>e</sup> siècle, les productions à fond pointu (formes 4) semblent bien constituer pour l'essentiel l'évolution des productions de la région de Caere. Celles empilées dans la cale de l'épave *Grand Ribaud F* (type Py 4, ou encore groupe EMD de M. Gras) ([Py M. et F., 1974]), présentent une forme pansue avec un bord en amande collé directement en haut de la panse, qui ne laisse pas de place au col. La base de la lèvre est parfois soulignée d'une strie bien marquée, les anses de section ronde sont massives, le fond en pointe aplatie est "taillé" selon l'expression consacrée. Les quelques quatre cents exemplaires récupérés à ce jour sur l'épave attestent d'une production très standardisée qui provient sans doute du même atelier. Les observations détaillées de la pâte, le plus souvent grise ou rose en fracture, avec une âme grise ou noire ([Long, Drap, Gantès, Rival 2002] page 23), mettent en évidence une fabrication homogène qui se rattache aux types 1 et 6 du groupe 2 de J.-C. Sourisseau, ce qui confirme une origine cététaïne ([Sourisseau, 1997] page 53). La couleur varie à l'extérieur du gris au rose, avec de nombreux grains de mica et des nodules oranges. Si cette forme paraît relativement bien normalisée à bord, elle présente néanmoins des variations de capacité qui individualisent plusieurs groupes. L'examen statistique effectué par A. Durand (Map-Gamsau) sur un grand nombre d'individus nuance nos premières estimations, publiées en 2002 ([Long, Drap, Gantès, Rival 2002] page 23), Le groupe principal est compris entre 29 et 33 litres, avec un pic autour de 30 litres. Un deuxième groupe oscille entre 26 et 28 litres tandis qu'aux extrémités se trouvent d'un côté quelques amphores ne dépassant pas 25 litres et de l'autre des contenants volumineux compris entre 35 et 37 litres. La plupart des bouchons de liège, collés à la poix, ont été retrouvés à l'intérieur des récipients, sous l'effet de la pression. Des restes de sarments de vigne et les traces d'usure par frottement, observées dans la terre cuite, attestent qu'elles étaient calées avec du feuillage et arrimées entre elles par des liens.

Du point de vue chronologique, les amphores Py4 apparaissent entre 525 et 500 sur les sites de consommation de l'Hérault et du Gard où elles sont les plus nombreuses ([Py M. et F., 1974]). A Marseille, J.-C. Sourisseau note leur arrivée dès les premières années du V<sup>e</sup> siècle ([Sourisseau, 1997], page 52). Cette forme dont la présence est encore très forte dans le premier quart du V<sup>e</sup> siècle, va décroître rapidement et disparaîtra vers 425, remplacée par le type 4A, à lèvre en bandeau. Largement diffusée entre la Campanie et la Catalogne, cette amphore est attestée sur tout le littoral gaulois avec une concentration particulière, nous l'avons vu, en Languedoc oriental, dans la zone d'influence de Lattes<sup>4</sup>. Un exemplaire utilisé comme objet de bord sur l'épave massaliète Pointe Lequin 1B est daté du deuxième quart du V<sup>e</sup> siècle [Long 1990].

Lors du sondage effectué sur l'épave en 2001, une amphore recueillie à même le bois était encore obturée, mais l'eau de

(4) M. Py, A. M. Adroher Auroux, C. Sanchez, Corpus des céramiques de l'Âge du fer de Lattes (fouilles 1963-1999), Dicocer 2, T1, Lattara 14, Lattes, 2001, p. 24-25.



**A gauche, traces d'usure sur les amphores ; milieu, réalisation expérimentale de l'empilement des amphores. Simulation dans les locaux du DRASSM sur des amphores retirées du site. A droite reconstitution du chargement au Musée d'Histoire de Marseille.**

mer s'était substituée au contenu par des micro fissures. Elle présentait sur la panse une marque peinte à la résine qui s'apparente à une inscription étrusque.

Lors de la mission 2002, le sondage profond implanté à l'aide du ventilateur blaster à l'arrière du navire, au départ de l'étambot, laissait apparaître la fin du chargement. Une trentaine d'amphores Py 4 entières ont été remontées de ce secteur. Le tamisage de ces récipients, en surface, par J. Crawford, a livré des pépins de raisin et de nouveaux fragments de sarments de vigne utilisés pour caler les amphores ([Long, Drap, Gantès, Rival 2002] page 23),

La forme du sondage et les mauvaises conditions de travail à cette profondeur ne facilitaient pas le comptage des couches. Les premières restitutions photogrammétriques de la tranchée opérée jusqu'au bois en 2001, à l'ouest du site, laissent envisager, nous le verrons, l'existence de six couches d'amphores superposées. Ce qui, compte tenu des dimensions du navire, incite à penser que l'épave renfermait au moins un millier d'amphores Py4, soit une charge de l'ordre d'une quarantaine de tonnes.

### **Des relations liant les objets**

#### *Examen du cas d'étude*

Après un examen attentif du mobilier archéologique issu de l'épave, nous avons observé des traces d'usure très nettes sur les anses, sur la lèvre et sur la panse de certaines amphores. Ces traces de frottement confirment qu'une partie au moins des récipients était solidement arrimés par des liens d'environ 6 à 7 mm qui ont entamé l'argile profondément. Du coup, des vérifications faites sur d'autres amphores étrusques recensées dans les dépôts du DRASSM ont mis en évidence des marques similaires qui étaient jusque-là passées inaperçues. Sur les récipients de l'épave, certaines de ces traces d'usure partent de l'anse (très entamée en profondeur) et se poursuivent plus bas sur la panse, indiquant que les amphores du haut étaient parfois attachées à celles de la couche inférieure. Cette remarque nous porte à croire que le chargement était arrimé comme un bloc unitaire et homogène et échappait

ainsi au commerce de redistribution d'un port à l'autre que sous-entend l'emporion grec. Il rappelle plus vraisemblablement le commerce étrusque sur de longues distances, de cité à cité, qui était régi par des traités et des alliances, tel que l'illustre pour le VI<sup>e</sup> siècle avant J.-C. l'épave de la Love à Antibes.

On signalera en outre sur le *Grand Ribaud F* qu'un certain nombre d'amphores présentent un orifice ou un sillon plus ou moins grand, parfois allongé, situé sur le milieu de la panse ou à 13 ou 14 cm en dessous de son diamètre maximal. Cette détérioration se situe très exactement au point de contact et donc de frottement avec la lèvre des amphores inférieures.

Cette constatation qui se vérifie sur les images du sondage où les couches sont encore bien agencées, a pu être mise parfaitement en évidence par ailleurs lors de l'empilement expérimental. Ces traces d'usure nous servaient en même temps de point de calage.

Au-delà de l'intérêt archéologique de telle reconstitution, avec des moyens de fortune ou de réelles visées muséographiques, ces tentatives de reconstruction du chargement mettent en évidence les véritables besoins des archéologues : l'obtention de maquettes tridimensionnelles pour mettre en scènes des hypothèses archéologiques. L'obtention de modèles 3D fidèles à chaque amphore, sa position et son orientation dans le site lors de sa découverte a été notre objectif principal lors de ces diverses campagnes.

Mais nous arrivons ici au terme de la première partie. Nous avons abordé les problèmes posés à l'archéologue désireux de conserver une copie fidèle du site qu'il étudie et qu'il détruit dans le même temps. Nous verrons dans la suite de ce travail comment la photogrammétrie, adaptée au milieu marin, peut générer des représentations tridimensionnelles fidèles qui vont se substituer au gisement et permettre à l'archéologue de poursuivre ses observations dans un milieu créé au plus près du terrain, mais qui n'impose plus d'immersion dangereuse.

A suivre dans XYZ n°104... ●

## ■ ■ ■ Contacts

### Pierre DRAP

MAP UMR CNRS 694, Ecole d'Architecture,  
184 avenue de Luminy, 13288 Marseille Cedex 09, France  
Pierre.Drap@gamsau.archi.fr

### Luc LONG

D.R.A.S.S.M, Département des Recherches Archéologiques  
Subaquatiques et Sous-Marines, Fort Saint-Jean, 13235  
Marseille 02, France  
Luc.Long@culture.gouv.fr

## Références bibliographiques

[Barceló, 2000] Juan A. Barceló – *Visualizing what might be. An introduction to virtual reality techniques in archaeology.* VIRTUAL REALITY IN ARCHAEOLOGY, Edited by Juan A. Barceló, Donald Sanders, Maurizio Forte. Published by Archéopress PO Box 920 Oxford OX27YH, 2000.

[Bass, 1970] Georges F. Bass – “*Archaeology under Water*”, a Pelican Book, Harmondsworth, 1970, 183

[Bass, Rosencrantz 1973] Georges F. Bass, Donald Rosencrantz – “*L'utilisation des submersibles pour les recherches et la cartographie photogrammétrique sous-marine.* In : *L'archéologie subaquatique, une discipline naissante*”, Paris, Unesco, 1973, p. 285-298.

[BonFigli, Guidazzoli, 2000] Maria Elena BonFigli, Antonella Guidazzoli – *A www virtual museum for improving the knowledge of the history of a city* VIRTUAL REALITY IN ARCHAEOLOGY, Edited by Juan A. Barceló, Donald Sanders, Maurizio Forte. Published by Archéopress PO Box 920 Oxford OX27YH, 2000.

[Brovelli, 2000] Maria Antonia Brovelli – *Archeogis: an interoperable model for archaeological data*, XIXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), *Geoinformation for all, Amsterdam 16-23 July 2000.* Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol XXXIII, Tome IV-B commission IV, pp 140, 148.

[Drap, Grussenmeyer, Curtinot, Seinturier, Gaillard, 2004] P. Drap, P. Grussenmeyer, P.Y. Curtinot, J. Seinturier, G. Gaillard – “*Presentation of the web based ARPEUTEUR tools: towards a Photogrammetry based Heritage Information System.*”, ISPRS XXth CONGRESS, Turkey, Istanbul, 12-23 July 2004

[Gras, 1985] Michel GRAS : “*Trafics Tyrhéniens Archaiques*”. BEFAR 258, Rome, 1985. 773 pages.

[Hesnard, 1988] A. Hesnard et al. *L'épave romaine Grand Ribaud D (Hyères, Var)*. *Archaeonautica* 8 (1988) 55 planches.

[Jacob, 1992] Christian Jacob – *L'empire des cartes. Approche théorique de la cartographie à travers l'histoire*, Bibliothèque Albin Michel, Histoire. Paris, 1992. ISBN 2-226-06083-9.

[Lianos, Patias, 1999] Nikolaos Lianos, Petros Patias – *A virtual underwater archaeological park, ISPRSS WGV/5 and WGV/2 joint workshop, Photogrammetric measurement, object modelling and documentation in architecture and industry.* Thessaloniki, Greece, 1999. ISBN 960-431-535-8. pp 259, 265.

[Long, 1988] Luc Long – *The Ancient wreck of Carry-le-Rouet : evidence of sea transport of stone in the 2nd or 1st century B.C.* in *Archeology in solution*, proceedings of the Seventeenth annual conference on underwater archaeology, ed. John W. Forster, Sheli O. Smith, Sacramento, 1988, p. 22-27.

[Long, 1990] Luc Long – *Amphores massaliètes, Objets isolés et*

*gisements sous-marins du littoral français méditerranéen*, in *Les amphores grecques de Marseille, Etudes Massaliètes*, 2, 1990; [Long, 1995] Luc Long – “*Les archéologues au bras de fer. Nouvelle approche de l'archéologie en eau profonde.*” In : *Protection du Patrimoine Archéologique Sous-Marin en Méditerranée.* 100 sites d'intérêt commun méditerranéen. Documents techniques V, AMPHI, Marseille, 1995, p. 14-46.

[Long, 1998] Luc Long – “*L'archéologie sous-marine à grande profondeur : fiction ou réalité.*” In : *Archeologia Subacquea, Come opera l'archeologo sott'acqua, Storia dalle acque, VIII ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia*, Certosa di Pontignano, Siena, 9-15 dicembre 1996, Siena, 1998, 341-379.

[Long, Gantès, Drap 2000] Luc Long, Louis-François Gantes, Pierre Drap – “*Premiers résultats archéologiques sur l'épave Grand Ribaud F (Giens, Var). Quelques éléments nouveaux sur le commerce étrusque en Gaule, vers 500 avant J.-C.*” Dans : *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*, 14, 2002, p. 5-40.

[Long, Drap, Gantès, Rival 2002] Luc Long, Pierre Drap, Louis-François Gantes, Michel Rival – “*Presqu'île de Giens, l'épave étrusque Grand Ribaud F.*” *Bilan Scientifique du DRASSM*, 2001 (2002), p. 74-77.

[Py, 1972] Michel Py – *Les disques perlés en bronze du Languedoc oriental*, in : *RSL*, 38, 1972, 1, p. 27-61.

[Py M. et F., 1974] François et Michel Py – *Les amphores étrusques de Vaunage et de Villevielle (Gard)*, in : *MEFRA* 86, 1974, 1.

[Py, 1985] Michel Py – *Les amphores étrusques de Gaule Méridionale*, in : *Il commercio etrusco arcaico, Atti di Roma*, 5-7 dicembre 1983, 1985, p.73-94.

[Sourisseau, 1997] Sourisseau J.-Chr. – *Recherches sur les amphores de Provence et de la Basse Vallée du Rhône aux époques archaïque et Classique (fin VII<sup>e</sup>-début IV<sup>e</sup> s. av. J.-C.)*, thèse de doctorat, Aix-en-Provence, 1997.

## ABSTRACT

*This article relates the survey and the representation of the deep underwater archaeological site. The process is founded on a photogrammetric tool controlled by an Expert System using a knowledge base resulting from the archaeological expertise. The survey is thus based on the concept of a geometrical and cognitive model and produces a three-dimensional representation of the site like no archaeologist, subjected to the constraints of the deep diving, had been able to observe himself. This approach was successfully tested on the excavation of the Grand Ribaud F Etruscan wreck, near the peninsula of Giens (Hyères, Var, France). The archaeological importance of the site and its great quantity of amphorae were determining factors in the choice of this wreck as experimentation. Beyond the survey site and its representation we were interested by the data persistence through XML formalism and how these data can be accessed from the resulting geometrical representation, 2D and 3D. An Internet site allows consulting the progress report of this project and the last archaeological results. (<http://GrandRibaudF.gamsau.archi.fr>).*