

ARCHÉOLOGIE SOUS-MARINE: RELEVÉ ET RÉALITÉ VIRTUELLE POUR L'ÉTUDE DE SITES INACCESSIBLES

1. INTRODUCTION

L'archéologie sous-marine profonde, au delà de 60 mètres, limite légale de la plongée en scaphandre autonome en France, ne peut s'envisager sans un moyen fiable et précis de relevé. L'accès au site est soit réservé aux passagers des rares sous-marins dédiés à l'archéologie, soit se fait par le biais de robots équipés de retour vidéo. Dans ces deux cas l'analyse du site se fait sur place, avec des équipements extrêmement onéreux même si l'on peut bien sûr visionner à nouveau les documents enregistrés sur site (vidéo, photo, balayage SONAR en deux ou trois dimensions).

Le besoin d'une étude du site faite en dehors des conditions maritimes et s'appuyant sur des documents métriques, véhiculant des informations qualitatives du type photographique, s'est fait sentir très tôt.

La première idée fut d'effectuer des relevés les plus exhaustifs possibles afin de produire un fac-simile virtuel qui permettrait l'étude du site en laboratoire séparant totalement la phase d'acquisition des données de la phase d'analyse.

Cette approche met en évidence un premier problème: l'acquisition des données nécessaires à l'élaboration du fac-simile est une opération complexe, coûteuse et encore du domaine de la recherche.

Nous proposons une nouvelle approche du relevé, fondé sur la connaissance, où la géométrie produite est le résultat de la fusion de données mesurées et d'hypothèses archéologiques. Le relevé est alors présenté comme une interprétation du monde réel s'appuyant sur des mesures objectives et sur une connaissance du domaine étudié.

Le modèle 3D produit devient alors plus riche que le simple fac-simile; il est évolutif, capable de révision et de mise à jour de connaissances comme d'ajout de nouvelles mesures. La réalité virtuelle est alors l'interface entre l'archéologue et les données relevées et analysées.

Le projet VENUS, Virtual ExploratiON of Underwater Sites, financé par la commission européenne dans le sixième programme cadre (FP6), de 2006 à 2009, avait pour but le développement d'outils et de méthodes pour le relevé et la visualisation de sites archéologiques sous-marins. Nous avons, à cette occasion, mis en œuvre des procédés originaux de relevé où la photogrammétrie sous-marine est utilisée conjointement à une définition ontologique des artefacts mesurés (principalement des amphores, mais aussi des tuiles et des briques).

2. LE RELEVÉ ARCHÉOLOGIQUE

La fouille archéologique est le plus souvent irréversiblement destructive, il importe alors de l'accompagner d'une documentation pertinente rendant compte des connaissances actuelles sur le site. Cette documentation est généralement iconographique et textuelle. Les représentations graphiques des sites archéologiques dessins, esquisses, aquarelles, photographies, topographies, photogrammétries sont un passage obligé de toutes fouilles, dans le cas de représentations métriques, comportant au moins une mise à l'échelle, pour parler de relevé. Cependant comme le souligne Olivier Buchsenschutz dans l'introduction au colloque *Images et relevés archéologiques, de la preuve à la démonstration*, en Arles en 2007 «Même très précis, le dessin ne retient que certaines observations pour soutenir une démonstration, tout comme un discours ne retient que certains arguments, mais ce tri n'est pas généralement explicite» (BUCHSENSCHUTZ 2008). Ceci pose en quelques sortes les fondements du travail présenté ici: le relevé sera tout à la fois une représentation métrique du site et une interprétation de ce même site par l'archéologue.

Deux familles d'objets seront à relever: des portions de terrain ou plus généralement des zones de l'espace, (quelquefois organisées en unités stratigraphiques mais rarement dans le contexte de l'archéologie sous-marine où la fouille représente souvent un moment précis, celui du naufrage) et les artefacts que l'on cherchera à positionner dans l'espace et éventuellement à représenter finement après une étude en laboratoire. Notre travail aborde ces deux aspects: le relevé de l'espace et celui des artefacts au travers de deux approches différentes l'une fondée uniquement sur la géométrie et la seconde utilisant des connaissances *a priori* lors de la mesure. Le relevé du terrain, par exemple, s'appuie sur des outils de photogrammétrie ou de topographie et n'est représenté que par un ensemble de points mesurés, reliés entre eux. Cet aspect du relevé ne sera pas développé dans cet article. La seconde approche, fondée principalement sur la connaissance que l'on a des artefacts mesurés, utilise cette connaissance pour dimensionner et positionner l'objet dans l'espace, plus généralement pour compléter les mesures toujours partielles que l'on peut effectuer. Cette approche peut également conduire à une minimisation de l'effort de mesure.

Enfin il convient de noter que par nature, les données archéologiques sont incomplètes, hétérogènes, discontinues et soumises à d'éventuelles mises à jour et révisions. Le système de documentation, lié au relevé, devra être en mesure de gérer ces différentes contraintes.

Ce travail est présenté du point de vue du relevé: c'est le relevé du terrain ou des artefacts qui offrira une interface à l'ensemble de la documentation archéologique. Le relevé, par nature 3D génèrera une interface 2D ou 3D selon

les besoins exprimés par les archéologues tout en conservant cette fonction d'interface vers la documentation.

2.1 Le relevé: une interprétation du monde

Le relevé, dans le contexte patrimonial, est une interprétation du monde réel faite dans un but déterminé *a priori*. Le relevé désigne souvent la production graphique mais est en fait une opération complexe qui implique trois composantes: l'outil de mesure, la connaissance experte de l'opérateur et enfin le medium utilisé pour la représentation graphique. Si le résultat final semble forcément plus pauvre (car la carte n'est pas le territoire), en revanche il portera et offrira un accès à la connaissance qu'en avait l'auteur. En cela le relevé est un véritable outil de connaissance, décrivant l'état actuel, tout en offrant la possibilité de mises à jour, de révisions, et de mise en scène de nouvelles hypothèses (GINOUVÈS 1987).

2.1.1 La mesure

Plusieurs techniques de mesure peuvent être utilisées, manuelles ou hautement technologiques, du dessin à main levée, par contact (calque), jusqu'au scanner laser en passant par des méthodes semi automatisées comme la topométrie ou la photogrammétrie. Ces outils et méthodes fournissent des données non interprétées, presque objectives. Presque car le choix d'une méthode de mesure conditionne déjà le résultat final par la résolution, l'échelle, le choix des conditions de mesure (lumière, stabilité, etc.).

2.1.2 La connaissance

Le relevé ne pourra être pertinent que s'il est conduit par un expert du domaine car au-delà même de la capacité à représenter, en amont, la capacité à voir, à reconnaître les détails que l'on veut représenter est indispensable.

Or pour pouvoir identifier dans une image un élément singulier il faut en avoir une connaissance *a priori*, l'opération consiste alors à reconnaître l'image d'un objet connu dans une photographie comportant d'autres objets, connus de l'opérateur ou non.

2.2 50 ans de photogrammétrie sous-marine pour l'archéologie

Les premières expériences de photogrammétrie sous-marine pour l'archéologie remontent aux années soixante (BASS 1970). Depuis l'intérêt de la photogrammétrie et des mesures acoustiques pour l'archéologie n'a cessé de croître (BASS, ROSENCRANTZ 1973; TCHERNIA, POMEY, HESNARD 1978).

Après la première expérience de relevé photogrammétrique depuis un sous-marin, c'est à Marseille qu'à lieu, pour la première fois en France, le relevé photogrammétrique d'une épave (LIOU 1973).

Réaliser des prises de vue stéréoscopiques nécessitait un important dispositif. Alors que le sous-marin Asherah embarquait deux appareils photographiques synchronisés, le relevé par plongeur à Marseille se faisait à l'aide de structures métalliques, fixes et coulissantes. Ces canevas sont installés sur site afin de guider les photographes car les prises de vue stéréoscopiques sont soumises à des contraintes géométriques fortes: les prises de vues doivent être faites en respectant les conditions physiologiques, humaines, de la stéréoscopie: axes optiques parallèles, pas de déversement (rotation autour de l'axe optique).

Cette approche lourde de la photogrammétrie sous-marine, due d'une part à la technique de prise de vue stéréoscopique et d'autre part aux méthodes de restitution par couples indépendant fut un frein important pendant des années. D'autres campagnes importantes sont à noter en France notamment la fouille de la Madrague de Giens (TCHERNIA, POMEY, HESNARD 1978; HESNARD 1989) qui fut conduite pendant plus de 10 ans et servit de terrain d'expérimentation pour le relevé archéologique.

Le relevé traditionnel d'une épave, est coûteux en temps, en moyens financier et exige une logistique complexe, du matériel sophistiqué et des ressources humaines hautement qualifiées (GREEN 1990; MARTIN *et al.* 1992).

Les contraintes spécifiques du milieu sous-marin (turbidité de l'eau, présence de particules en suspension) obligent les opérateurs à travailler à de grandes échelles, près de l'objet (entre 50 cm et deux ou trois mètres, selon la qualité de l'eau). Cet aspect est contraignant et impose une grande quantité de prises de vue néanmoins il procure une grande précision dans les résultats.

La photogrammétrie, quelques fois couplée avec la mesure acoustique est, à ce jour, la méthode la plus précise, non intrusive et ne mobilisant le site qu'un laps de temps très court, pour le relevé de structures sous-marine, de l'archéologie à la biologie marine en incluant les aspects industriels (TCHERNIA, POMEY, HESNARD 1978; HESNARD 1988; DELGADO 1997; POMEY, RIETH 2005).

3. LE RELEVÉ DES AMPHORES

Dans ce contexte, la mesure et la gestion des amphores de l'épave sont basées sur trois sources de données fortement incomplètes. La première représente le modèle théorique de l'amphore. Elle contient les normes géométriques nécessaires à la représentation graphique des récipients, les valeurs par défaut décrivant des dimensions caractéristiques de ces objets. La deuxième source est alimentée par le relevé photogramétrique des objets basé sur les photographies prises lors des fouilles. L'information de la troisième source provient des mesures effectuées en laboratoire sur ces

mêmes amphores, une fois qu'elles ont été récupérées. Dans ce travail, nous ne mentionnerons pas cette troisième source d'information (DRAP, SEINTURIER, LONG 2003).

3.1 *La première source: le modèle théorique*

Cette source s'implique dans l'expression graphique liée à la connaissance experte des archéologues (S1). Elle découle d'un modèle généré par l'observation des amphores. Ce modèle réunit des informations de diverses natures sur les objets étudiés: la description géométrique de leur morphologie sous la forme d'un ensemble d'attributs géométriques, les observations et mesures possibles sur les objets ainsi que la description des règles de calcul nécessaires pour évaluer les attributs géométriques en recourant aux observations effectuées.

La diversité des objets manipulés par l'archéologue et la complexité géométrique de leurs surfaces nous ont conduits à rechercher leurs caractéristiques morphologiques stables afin d'y effectuer les mesures nécessaires à l'étude.

Ces caractéristiques géométriques sont également décrites dans le modèle. Une série de primitives géométriques simples est utilisée pour approximer ces caractéristiques morphologiques. Elle est employée comme interface entre la mesure photogrammétrique et le modèle théorique (Fig. 1, Pl. XVI, a).

3.1.1 Le lien avec la photogrammétrie

Un ensemble de primitives géométriques simples servent à approximer ces particularités morphologiques et sont utilisées comme interfaces entre la mesure photogrammétrique et le modèle sous-jacent. La finalité de la mesure pouvant être double:

- Détermination des positions et orientations des objets dans le référentiel général du site; il s'agit ici de mesurer un objet dont la morphologie générale nous est donnée *a priori*.
- Les mesures donnant lieu au calcul des positions et orientations de l'amphore peuvent également servir à déterminer des caractéristiques intrinsèques de l'amphore, données qui sont généralement mesurées par une autre méthode quand l'amphore est remontée à la surface. Une détection de conflit entre la mesure photogrammétrique et ces données extérieures est mise en place sans toutefois qu'une décision soit prise par le système. Ces problèmes de fusion de données hétérogènes, de détection de faute et d'incohérences, de mise à jour et de révision de données ne seront pas abordés dans cet article. Ces aspects ont été traités dans le cadre du projet VENUS et les résultats de ce travail sont accessible sur le site du projet (<http://www.venus-project.eu/>) (DRAP *et al.* 2008). La mesure photogrammétrique est supportée par quelques

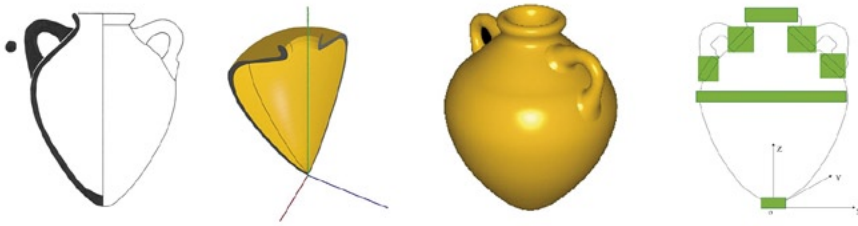


Fig. 1 – De gauche à droite: le modèle graphique élaboré par les archéologues, puis représentation numérique de ce modèle, enfin cinq zones d’une amphore sur lesquelles le relevé autorisé.

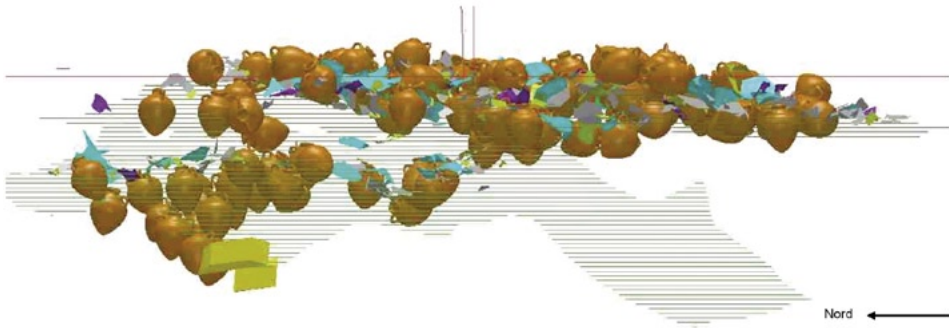


Fig. 2 – Vue synthétique des amphores découvertes lors des fouilles 2000 et 2001. A droite cliché *in situ* et restitution photogrammétrique.

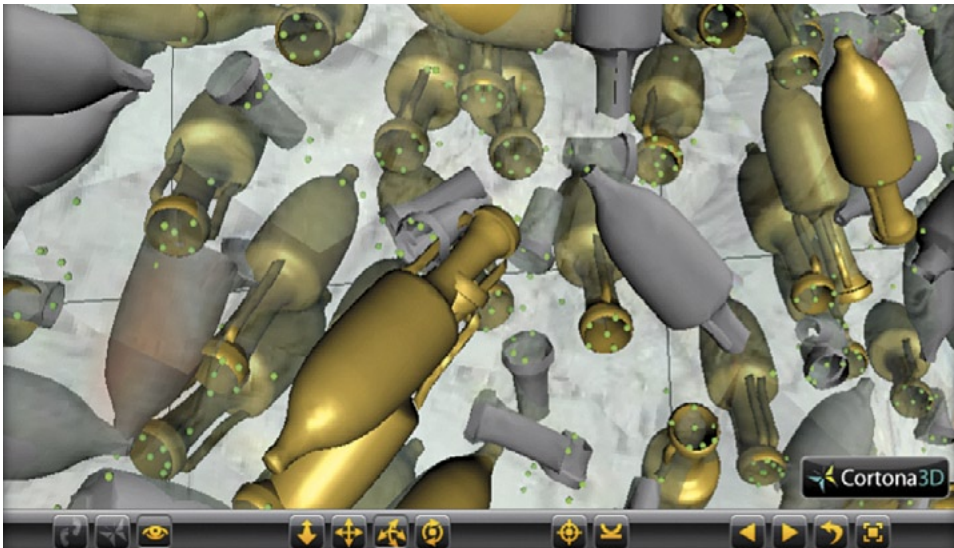


Fig. 3 – Amphores restituées et représentation avec VRML. Le lien avec la base de données est mono directionnel, de la représentation vers la base, il n’est en revanche pas possible (sauf au prix de développement important et d’une perte de portabilité) d’avoir un lien entre la base et la représentation comme par exemple de visualiser le résultat d’une requête sur la base.

points stratégiques de l'amphore (pointillé sur le schéma 1, à droite). Cinq zones servent à définir, de façon redondante, les paramètres de définition du référentiel de l'amphore. Si la mesure s'avère impossible sur certaines parties, le mécanisme de détermination du référentiel utilise les relations entre amphores (si elles existent) ou des valeurs par défaut. Le problème d'inférence de valeurs fondées sur des données incomplètes ou devant être remise en cause est fréquent en archéologie (DRAP *et al.* 2008).

Les informations contenues dans la source S1 vont au delà des aspects géométriques. Un ensemble de données non graphiques (bibliographie, iconographie) entrant dans la définition du "modèle" ne seront pas traitées dans cet article.

3.1.2 La seconde source: le relevé photogrammétrique

La seconde source de données (S2) provient des mesures photogrammétriques obtenues à l'aide des photographies prises sur le site. Ces informations sont de trois types: position et orientation des photographies dans le référentiel général du site, position et orientation des amphores identifiées et mesurées, détermination de quelques attributs morphologiques.

Pour chaque amphore observée sur au moins deux photographies, l'archéologue identifie le type de l'amphore et choisit une classe suggérée par le système, issue de la première source de données (S1). Une instance est créée et nommée de façon univoque, l'utilisateur peut alors commencer la phase de mesure (Fig. 2, Pl. XVI, b).

Les mesures ne peuvent être faites que sur les primitives géométriques définies dans le modèle (source S1). La morphologie complète de l'amphore sera déduite de ces primitives géométriques (voir les points mesurés, en vert, sur la Fig. 3, Pl. XVI, c).

Ces mesures sont fortement incomplètes car les amphores ne sont vues que partiellement sur les photographies et par ailleurs beaucoup d'entre elles sont en parties brisées ou envasées. Le rôle du système expert et de la phase de déduction sera de compléter ces observations et, après la fusion des sources S1 et S2, de proposer un modèle complet de chaque instance.

L'obtention d'une représentation 3D complète de l'amphore passe par la fusion des mesures photogrammétriques (S2) et du modèle théorique (S1). Ces deux sources de données fournissent l'information sur les zones remarquables des amphores, définies par l'archéologue. La méthode de fusion est fournie par inférence sur les sources de données et produit une liste d'actions à réaliser. Dans un second temps, la fusion est effectuée selon les actions correspondantes aux faits générés.

Les visualisations tridimensionnelles proposées aux archéologues apportent une vision globale du site impossible à obtenir autrement: toutes les amphores sont visibles sur la même image depuis le début de la fouille.

4. RÉALITÉ VIRTUELLE, UN PASSAGE OBLIGÉ?

Le système présenté ici produit des modèles 3D d'artefacts étudiés, modèles géométriques associés à une base de données archéologique (voir Fig. 3, Pl. XVI, c).

Le lien entre géométrie et connaissance est effectué par l'opérateur et demeure bien sur potentiellement révisable. La dimension la plus importante de ce travail n'est pas la possible exploitation des relevés dans un système de réalité virtuelle mais bien l'utilisation de cette maquette numérique comme interface aux données archéologiques. Cette utilisation peut être pertinente en 3D mais aussi en 2D. Dans tous les cas c'est une approche connexe au Système d'Information Géographique et les développements que nous poursuivons actuellement s'appuient sur ces concepts ainsi que sur les outils utilisés dans cette communauté.

Ces relevés photogrammétriques, que ce soit l'épave *Grand Ribaud F* (DRAP, LONG 2005) ou bien les autres étudiées dans le cadre du projet VENUS livrent donc un important ensemble de données 3D incluant les références spatiales et la description morphologique de tous les artefacts observés. Cependant, pour de nombreux archéologues la représentation 3D ne semble pas toujours significative voire pertinente, ces derniers préférant travailler avec des cartes 2D plutôt qu'avec des représentations 3D.

Il était alors important de déterminer les causes d'un tel comportement et d'essayer d'adapter nos outils afin de répondre au besoin.

Les modèles 3D résultants peuvent avoir, nous l'avons vu dans le cadre du *Grand Ribaud F*, une grande utilité par exemple afin de lier plusieurs années de fouille et donc plusieurs couches d'amphore dans une seule représentation. Néanmoins il convient de noter que les fouilles avec prélèvement sont assez rare en milieu sous-marin profond, ces fouilles ne pouvant actuellement être automatisées elles sont limitées aux zones accessibles par plongeur et donc, en France, à 60m. Ceci ne représente qu'une toute petite partie des fonds accessibles et actuellement aucune découverte profonde ne peut faire l'objet de fouille. Dans ce cas là l'on se limitera à un relevé de la couche de surface.

Même si ce relevé est basé sur une technique d'acquisition 3D les résultats le plus adapté serait donc en 2D. Par ailleurs les relevés produits par les archéologues répondent à une forme précise, le mode de dessin et la facture finale étant fortement codifiés.

Au delà des productions géométriques 3D exprimées dans des langages de scènes traditionnels comme VRML nous avons cherché à générer des représentations 2D qui pourraient évoquer une facture manuelle tout en conservant le lien indispensable entre géométrie et connaissance, entre représentation vectorielle et base de données.

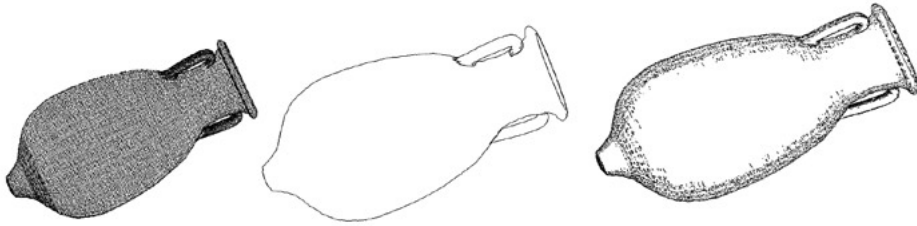


Fig. 4 – A gauche, algorithme de ligne cachée appliqué à une amphore relevée, au centre: Contour d'amphore: panse et anses. A droite, relevé photogrammétrique, projection 2D et rendu manuel.

Cette représentation 2D s'obtiendra donc en exploitant le modèle 3D obtenu et en utilisant une projection dans le plan de la représentation.

A partir des données 3D de sites sous-marin, nous avons développé une application entièrement consacrée à la création automatique de cartes en 2D. Cette cartographie est:

- Obtenue seulement à partir des données 3D.
- Augmentée avec la connaissance, et liée à la base de données archéologique.
- Aussi proche que possible des dessins archéologiques traditionnels.

De plus, comme nous travaillons à partir des données visibles des sites étudiés, c'est-à-dire à partir d'un seul niveau archéologique (généralement de la couche de surface) des outils SIG standard et conçus pour la 2D terrestre sont tout à fait appropriés.

Les représentations SIG reposent sur des formats standardisés: le GeoTIFF et le Shapefile (Shapefile est un format de fichier qui est vectoriel, géospatial et qui est développé par la société ESRI. Il est utilisé par de nombreux logiciels SIG incluant des projets open source).

Dans cette optique, nous avons d'une part étudié un ensemble conventions graphiques utilisé en archéologie sous-marine et nous avons établi trois règles pour la génération de ces représentation 2D:

- Ne sont représentées que les contours des parties fonctionnelles de l'artefact.
- Les contours d'artefacts sont dessinés à partir d'un point de vue unique. Autrement dit, seules les parties visibles sont représentées.
- Les arrondis sont mis en exergue par une petite ligne segmentée tracée à côté du contour, et ce en fonction de l'orientation de l'artefact et du point de vue choisi pour dessiner.

L'implantation de ces trois règles s'est faite à l'aide d'algorithmes bien connus, en informatique graphique (lignes et faces cachées, opération booléennes sur des polygones), une première étape consiste à représenter les objets

à l'aide d'un ensemble de triangles, puis de ne représenter que les triangles visibles depuis le point de vue de l'observateur, enfin un ensemble d'opérations booléennes produit le contour des parties à représenter.

Les segments de courbure, sont fonction de l'angle entre le vecteur normal de chaque triangle avec un vecteur lié au point de vue. Le résultat de ce processus est illustré sur la Fig. 4.

4.1 *Restitution des tessons*

Nous avons également travaillé sur la représentation des tessons mesurés in situ. Un rendu similaire a été possible en fusionnant trois types d'informations:

- Un ensemble de points mesurés décrivant convenablement la géométrie de tesson, c'est à dire, un périmètre plus un point définissant la concavité ou la convexité dans le cas d'un fragment de panse. Un périmètre de la fracture dans le cas de col ou d'anse.
- Le type de tesson (panse, col, pied) et le type d'amphore correspondant.
- Le modèle théorique 3D type de l'amphore identifiée.

A partir de ces données, nous avons développé une méthode de restitution spécifique. Celle-ci repose sur l'identification de chaque tesson en fonction des typologies connues et établies par les céramologues. La méthode retenue, assez simple, est articulée en deux étapes. La première consiste à faire coïncider le contour du tesson à celui du modèle théorique correspondant et la deuxième, à en extraire la partie concernée à l'aide du modèle 3D correspondant (Fig. 5).

4.2 *Exportation automatique en formats standards*

Les représentations géométriques 2D des artefacts, produites dans le cadre de ce projet, sont intégrées dans un système d'information géographique que nous avons spécifiquement développé. Il est toujours délicat de justifier le développement d'un nouvel outil ressemblant fortement à d'autres déjà existant... (Fig. 6).

Dans notre cas la justification est qu'un Système d'Information repose sur l'interaction géométrie/données non graphiques et que pour nous la partie connaissance, structuration des données, requêtes, liens entre les données archéologiques et les modèles théoriques ainsi que leur représentation graphique 3D existait déjà. La seule production nouvelle d'une représentation 2D ne pouvait être suffisante pour ne pas utiliser le système existant.

Nous avons donc développé une interface 2D aux modèles 3D déjà présent dans notre approche. Notre choix s'est porté sur GeoTools, une bibliothèque open source en JAVA qui fournit des méthodes adaptées aux normes de manipulation de données géospatiales. La bibliothèque Geotools

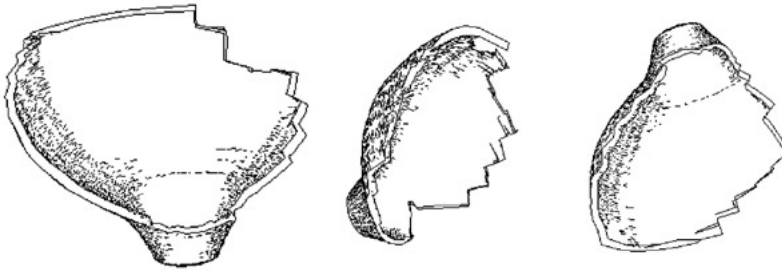


Fig. 5 – Représentation 2D automatiquement produite à partir de la simulation 3D du dessin archéologique traditionnel. Différents points de vue du même artefact en 3D.

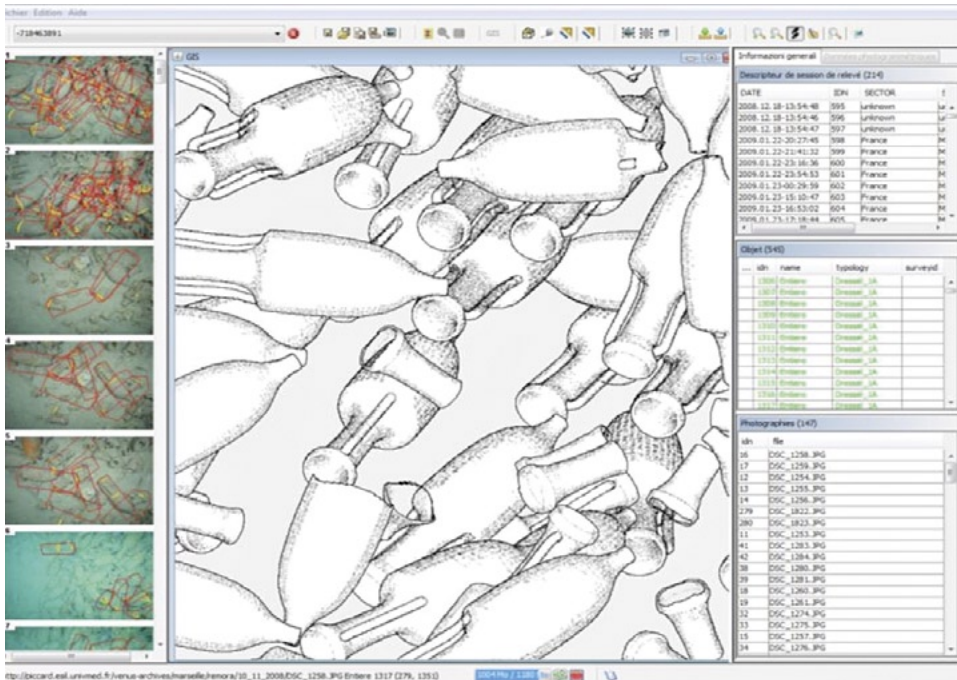


Fig. 6 – Représentation 2D automatiquement générée à partir des relevés photogrammétriques 3D. L'interface de visualisation autorise une réelle connexion bidirectionnelle entre les représentations 2D des objets archéologiques et la base de données.

gère un grand nombre de formats standard SIG et plus particulièrement le GeoTIFF et les formats Shapefile.

L'interface SIG développée sur GeoTools autorise une liaison directe et bidirectionnelle entre la base de données et le SIG.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

A partir de l'enregistrement informatisé de toutes les données de la fouille, l'archéologue est désormais capable d'obtenir des représentations 2D ou 3D, précises, et d'interagir dans des fac-similés fidèles construits au plus près du terrain et visualisable à l'aide de logiciels désormais courants. Ainsi, pouvons-nous considérer comme le faisait encore récemment Jean Leclant que «désormais les techniques les plus modernes, avec toutes leurs promesses d'avenir, participent à la quête ardente de l'homme vers son passé» (LECLANT 1996, 7).

Mais au-delà du procédé de photogrammétrie sous marine, il faut retenir la notion de modèle à partir duquel sont générés les fac-similés des artefacts issus d'un nombre restreint de points mesurés qui fournissent leurs positions, orientations et paramètres géométriques. C'est-à-dire que l'ensemble des amphores et fragments visibles est modélisé à partir d'un concept, enrichi de la lecture de chaque objet, avec ses mensurations et ses caractéristiques propres. C'est par ce principe rationalisant que l'archéologue peut visualiser l'ensemble d'un site dont il n'a acquis jusque là, sur le terrain, qu'une vision parcellaire.

PIERRE DRAP

CNRS UMR 6168 LSIS – Marseille
Équipe I&M, Images et Modèles

BIBLIOGRAPHIE

- BASS G.F. 1970, *Archaeology under Water*, Harmondsworth, Pelican Book.
- BASS G.F., ROSENCRANTZ D. 1973, *L'utilisation des submersibles pour les recherches et la cartographie photogrammétrique sous-marine*, in *L'archéologie subaquatique, une discipline naissante*, Paris, Unesco, 285-298.
- BUCHSENSCHUTZ O. 2008, *Images et relevés archéologiques, de la preuve à la démonstration*, Paper presented at the 132^e Congrès National des sociétés historiques et scientifiques, Arles, Editions du CTHS.
- DANGRÉAUX B., RIVAL M., CARRE M.-B., HESNARD A. 1988, *L'épave romaine Grand Ribaud D (Hyères, Var)*, «Archaeonautica», 8, 5-180.
- DELGADO J.P. 1997, *Encyclopedia of Underwater and Maritime Archaeology*, New Haven and London, Yale University Press.
- DRAP P., LONG L. 2005, *Photogrammétrie et archéologie sous-marine profonde. Le cas de l'épave étrusque Grand Ribaud F*, «XYZ», 103-104.
- DRAP P., SCARADOZZI D., GAMBOGI P., GAUCH F. 2008, *Underwater photogrammetry for archaeology – The VENUS project framework*, in J. BRAZ, N. JARDIM NUNES, J. MADEIRAS PEREIRA (eds.), *Grapp 2008. Proceedings of the Third International Conference on Computer Graphics Theory and Applications* (Funchal, Madeira, Portugal 2008), INSTICC, 485-491.
- DRAP P., SEINTURIER J., LONG L. 2003, *Archaeological 3D modelling using digital photogrammetry and Expert System. The case study of Etruscan amphorae*, Paper presented at the 3IA 2003 – The Sixth International Conference on Computer Graphics and Artificial Intelligence Limoges (France).

- DRAP P., SEINTURIER J., CONTE G., CAITI A., SCARADOZZI D., ZANOLI S., GAMBOGI P. 2008, *Underwater cartography for archaeology in the VENUS project*, «Geomatica, The Journal of Geospatial Information Science, Technology and Practice», 62-4, 419-428.
- GINOUVÈS R. 1987, *Les techniques du relevé*, in *Le décor romain, les méthodes de relevé et de restitution*, «Dossier histoire et archéologie», 119, 7-9.
- GREEN J. 1990, *Maritime Archaeology: A Technical Handbook*, London, Academic Press.
- HESNARD A. 1989, *L'épave Grand Ribaud D. Les apports de la photogrammétrie sous-marine*, «Le courrier du CNRS», 73, 66-67.
- LECLANT J. 1996, *Présentation*, in M. FORTE (ed.), *Archéologie virtuelle, le passé retrouvé*, Paris, Arthaud, 295.
- LIOU B. 1973, *Recherches archéologiques sous-marines*, «Gallia», 31, 71-608.
- MARTIN D., FERRARI B., OXLEY I., REDKNAP M., WATSON K. 1992, *Archaeology Underwater: NAS Guide to Principles and Practice*, Dorchester, Nautical Archaeology Society.
- POMEY P., RIETH E. 2005, *L'archéologie navale*, Paris, Errance.
- TCHERNIA A., POMEY P., HESNARD A. 1978, *L'épave romaine de La Madrague de Giens (Var)*, «Gallia», 34, Supplément, Epub.

ABSTRACT

Underwater archaeology has to depend on reliable and precise readings with limitations of access sometimes requiring an analysis and data interpretation on the site. In order to create optimal study conditions, the production of a virtual facsimile was planned. As part of the VENUS (Virtual ExploratiON of Underwater Sites) project, a procedure combining photogrammetry and ontological definition of artifacts was elaborated. These objects, essentially amphorae, are numerically modelled and viewed from photogrammetric measures taken on the site. 2D and 3D reconstructions are then obtained in standard GIS format.

