



## Un système de gestion de documents hétérogènes dédiés au patrimoine archéologique et gérés sur le réseau Internet

### Le cas de l'épave Etrusque du Grand Ribaud

#### **Pierre DRAP**

Chargé de recherche, CNRS  
MAP-GAMSAU umr CNRS 694, Ecole d'Architecture,  
184 avenue de Luminy 13288 Marseille Cédex 09, France  
[Pierre.Drap@gamsau.archi.fr](mailto:Pierre.Drap@gamsau.archi.fr)

#### **Luc LONG**

Conservateur en Chef du Patrimoine  
D.R.A.S.S.M  
Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines  
Fort Saint-Jean, 13 235 Marseille Cedex 02, France  
[luc.long@culture.gouv.fr](mailto:luc.long@culture.gouv.fr)

#### **Anne DURAND**

Ingénieur de recherche, CNRS  
MAP-GAMSAU umr CNRS 694, Ecole d'Architecture, Marseille, France  
[Anne.Durand@gamsau.archi.fr](mailto:Anne.Durand@gamsau.archi.fr)

#### **Pierre GRUSSENMEYER**

Maître de conférences, ENSAIS  
ENSAIS-LERGEC, équipe photogrammetry et géomatique,  
24 boulevard de la Victoire, 67 084 Strasbourg Cedex, France  
[Pierre.Grussenmeyer@ensais.u-strasbg.fr](mailto:Pierre.Grussenmeyer@ensais.u-strasbg.fr)

**Mots clés :** Base de données archéologique, Système d'Information Géographique, Internet, modèle tridimensionnel, VRML, Java, archéologie sous-marine, photogrammétrie sous-marine.

#### **Résumé**

Nous présentons ici un travail à caractère résolument transdisciplinaire dont l'objectif principal est de réunir au sein d'une même interface la gestion d'une base de données archéologique, représentant l'état des connaissances relatives à une fouille. La démarche se veut globale, depuis la consultation des données par le biais d'une représentation tridimensionnelle ou purement textuelle quand celle-ci ne se justifie pas, jusqu'à l'ajout de données mesurées à l'aide d'un système de photogrammétrie numérique (l'Arpenteur), lequel est complètement intégré dans le système de documentation.

Nous nous appuyons sur une formalisation objet des connaissances archéologiques manipulées, implémentées en JAVA 1.3, langage choisi pour l'ensemble des développements, depuis l'outil de photogrammétrie numérique jusqu'aux générateurs de maquettes tridimensionnelles (VRML ou JAVA 3D) utilisés comme interfaces de navigation dans la base de données.

Après une brève présentation du contexte archéologique et des aspects originaux de la fouille liés au contexte sous marin en grande profondeur de l'épave, nous présenterons le système existant, puis nous aborderons les problèmes rencontrés, tous n'ont pas été résolus à ce jour, comme la traduction d'objets vers et depuis un SGBD relationnel, les problèmes de révision de données issues de sources différentes, la génération automatisée de modèles 3D comme interface de navigation.

# 1. Introduction

La gestion de données dans le contexte du patrimoine archéologique est un des problèmes majeurs dans la gestion d'une fouille. Elle se heurte à plusieurs types d'obstacle :

- ✍ 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'évolution au cours du temps (mises à jour, détection de fautes, modification des hypothèses de modélisation).

Le travail présenté ici suit un objectif de synthèse, d'analyse et de diffusion des connaissances au travers de la production d'une interface Web centralisant l'état du savoir sur la fouille à un moment donné.

L'originalité du système proposé réside principalement dans l'articulation dynamique au sein d'un site Web, de trois composantes primordiales de cette fouille : un Système de Gestion de Base de Données, un module de visualisation tridimensionnelle et un outil de photogrammétrie numérique. Le lien entre ces trois outils est réalisé, d'un point de vue conceptuel, par la formalisation et la modélisation à l'aide d'outils informatiques fondés sur l'approche objet (implémenté en JAVA 1.3) d'un corpus d'objets manipulé par l'archéologue. Cette approche informatique est fédératrice des échanges entre les diverses formes d'expression des objets étudiés et assure la cohérence entre ces expressions diverses (représentation tridimensionnelle, textuelle, gestion au sein du SGBD et assistance à l'utilisateur lors de la phase de mesurage photogrammétrique). L'état d'avancement de ce travail est visible sur le site Internet de la fouille à l'adresse : <http://GrandRibaudF.gamsau.archi.fr><sup>1</sup>

Après une brève introduction des systèmes de gestion d'information en archéologie, une description du contexte archéologique et de l'épave Etrusque du Grand Ribaud nous présenterons l'outil de photogrammétrie, l'Arpenteur et son utilisation lors la campagne de photogrammétrie, puis son implication dans le système de documentation décrit ici. Nous aborderons ensuite le système de documentation et ses fondements : modélisation objet du corpus étudié, mécanisme de gestion de données incomplètes, implication dans la phase de mesurage photogrammétrique et utilisation des maquettes tridimensionnelles générées comme interface de navigation dans la base de données. Puis nous aborderons les choix techniques effectués (connexion entre les modèles objet – relationnel, visualisation 3D à l'aide du format VRML ou du module Java 3D, échange d'informations au travers du réseau avec Java-RMI<sup>2</sup>, Servlet et Php4). Ces choix techniques concernent des outils largement répandus et

---

<sup>1</sup> Le Grand Ribaud est un îlot près de la côte, non loin de Toulon auprès duquel plusieurs épaves d'origines diverses ont été trouvées ; elles sont référencées par une lettre, ici F.

<sup>2</sup> RMI, Remote Method Invocation. Les RMI sont une solution SUN intégrée à JAVA 1.1 pour la gestion d'objet distribués.

gratuits sur Internet dans l'optique d'accessibilité maximale du système. Enfin, nous terminerons par une ouverture sur les directions de recherches qui s'ouvrent à nous pour continuer ce projet.

## 2. Le contexte du projet

### 2.1. 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. Les représentations graphiques des SIG sont le plus souvent issues du domaine cartographique, c'est-à-dire alliant vecteur, image et symbologie 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 représentation 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.

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 contexte de ce travail qui rassemble au sein d'un même outil, un SGBD, un système de visualisation 3D, un outil de mesure 3D et une modélisation objet de l'univers étudié est ainsi posé.

### 2.2. L'expérience de l'épave étrusque du Grand Ribaud

L'épave Etrusque découverte cette année par H.G. Delauze (COMEX) est datée entre le VI<sup>e</sup> et le V<sup>e</sup> siècle av. J.-C. et repose par 60 mètres de fond au large de Toulon. L'intérêt archéologique de cette épave est considérable car seulement trois épaves de ce type sont connues et toutes ont été pillées sans avoir pu être étudiées. Une première campagne a eu lieu en octobre 2000 avec le concours de la COMEX qui a mis à disposition son navire d'exploration le Minibex, le sous-marin Remora 2000 et un robot d'exploration de type roV.

Le principal objectif de la campagne d'octobre 2000 était d'obtenir une couverture photogrammétrique numérique pour mémoriser l'état actuel de l'épave et permettre l'élaboration d'un plan du site et d'une reconstruction 3D utilisant conjointement les données observées et les sources et hypothèses archéologiques.

---

PHP est un langage de script interprété coté serveur ; le bruit qui consiste à dire que PHP est l'acronyme de "People Hate Perl" semble faux ! Il s'agit de "Personal Home Page" ou plutôt d'un acronyme récursif : "PHP Hypertext Processor".

### 2.2.1 L'utilisation de la photogrammétrie numérique

L'épave gît par 60m de fond ; si cette profondeur autorise encore l'accès aux plongeurs, le travail à cette profondeur est pénible et peut s'avérer dangereux. Un plongeur ne peut rester qu'une dizaine de minutes à cette profondeur et établir un plan topographique dans ces conditions s'avère impossible.

Nous avons adopté une méthode photogrammétrique numérique légère en utilisant un appareil photographique numérique non métrique, embarqué dans un caisson étanche fixé sur la barre technique du sous-marin Rémora 2000 de la COMEX.



*Figure 1. Vue de l'intérieur du sous-marin. L'appareil de prise de vue est situé à l'extérieur, sur la barre technique, dans le caisson étanche blanc. L'axe optique est vertical.*

### 2.2.2 Les premiers résultats photogrammétriques

61 photographies ont été orientées, avec 7 règles de mise à l'échelle et deux flotteurs pour la référence à la verticale. L'orientation sur le Nord est approximative. Plus de mille points ont été saisis et ont servi à générer un modèle numérique de terrain.

Les premiers résultats permettent de représenter le terrain, de situer les amphores numérotées et remontées à la surface par les archéologues ainsi que les différentes positions du sous marin lors des prises de vues.

La précision générale du calcul du bloc (calcul des positions et orientations des photographies dans un même référentiel) de 61 photographies est de l'ordre de 2.5 cm.

## 2.3. Le projet ARPENTEUR

ARPENTEUR (pour ARchitectural PhotogrammEtry Network Tool for EdUcation and Research) est un ensemble d'outils logiciels développés en collaboration avec le laboratoire LERGEC de l'ENSAIS Strasbourg.

---

<sup>3</sup> Un grand nombre de recherches est mené dans cette direction, comme en témoigne le travail de l'UISPP qui en 1996 consacra son 13<sup>ème</sup> congrès à ce problème : "Archaeological Applications of GIS", 13<sup>ème</sup> congrès de l'UISPP à Forli, Italie, 1996.

Ces outils sont basés sur l'idée d'une 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<sup>TM</sup> fournit un outil et une technologie permettant à des équipes travaillant sur des sites et des systèmes distincts et distants, un moyen commode de travail et d'échange.
- ✍ Comme outil dédié à l'architecture, ARPENTEUR 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, ARPENTEUR est un système simple et doit être classé parmi les systèmes légers de photogrammétrie, léger étant compris à la fois comme simple à utiliser aussi bien que comme ne nécessitant pas de matériel lourd pour l'exploitation.

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 produites. Ces images numériques permettent également d'offrir 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 photographies jusqu'à certains résultats finaux comme la visualisation en trois 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 bénéfice 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.

### 3. Un système de gestion documentaire dédié

Les fondements de ce projet résident donc dans le lien entre divers outils et l'élaboration de ce lien au travers d'une approche sémantique des objets à mesurer et à représenter. Mesure, représentation et gestion sont articulées autour d'un modèle commun formalisé d'un point de vue «Objet » et implémenté en Java 1.3.

Les phases de mesurage et de représentation tirent particulièrement avantage de ce modèle commun par la mise en place d'un mécanisme de valeurs par défaut permettant de dimensionner complètement l'objet mesuré en utilisant conjointement un ensemble de mesures effectuées et les propriétés génériques de la classe de l'objet étudié.

#### 3.1. Structure du système de gestion de documentation

Le projet est présenté par un site Internet (<http://GrandRibaudF.gamsau.archi.fr>) qui offre tout à la fois une interface de travail pour les archéologues et un lieu de valorisation de la fouille pour le grand public. L'accès aux données gérées par le SGBD peut se faire en mode consultation par l'interface VRML et en mode modification / ajout par l'interface textuelle, protégée par un accès restreint. Ce travail s'inscrit également dans la problématique de gestion d'information au travers d'Internet, formalisée dans le cas de GIS dans le travail de Kristin Leukert ([Leukert, 2000]).

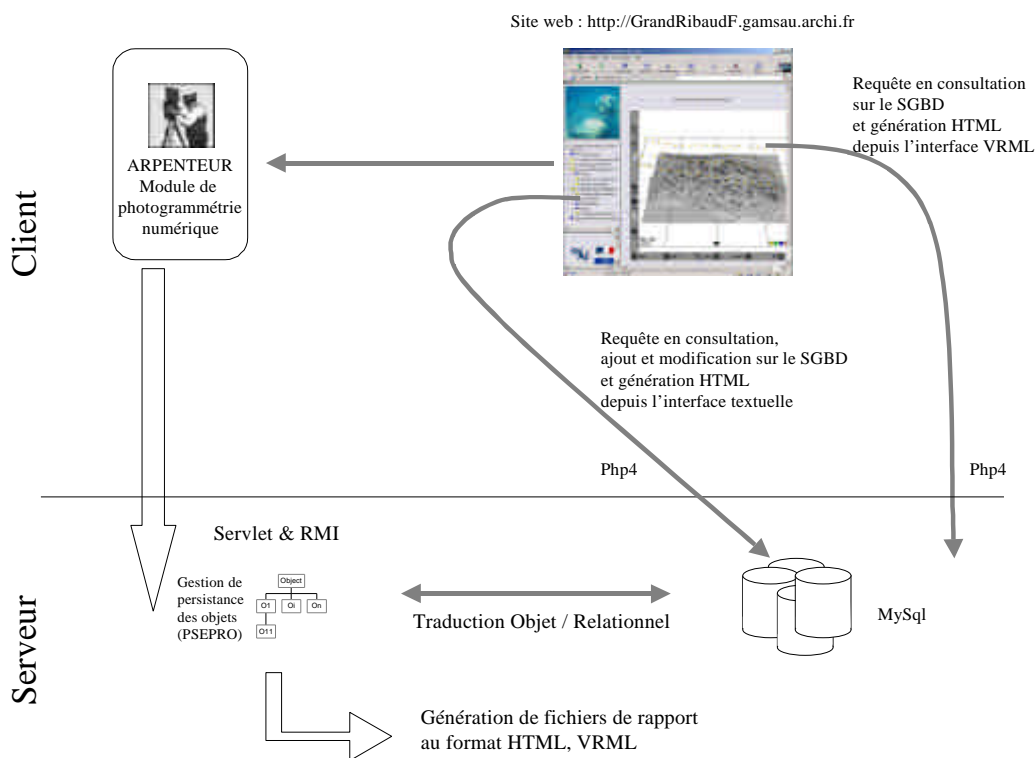


Figure 2. Schéma synoptique du système de gestion de documentation de la fouille de l'épave du Grand Ribaud.

## 3.2. 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. Depuis les amphores jusqu'au navire nous pouvons proposer un modèle théorique pour ces objets. Ce modèle a pour vocation de décrire d'une part une typologie d'objet, travail qui fut dès 1899 abordé par Heinrich Dressel dans sa classification des amphores, d'autre part un ensemble de relations décrivant le comportement et l'agencement de ces objets entre eux.

### 3.2.1 Typologie des amphores

Toutes les amphores de l'épave<sup>4</sup> sont d'origine étrusque et se rapportent à la même forme individualisée par F. et M. Py dès 1974 (type 4) dans une étude sur les importations en Vaunage et à Villevielle (Gard). Onze ans plus tard, M. gras et M. Slaska, complétèrent cette première classification en proposant une typologie des amphores d'Etrurie méridionale. Le type Py 4 et ses avatars furent inclus dans le groupe EMD. (Voir [Py, 1972], [Py M. et F., 1974] et [Py, 1985] et également les travaux de [Sourisseau, 1997]). D'une manière générale, nos amphores sont relativement standardisées. Elles présentent une forme pansue avec un bord en amande collé directement en haut de la panse, sans laisser de place au col. La base de la lèvre est parfois soulignée d'une strie fine bien marquée. Le fond plat mais étroit est taillé, pour reprendre l'expression de M. Gras. Sa forme est parfois ovale plutôt que circulaire. Les anses sont hautes, régulières et bien courbées. On verra, au demeurant, que cette production homogène, vraisemblablement issue d'un même atelier ou d'une même série d'ateliers, accuse des variations notables qui sont donc parfaitement contemporaines. De fait, l'homogénéité du chargement qui ne compte aucune amphore grecque mais uniquement des amphores Py 4 très standardisées visiblement originaires d'un seul centre de production sont les indices d'un commerce unitaire.

Cette régularité de production nous permet d'utiliser une approche modélisatrice et de formaliser cette connaissance en une hiérarchie d'objets partageant des propriétés et structurée selon le paradigme Objet. Les amphores de l'épave ont, pour l'instant, été classées en quatre sous-classes de l'amphore Py 4 selon des considérations morphologiques.

---

<sup>4</sup> La chronologie des amphores Py 4 et de la céramique grecque découverte sur le site, s'accordent pour placer le naufrage entre 525 et 480 avant JC.

### 3.2.2 Des relations liant les objets

#### ✎ Examen du cas d'étude

Après un examen attentif, 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 arrimée 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.

On signalera en outre 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 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.



*Figure 3. A gauche, traces d'usure sur les amphores ; à droite, réalisation expérimentale de l'empilement des amphores. Simulation dans les locaux du DRASSM sur des amphores retirées du site.*

#### ✎ Proposition de modélisation

On se place dans le cadre de l'utilisation d'un système de visualisation traditionnel. Soient deux objets A et B. On pose A et B tel que la relation "A supporte B" soit vraie. Si on déplace A et que le système ne gère pas de relation entre les objets qu'il manipule, alors A change de position, mais pas B. Le prédicat "A supporte B" n'est plus respecté. Un système supportant les *relations* doit permettre de maintenir automatiquement la cohérence du groupe "A-B".

Dans le cadre de notre système documentaire le mécanisme mis en place est le suivant<sup>5</sup> : tout objet recevant un message "contrôlé" le transmet à son contrôleur. Celui-ci trouve la relation impliquée par le message et actionne la méthode de la relation correspondant au couple (sélecteur du message, signature).

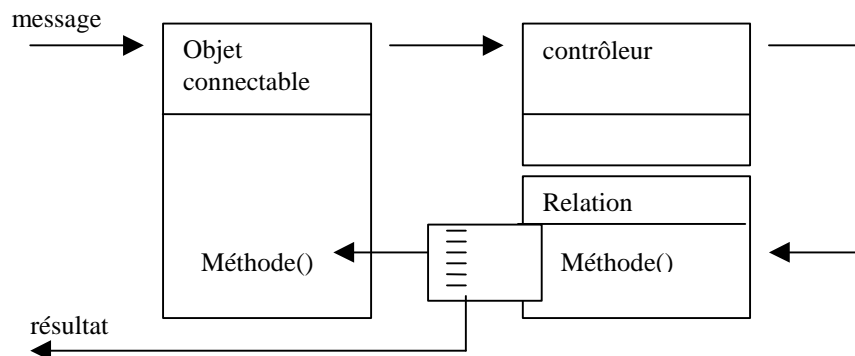


Figure 4. Schéma du mécanisme de relation par envoi de messages contrôlés.

Le plus souvent cette méthode réalise un traitement au cours duquel l'objet destinataire est sollicité par une de ses méthodes. Le résultat est transmis en retour.

Exemple : l'objet A reçoit le message "déplacement (3,4)", signifiant déplacement de 3 en x et de 4 en y. Il transmet le message à son contrôleur qui détecte la présence de la relation "A supporte B". Le contrôleur transmet le message à la relation qui "sait" que faire et en conséquence demande à B de réaliser ce déplacement, puis à A et rend ensuite le résultat attendu.

Modéliser les relations entre les objets de l'univers étudié répond à une double problématique :

- ✎ Il ne s'agit pas tant de déplacer un objet et d'utiliser le mécanisme de relation pour voir se propager par transitivité l'information du déplacement de l'objet sollicité que de fournir au système de mesure et plus généralement de positionnement dans l'espace, un faisceau d'informations sur la localisation de l'objet. Les mesures sur l'objet étant fortement incomplètes et n'étant supportées que par un petit nombre de primitives géométriques sur chaque amphore, la détermination complète des paramètres du modèle est liée à la description de la morphologie des amphores (décrite dans le modèle) et à l'ensemble des relations qui concernent l'objet étudié.
- ✎ Par ailleurs, si on met en place un mécanisme de relations entre objets, il devient primordial de le sauvegarder comme une partie intrinsèque du modèle. La voie de la réification des relations permettra de sauvegarder ces relations comme des objets autonomes dans un SGBDOO. La mise en place d'un système gérant la persistance des objets a déjà été mis en œuvre dans l'Arpenteur en utilisant le couple RMI /

<sup>5</sup> Ce travail a été réalisé avec le précieux concours de Gilles Gaillard.

SGBDOO mono-utilisateur (PSEPRO d'ObjectStore). Nous projetons d'utiliser ce même mécanisme pour décrire les relations entre les amphores de l'épave et ainsi minimiser la saisie.

### 3.3. Mesure, représentation et requête liées à un corpus d'objets

Les outils de mesure et de représentation doivent manipuler un ensemble d'objets dont le comportement doit être dynamique si l'on veut considérer l'ensemble des objets et leurs relations. Il n'est en effet pas facile de faire la part entre le comportement statique d'un objet (indépendant de l'état et du temps) du comportement dynamique (dépendant de l'état et variant au cours du temps) [Braux, Noyé, 2000]. Que ce soit pour des problèmes de mesure (mécanisme de valeur par défaut, instanciation de données non mesurées) ou des problèmes de représentation (expression de la morphologie à l'aide de VRML ou Java 3D), le comportement de l'objet est défini de façon générique à l'aide d'une interface (au sens Java) et chaque objet implémente selon la situation les méthodes spécifiées. Cet aspect de la programmation, schématisé dans la figure 10, est clairement énoncé dans les travaux de Mathias Braux et Jacques Noyé.

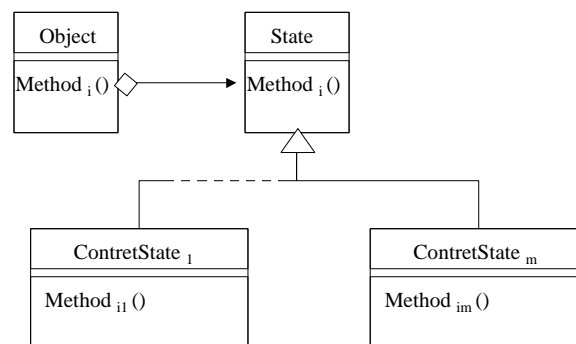


Figure 5. Le schéma de conception, d'après Mathias Braux et Jacques Noyé, [Braux, Noyé, 2000].

L'utilisation de cette approche de la programmation objet nous a permis de rendre aisément dynamique le comportement des objets modélisés et nous permet de générer des représentations graphiques dans des formats divers à l'aide d'interfaces communes.

### 3.4. Le lien avec la photogrammétrie

La diversité des objets manipulés par l'archéologue et la complexité géométrique des surfaces qui les décrivent nous ont conduits à rechercher sur ces objets des particularités morphologiques stables, décrites dans le modèle, sur lesquelles portera la mesure.

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 navire ; il s'agit ici de mesurer un objet dont la morphologie générale nous est donnée a priori. Dans le cas présent, le module de mesure est prévu pour la mesure des amphores de PY4-GRF1 à 4. C'est-à-dire les quatre classes d'amphore isolées sur cette épave. La spécificité de la mesure de ces classes tient essentiellement aux valeurs par défaut qui diffèrent, la forme générale restant identique.
- ✍ 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. Nous abordons ici le problème délicat de révision de données et de détection de faute sur lequel nous projetons de travailler dans le futur. Voir à ce sujet les travaux de Zhongchao Shi ([Shi, 2000])

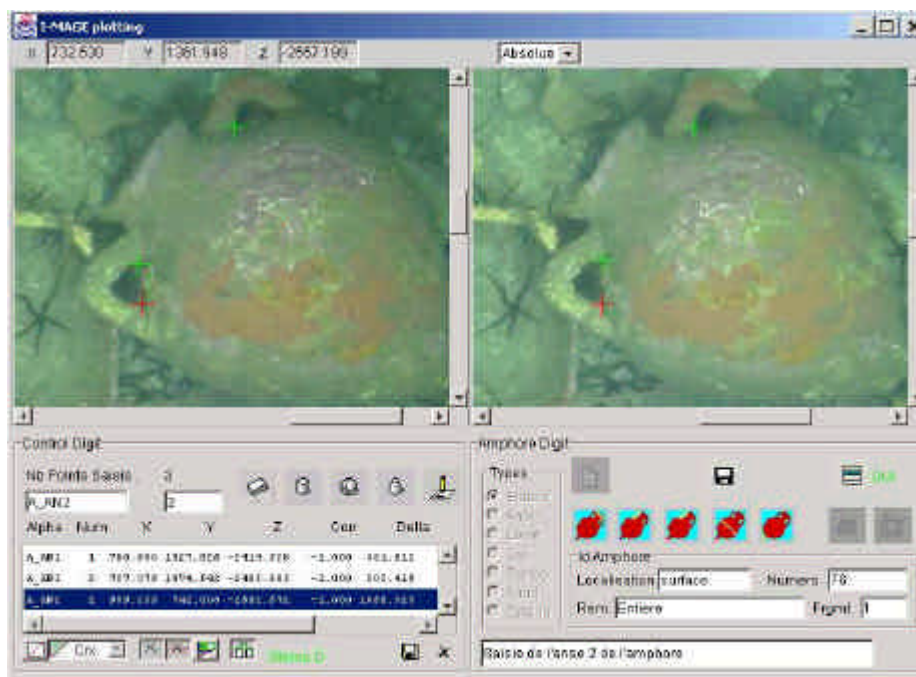


Figure 6. Interface de saisie d'amphore dans l'Arpenteur. La saisie se fait conformément à un modèle théorique et est connectée à une base de données distante.

La mesure photogrammétrique est supportée par quelques points stratégiques de l'amphore (pointillé sur le schéma de la page 12 ). 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. On peut consulter avec intérêt les travaux de Claire Reeler qui utilise la logique floue pour formaliser cette incertitude ([Reeler, 1996-1], [Reeler, 1996-2]).

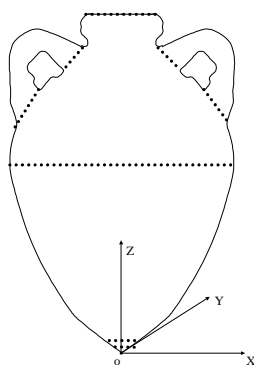


Figure 7. Localisation des zones supportant la mesure photogrammétrique sur les amphores.

### 3.5. Génération de maquettes tridimensionnelles comme interfaces de requêtes

Comme on a pu le voir sur la figure en page 8, le problème de la représentation de l'épave et de sa cargaison prend tout son sens en 3D.

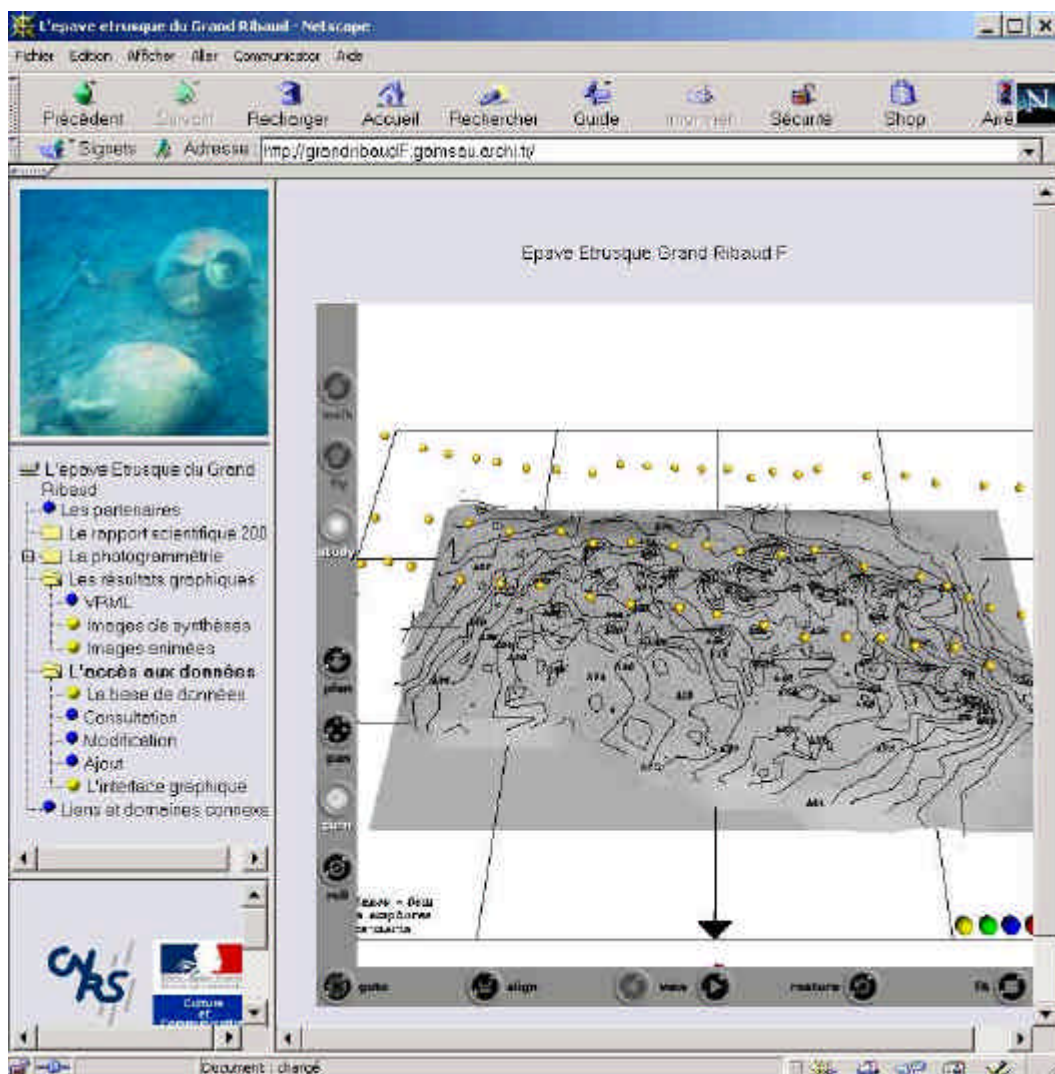


Figure 8. Visualisation de la maquette 3D de l'épave, dans l'état actuel de la fouille, interface VRML vers la base de données. Equidistance des courbes de niveau = 5cm. Les sphères jaunes représentent les diverses positions du sous-marin et permettent l'accès au photographies. 80 amphores sont présentes.

Actuellement, seule une couverture de surface a été faite lors de la campagne de fouille d'octobre 2000 mais les futures campagnes (la prochaine aura lieu en juillet 2001) mettront en évidence les couches inférieures d'amphores (estimées pour l'instant à trois) et la structure même du navire. Le système de visualisation 3D permettra tout à la fois de représenter graphiquement les hypothèses archéologiques sur l'organisation des amphores ainsi que sur la structure du bateau et d'interroger la base de données sur les individus représentés et le type de relations qu'ils entretiennent entre eux.

## 4. Interopérabilité et choix technologiques

Le projet s'inscrit dans une histoire. L'informatisation d'une fouille archéologique implique une remise en cause importante des outils et méthodes utilisés auparavant. Les prémices du projet datent d'une demande de collaboration du DRASSM au MAP pour la réalisation de la campagne de photogrammétrie sous-marine. L'occasion d'une collaboration plus riche et d'un projet plus global a été saisie dès ce moment. Les divers outils, à différents niveaux de développement, existaient au MAP-gamsau [Drap & Grussenmeyer, 2000], les interrogations sur le lien entre relevé photogrammétrique, représentation 3D et base de données étaient déjà présentes ([Drap, Hartmann-Virnich, Grussenmeyer, 2000]). Il restait à synthétiser l'expérience et à proposer un modèle coopératif pour l'équipe.

La dernière contrainte était la composante propriétaire des logiciels utilisés. Pour pouvoir être libre d'installer le système dans tous les laboratoires des équipes impliquées et pour nous assurer que la consultation du site n'impliquerait pas de licence particulière nous avons convenu de n'utiliser que des logiciels en accès libre sur le réseau Internet.

Le projet est donc bâti sur les outils suivants :

- ✍ Serveur Web : Apache 3.14
- ✍ Servlet :JServ
- ✍ SGBD : MySQL
- ✍ Langage de script :PHP4
- ✍ Langage de développement :JAVA 1.3 + bibliothèque JAI 1.02 (traitement d'image pour l'aspect photogrammétrique)
- ✍ Langage de formalisation de scène 3D :VRML 2 et JAVA 3D

### 4.1. Le SGBD

Le choix du SGBD, MySql a des implications fortes sur le reste du projet mais à ce jour n'est pas définitif.

La première question que le lecteur est en droit de se poser est la suivante : pourquoi utiliser un SGBD relationnel alors que la structure objet est omniprésente dans ce projet ?

Au moins deux raisons ont présidé à ce choix :

- ✍ Les archéologues devaient pouvoir continuer à travailler sans avoir trop à changer d'habitudes, l'utilisation d'un SGBD relationnel leur était familière dans leurs précédents travaux, le système devait, pour eux, être interrogeable via une requête SQL. L'utilisation de MySQL au travers du réseau avec le gestionnaire PhpMyAdmin permettait de résoudre ce problème même s'il le déportait sur l'aspect développement informatique.
- ✍ Par ailleurs, ce projet a débuté à l'occasion de la première campagne de fouille, le schéma de classe n'était pas encore figé (il subit encore aujourd'hui des modifications). Dans ce cas, l'utilisation d'un SGBD objet de type PSEPRO, d'ObjectStore utilisé déjà dans le strict cadre photogrammétrique de l'Arpenteur, pose des problèmes de cohérence dans le temps. Nous devons, assurer la pérennité des observations enregistrées, plus de 100 amphores à ce jour, et supporter des modifications de la structure du modèle enrichi par les réflexions des archéologues.

Nous avons donc développé des classes spécialisées dans la traduction Objet (au sens Java) vers les tables MySQL en s'appuyant sur le standard JDBC. Plusieurs travaux intéressants sur les échanges Objet/Relationnel existent et montrent des voies efficaces (par exemple ceux de Clauss Priese, [Priese, 2000]). Néanmoins, nous n'avons pas sophistiqué le schéma du SGBD relationnel pour garder une structure simple pouvant être l'objet de requêtes élémentaires.

Cette solution, qui a ses avantages (utilisation simple de PHP4 comme script d'interface entre le client HTML/VRML, le serveur apache et le serveur MySQL) sera remise en cause quand la fouille aura progressé et que les structures de données seront figées.

## 4.2. Interface et Implémentation

### 4.2.1 La structure de la base de données GrandRibaudF

Trois types de données sont répertoriés dans la table *amphore* : des données d'identification (nom, numéro, identificateur de fouille, numéro d'inventaire, description, localisation), des mensurations (hauteur, masse, volume, différents diamètres, nombre de fragments, mesures sur la lèvre) et des données photogrammétriques (origine, points mesurés, phi, omega, kappa). Ces données reflètent la structure de la classe JAVA correspondante.

#### 4.2.2 Le mécanisme d'accès à la base de données à travers internet

La machine cliente envoie au serveur une requête http contenant l'exécution d'un script (par exemple : <http://GrandRibaudF.gamsau.archi.fr/chercher.php>). Sur la machine serveur, la requête est transmise au serveur Apache. L'exécutable PHP est lancé et analyse le contenu du script. Il lance d'abord une connexion sur la base de données gérée par MySQL, puis, par exemple, une requête de sélection. La base de données renvoie le résultat de la requête à l'exécutable PHP qui met en forme le résultat de cette requête et crée une page au format HTML qu'il transmet au serveur Apache.

Ce type d'outil permet d'élaborer une interface utilisateur souple et rapide. Les échanges des données mesurées dans le module de photogrammétrie par Java – RMI et Servlet ont des performances nettement moins intéressantes.

#### 4.2.3 Différents types d'affichage des résultats

Les interfaces utilisateurs sont écrites en PHP, langage de script qui s'insère par le biais de balises (<?php ... ?>) dans le code HTML des pages WEB. Cette écriture simple et puissante permet de générer facilement des modules spécifiques et de s'adapter aux modifications de la structure de la base de données proposées régulièrement par les archéologues depuis le début de ce projet. C'est un excellent outil de prototypage.

Données archéologiques					
Nom	Amphore étrusque	Numéro	4	Id Fouille	illisible
Inventaire	GRF.2000.surf.4	Nb. Fragments	0	Pate	
Description	entière	% Lèvre	100	Hauteur lèvre (cm)	3.5
Localisation	surface	Masse (kg)	13.5	Volume (l)	26.2
Sous-Famille	Py 4	Hauteur totale	50	Hauteur conservée	50
Remarques	Nombreux tessons à l'intérieur. Traces de poix marquant le bouchon. Pâte rose.	Diamètre intérieur	11.2	Diamètre extérieur	16.3
		Diamètre panse	37	Diamètre pied	3.6
Photogrammétrie					
Origine		Phi		0	
Points mesurés		Omega		0	
Photo		Kappa		0	

nom	description	localisation	inventaire	pate	fragment	remarque	ep	PClev	Sou
Amphore étrusque	entière, intacte, lèvre à recoller	surface	GRF.2000.surf.9C.3		0	manque une anse, et 1/3 de la lèvre à recoller. Poissée.	3.5	100	Py 4
Amphore étrusque	sans lèvre.	surface	GRF.2000.surf.9C.30		0	Un trou de 2 cm. de diamètre sur la panse. 4 anses à l'intérieur.	0	0	Py 4
Amphore étrusque	entière	surface	GR.2000.surf.10C.31		0		3.3	80	Py 4

Figure 9. Interfaces utilisateur d'interrogation du SGBD écrites en PHP.

#### 4.2.4 L'interface phpMyAdmin

Le Système de gestion Documentaire proposé ici doit être utilisé par tous les membres de l'équipe quelles que soient leurs compétences informatiques. De même que l'outil de photogrammétrie ne requiert plus de grandes connaissances techniques, l'accès à la base de données devait pouvoir se faire sans être spécialiste de la programmation PHP et également sans être physiquement devant la machine serveur. En fait les archéologues doivent pouvoir utiliser le système et le maîtriser complètement depuis leur lieu de travail (laboratoire ou domicile). Nous avons opté pour l'utilisation de PHPMyAdmin qui est une interface permettant d'administrer une base MySQL à travers le réseau. Outre sa convivialité et sa simplicité d'emploi, ce système permet d'administrer une base depuis toute machine connectée à Internet et non plus uniquement sur le serveur qui gère cette base. Toutes les fonctionnalités de base sont disponibles sous forme de liens URL associés à des scripts PHP dialoguant avec la base de données : création et modification de bases, de tables ; modification de la structure des tables par ajout, déplacement, renommage des champs ; exécution de requêtes SQL par sélection dans des formulaires d'utilisation très intuitive ou sous forme de batchs ; importation de tables depuis des fichiers textes ; exportation et dumps de tables ; gestion aisée des droits d'accès sur l'interface.

#### 4.2.5 La consultation de la base à partir d'un CD et sans connexion internet

Pour des besoins de démonstration, d'utilisation à domicile, sur le terrain ou dans un laboratoire non relié au réseau internet, il nous a semblé intéressant de développer une version du système de base de données complètement autonome et tournant sous les différentes versions du système Windows. Nous avons donc rassemblé sur un CD-Rom les différentes applications nécessaires : un serveur web Apache, le gestionnaire de base de données MySQL accessible par l'intermédiaire des scripts PHP (uniquement en consultation et non pas en modification), une machine virtuelle JAVA 1.3, les bibliothèques et packages nécessaire à l'Arpenteur. Tous les services sont lancés automatiquement à l'insertion du CD-Rom. Nous envisageons de développer une version autonome du système de documentation et de mettre en place un mécanisme de mise à jour du serveur par transfert sur un support physique (ZIP ou CD).

## 5. Développements en cours et en projet

De nombreux développements sont en cours et ce projet fut le point de départ d'un ensemble de questionnements que nous projetons de mener à bien. Quatre directions se dessinent :

- ✍ La gestion des relations entre objets du modèle et les problèmes de réifications,
- ✍ La visualisation 3D comme interface à un SGBD,

- ✍ Le problème délicat de la révision de données,
- ✍ Enfin le lien avec l'outil de photogrammétrie qui pourrait bénéficier plus avant des informations géométriques 3D et 2D des objets mesurés.

## 5.1. Visualisation et interaction

L'intérêt de la visualisation d'une maquette 3D pour l'archéologie à l'échelle de l'édifice n'est plus à démontrer (Paul Reilly dès 1990 dans un article intitulé *Towards a virtual archaeology* publié lors des rencontres CAA - *Computer Applications in Archaeology*- à Southampton décrivait clairement l'intérêt de l'élaboration d'un modèle 3D et de sa visualisation). Depuis cet aspect a été largement étudié et de nombreuses études théoriques sur la *reconstruction* du passé ont été menées à bien. (Voir à ce propos la synthèse de Juan A. Barceló [Barceló, 2000]).

### 5.1.1 Les limites de VRML

Le langage de description de scène 3D VRML est bien adapté à une visualisation rapide et simplifiée. Couplé à un langage de script tel que PHP, il permet également un interfaçage simple et efficace vers un SGBD relationnel dans le sens de la consultation. Dans ces limites d'utilisation, il remplit parfaitement son office et de nombreux projets de recherche l'utilisent (par exemple le projet d'un musée virtuel dédié à l'évolution d'une ville, développé par Maria Elena Bonfigli et Antonella Guidazzoli [Bonfigli, Guidazzoli, 2000] ou bien avec une solide interface JAVA 2D, les travaux pédagogiques sur les SIG de Kate Moore, Jason Dykes et Jo Wood, Université de Leicester, [Moore, Dykes, Wood, 1997]).

Néanmoins VRML souffre d'un manque de portabilité (aucun visualisateur performant et gratuit n'a été développé pour les systèmes unix) et surtout d'un énorme manque de souplesse quant à la mise à jour dynamique du modèle 3D.

La scène est décrite dans un fichier et les liens vers l'extérieur (URL vers un SGBD par exemple) sont également codés dans le fichier. La modification dynamique du contenu d'une scène VRML est une opération lourde, très peu portable et limitée dans ses possibilités.

### 5.1.2 L'ouverture de JAVA 3D

Depuis la version 2 de Java (Java 1.2 et 1.3), une bibliothèque graphique 3D est mise à disposition. Comme VRML, JAVA 3D propose un graphe de scène et une structure claire de l'espace représenté. Les concepteurs de JAVA 3D sont impliqués dans le développement de VRML et proposent un ensemble de ponts et traducteurs entre ces formats (principalement dans le sens VRML / Java3D).

Les avantages évidents de JAVA 3D sur VRML résident en deux points :

- ✍ JAVA 3D est une bibliothèque JAVA et peut donc être utilisée directement depuis le langage de développement du modèle. Le lien entre représentation graphique et modèle devient alors intime et il est possible d'envisager facilement un lien bidirectionnel entre le modèle objet et sa représentation graphique, donc entre un gestionnaire d'objet persistant, l'objet acteur et sa représentation graphique.
- ✍ La visualisation d'une scène n'est plus liée à un outil de rendu 3D rare et peu portable et ne dépend plus que de la présence de la bibliothèque JAVA 3D sur la machine hôte. JAVA 3D est distribué pour la grande majorité des systèmes informatiques actuels.

Nous sommes actuellement en train de développer un ensemble de mécanismes, basés sur le schéma de conception vu page 10, pour offrir aux objets un comportement dynamique quant à leur expression graphique. Cette approche permettra également de visualiser le tissu de relations liant les objets.

## 5.2. Les problèmes de révision de données

Le problème de la révision de données est crucial dès que plusieurs moyens de mesure sont en jeu et que, de plus, le modèle sous-jacent peut évoluer. Par exemple, dans notre cas, le nombre de couches d'amphores et leurs positions relatives sont encore de l'ordre de l'hypothèse archéologique et peuvent évoluer. Ce problème de révision est clairement identifié dans le cadre des SIG ([Peled, Raizman, 2000], [Shi, 2000]) mais reste ici légèrement plus complexe.

Nous devons gérer des données issues de la mesure photogrammétrique ou de procédé manuel sur les amphores remontées à la surface. Toutes ces mesures sont incomplètes et représentent le même objet à des moments différents. La confrontation de ces mesures aux modèles élaborés (sur la base d'une série de mesures manuelles) doit permettre de mettre en évidence les fautes et éventuellement de remettre en cause le modèle.

## 6. Conclusion

Ce projet est jeune et en cours de développement. Les différents éléments du gestionnaire fonctionnent ensemble et sont accessibles sur le réseau. La première étape du projet est atteinte : des équipes d'horizons différents travaillent sur le même outil, chacun ayant fait quelques pas vers les autres afin d'harmoniser le vocabulaire et d'établir un langage commun. Les différents modes de représentation des objets manipulés par les archéologues formalisés avec un langage Objet ou une approche relationnelle coexistent et les différents passages d'un modèle à l'autre sont transparents pour l'utilisateur.

La gestion des données, problème omniprésent dans l'archéologie, est ici traitée sous deux aspects : le premier purement textuel et le second dans l'optique du géo-référencement des objets, ces deux approches étant disponibles au travers du réseau Internet.

Le premier aspect, plus traditionnel, permet grâce à une interface textuelle, les opérations classiques sur un SGBD. Le géo-référencement implique un point de vue étroitement lié à la connaissance que l'on a des objets manipulés. L'utilisation d'une maquette 3D comme interface au SGBD permet d'allier les informations purement documentaires (bibliographie, observations diverses faites lors de sa découverte, photographies) à une représentation 3D de l'objet. Cette expression graphique de l'objet s'appuie sur le contenu de la base de données (position, orientation, dimension) et sur les connaissances génériques de l'objet (forme théorique, valeurs par défaut, relations entre divers objets). La maquette 3D, générée par le système, représente le modèle générique de l'objet, défini par l'archéologue, dimensionné par la mesure photogrammétrique et à ce titre est une interface pertinente entre l'utilisateur et le SGBD.

## 7. 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.

**[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.

**[Braux, Noyé, 2000]** Mathias Braux, Jacques Noyé, *Changement dynamique de comportement par composition de schémas de conception*. LMO'99 Langage et modèles à objet, Coordonnateur Jacques Malenfant, Roger Rousseau, Edition Hermès 1999, pp 147, 162.

**[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, Hartmann-Virnich , Grussenmeyer, 2000]** Pierre Drap, Andreas Hartmann-Virnich, Pierre Grussenmeyer. *Photogrammetric stone-by-stone survey and archaeological knowledge, an application on the romanesque priory church notre-dame d'aley rac*. VAST - Euroconference on Virtual Archaeology, Arezzo (Italy) 24-25 Novembre 2000,(actes à venir)

**[Drap & Grussenmeyer, 2000]** Pierre Drap & Pierre Grussenmeyer. *A digital photogrammetric workstation on the web*. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 55 N° 1. Official publication of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), ELSEVIER février 2000, pp.48-58.

**[Drap et al. 2000]** Pierre Drap, Gilles Gaillard, Pierre Grussenmeyer, Andreas Hartmann-Virnich, *A stone-by-stone photogrammetric survey using architectural knowledge formalised on the ARPENTEUR Photogrammetric*

workstation. 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, part 5, pp. 187-194.

**[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.

**[Leukert, 2000]** Kristin Leukert, *GIS-internet architectures* 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 572, 579.

**[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.

**[Moore, Dykes, Wood, 1997]** Kate Moore, Jason Dykes et Jo Wood, *Using Java to interact with geo-referenced VRML within a Virtual Field Course*, ICA, Visualisation Commission meeting, Stockholm, Suède, 1997

**[Peled, Raizman, 2000]** A. Peled, Y. Raizman, *Three-dimensional digital photogrammetric update of the israeli national gis data base* 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-3, pp 443, 448.

**[Priese, 2000]** Clauss Priese *Architecture of a Reusable and Extensible DataBase-Wrapper with Rule-Set Based Object-Relational Schemes*, OOPSLA'99 Workshop on « Java and Databases : Persistence Options » Revue l'Objet Volume 6 N° 3 pp 333, 352, Hemès, 2000.

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

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

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

**[Reeler, 1996 - 1]** Claire Reeler, *Fuzzy Logic, Neural Networks and the Analysis of pa Sites* Applications of GIS: Proceedings of Colloquium II, UISPP XIIIth Congress, Forli, Italy, September 1996 Johnson, I. & North, M. (eds) 1997. Sydney University Archaeological Methods Series 5.

**[Reeler, 1996 - 2]** Claire Reeler, *Beyond GIS: Artificial Intelligence in Archaeology* Applications of GIS: Proceedings of Colloquium II, UISPP XIIIth Congress, Forli, Italy, September 1996 Johnson, I. & North, M. (eds) 1997. Sydney University Archaeological Methods Series 5.

**[Shi, 2000]** Zhongchao Shi, *GIS database revision --the problems and solutions* 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, Working Group IC WG IV/III.2, pp 494-501.

**[Sourisseau, 1997]** Sourisseau J.-Chr. *Recherches sur les amphores de Provence et de la Basse Vallée du Rhône aux époques archaïque et Classique (fin VIIè-début IVè s. av. J.-C.)*, thèse de doctorat, Aix-en-Provence, 1997.