

## Modélisation 3D au service de l'inspection d'ouvrages portuaires immergés

■ Benoît FRALEU - Yann VINCENOT - Frédéric DENIVET

*Souvent qualifiés de "jolis", les modèles 3D ou plutôt 2D+1 générés à partir de données bathymétriques haute densité, type multifaisceaux, n'ont que peu d'intérêts quantitatifs contrairement à leurs homologues 3D réels issus de la lasergrammétrie terrestre. Les modélisations 2D+1 actuelles permettent d'extraire des isobathes, des coupes en travers, et de faire des calculs de différences entre modèles. Ces fonctions répondent bien entendu à la majeure partie des nécessités exprimées dans le domaine de l'hydrographie mais peuvent être optimisées.*

*En association avec le Port Autonome de Marseille (PAM), une méthodologie nouvelle dans le domaine de l'inspection d'ouvrages portuaires immergés a été développée.*

### Objectifs

Pour modéliser en 3D les ouvrages portuaires immergés, il a fallu contourner deux limitations associées à la plupart des logiciels utilisés dans le domaine de l'hydrographie :

1. les données issues du traitement sont restituées sous forme d'une grille plus ou moins dense où une seule valeur de sonde est conservée (moyenne, minimum, maximum...), de ce fait un mur vertical n'est défini que par un seul point.
2. les outils de calcul par triangulation disponibles dans ce domaine génèrent le modèle uniquement sur une projection et n'ont donc pas la possibilité de créer des arrêtes dont les angles entre elles sont rentrants. De ce fait, il est donc impossible de modéliser un affouillement.

C'est en partant de cette constatation que l'idée est venue d'associer les possibilités offertes par les logiciels de modélisations 3D de lasergrammétrie avec les données issues de levés bathymétriques multifaisceaux. Le résultat attendu aura la forme de nuages de points non réduits.

Le Port Autonome de Marseille (PAM) a besoin de faire effectuer des contrôles de l'état d'un quai dans le bassin national du port de Marseille. Les figures 1 et 2 montrent à la fois le site et le trajet du navire (en rouge). Cette demande a constitué un test pour la méthodologie proposée.

### Présentation des moyens et méthodologie d'acquisitions de données in-situ

#### ■ Moyens

Les équipes d'acquisition de données ont utilisé les équipements standards du port de Marseille :

- Sondeur Multifaisceaux RESON 8101 avec option ouverture à 210°
- Centrale d'attitude inertielle PHINS de IXSEA, hybridée DGPS

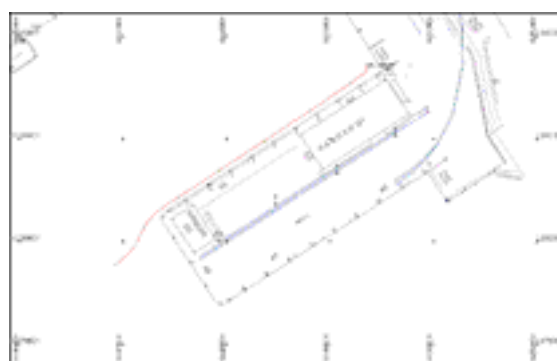


Figure 1 : Plan du poste à quai et trajet du navire.

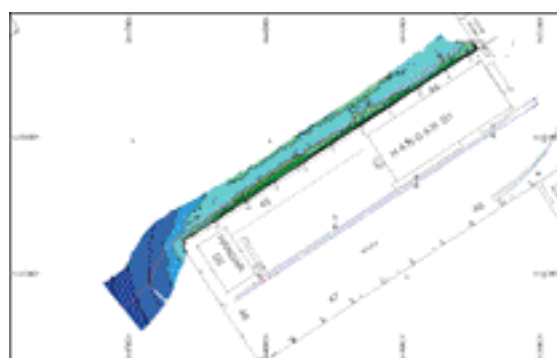


Figure 2 : Isobathes issues du sondage.

- Positionnement DGPS, récepteur TRIMBLE série 5700 (avec station PAM)
- Sonde de célérité SVP14 de NAVITRONICS
- Logiciel d'acquisition et traitement "HYPACK" version 6.2 (pack1)

Le tout est installé sur une vedette Hydrographique.



**Figure 3 :** Vedette hydrographique "ESCANDAIL" du PAM.



**Figure 4 :** Vue du poste "hydrographe" à bord de l'ESCANDAIL



**Figure 5 :** Vue du transducteur Reson 8101.

## ■ Méthodologie

L'acquisition des données se fait par passes parallèles à l'axe du quai à faible vitesse et à une distance comprise entre 10 et 20 mètres, le but étant d'acquérir un maximum d'information et d'insonifier les affouillements. Il est primordial de trouver un compromis entre densité de mesure et angle d'insonification.

## Création du nuage de points

Le logiciel utilisé pour le traitement des données est le module MBMax (Hypack) du logiciel Hypack.

### ■ Objectif

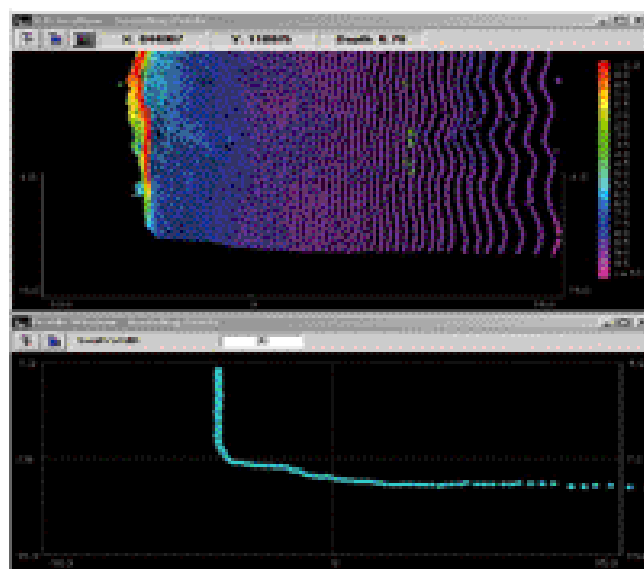
Comme indiqué en introduction, il est nécessaire d'obtenir à l'issue de l'acquisition des données l'ensemble le plus dense possible de mesures dans toutes les dimensions, le but étant de minimiser les interpolations afin de se rapprocher au plus près du terrain réel.

### ■ Méthodologie

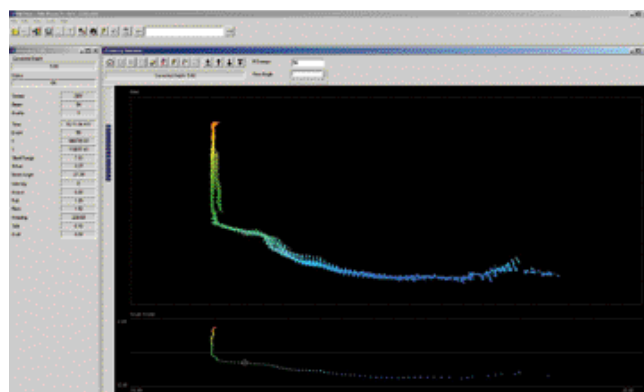
Pour ce faire, la méthode de traitement est différente de celle classiquement utilisée dans laquelle la phase de suppression des artefacts est suivie par une réduction du sondage via une grille plus ou moins dense. Cette méthode ne conserve qu'une sonde par coordonnées maille X,Y. Dans ce cas précis il est impossible de réaliser une réduction du sondage, afin d'enregistrer la totalité des mesures, il est nécessaire de s'arrêter au traitement des fauchées sondeurs, une fauchée correspond à une émission/réception acoustique de l'échosondeur (cf. Figure 7).

L'objectif est de conserver les mesures qui définissent le quai dans sa totalité, et particulièrement les affouillements et les déhaussements. Une inspection minutieuse des fauchées est réalisée afin de supprimer les anomalies acoustiques. Celles-ci sont du type : double écho, réflexions sur la surface et multi trajets en pied de quai. La difficulté portant sur la différence entre réalité et artefacts, plusieurs passages permettent par comparaison des résultats de diminuer les risques d'erreurs. L'ensemble des passes est examiné de cette façon.

A la suite de ce traitement les données conservées sont exportées sous forme de nuage de points dans un fichier texte au format XYZ.



**Figure 6 :** Fenêtres d'acquisition multifaisceaux.



**Figure 7 :** Fenêtres de traitement de données par fauchées – 50 fauchées consécutives y sont représentées.

## Création du model 3D

Le logiciel Polyworks (Innovmetric) est spécialisé dans, la création de modèle 3D. L'extraction d'objets tels que les coupes, la fusion et la comparaison de modèles servent de support de traitement à ce nuage de points.

### ■ Objectif

L'objectif est ici de créer un modèle polygonal à partir du nuage de points XYZ.

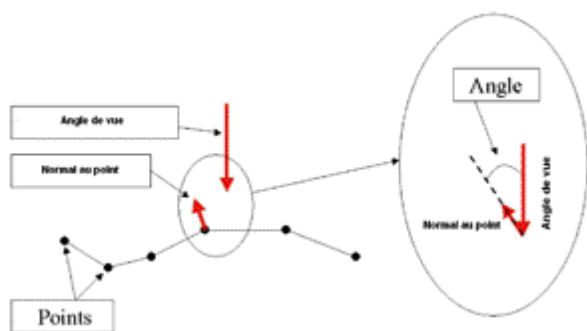


Figure 8 : Définition de l'angle de vue.

## ■ Méthodologie

Le modèle final sera une composition de sous modèles polygonaux créés avec des angles de vue différents. L'opérateur importe le nuage de points et choisit un angle de vue. Il est indispensable d'effectuer cette opération car contrairement aux données issues de Laser-Scanner, le nuage de points ne contient aucune information sur la direction depuis laquelle la mesure a été faite. L'angle de vue sera choisi dans la direction des faisceaux acoustiques émis par l'échosondeur. Cet angle de vue va influencer la méthode de calcul de la triangulation (voir figure 8). L'angle maximal pour la création d'une arête sera de  $89.9^\circ$ . Cette limite s'explique par la méthode de calcul qui considère qu'un point ne peut être mesuré derrière un autre.

Dans l'exemple du poste à quai, plusieurs modèles sont ainsi calculés :

- un angle de vue perpendiculaire au plan XY (préciser la définition de ce plan) : modélisation du fond du bassin. cf. figure 9.
- deux angles de vue perpendiculaires au quai : modélisation du quai. cf. Figure 10 et 11.

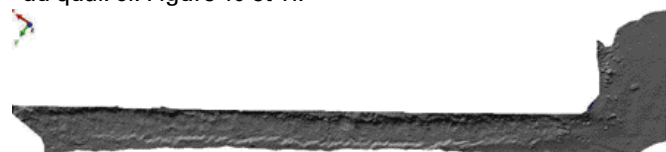


Figure 9 : Angle de vue perpendiculaire au plan XY.



Figure 10 : Angle de vue perpendiculaire au plan XZ face au quai.

Seules les parties des modèles polygonaux correspondant aux angles de vue sont conservées.

L'assemblage des modèles permet de créer le modèle final. Il est bien sûr possible de les affiner légèrement afin de supprimer les défauts éventuels repérés et de combler les trous.

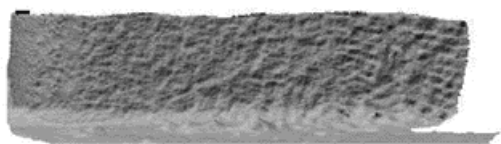


Figure 11 : Angle de vue perpendiculaire au plan YZ face au quai.

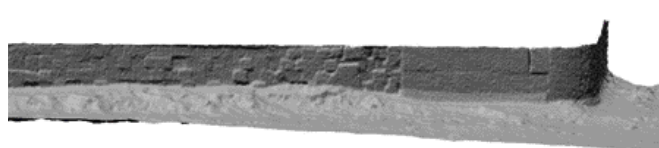


Figure 12 : Résultat d'assemblage des différents modèles polygonaux.

## Utilisation du modèle

A partir du modèle polygonal, l'opérateur génère un ensemble d'objets nécessaires à l'interprétation des résultats.

### ■ Objectifs

L'objectif est d'extraire les informations de type objets et rapport du modèle polygonal simplement exploitable en métrologie. Ces informations sont classifiées selon la nomenclature suivante :

Objets :

- Coupes en travers et en long
- Coordonnées de points remarquables
- Plans
- Polygones
- Vecteurs
- Surface

Rapport :

- Mesures de distances et d'angles
- Rapport de comparaison de points
- Rapport de comparaison de surface
- Calcul de volume (affouillement et gonflement sur un quai)

### ■ Méthodologie

#### Création de coupes

A partir du modèle généré, il est possible d'extraire des sections par différentes méthodes. Par deux points ancrés sur le modèle une coupe peut être créée. A partir d'un plan défini par un point et un vecteur, il est possible d'extraire des sections parallèles. L'utilisateur peut ainsi générer des sections le long d'une courbe. Le pas d'échantillonnage de la section est fonction de la résolution du modèle. Pour ce test le pas d'échantillonnage a été défini à 10 cm. La figure 13 montre l'ensemble des sections extraites du modèle. Il devient facile de faire des mesures et des comparaisons sur celles-ci plutôt que sur les modèles 2D+1 traditionnellement obtenus. Un autre apport de cette méthode est de pouvoir exporter ces objets simples vers des logiciels ingénierie.

#### Points remarquables

Ici les points remarquables sont facilement identifiés. A titre d'exemple, le modèle 3D met en évidence, des affouillements en pied de quai. Le but est de pouvoir cibler des zones pour envoyer des plongeurs effectuer des contrôles plus précis.

#### Métrologie

Des mesures directes sur le modèle sont réalisées pour déterminer l'importance de l'affouillement et des déchaussements de blocs.

#### Comparaisons

Afin d'étudier l'évolution du quai dans le temps, un plan de référence est créé. Il est défini dans le cas de l'étude au pied



Figure 13 : Extraction de sections.

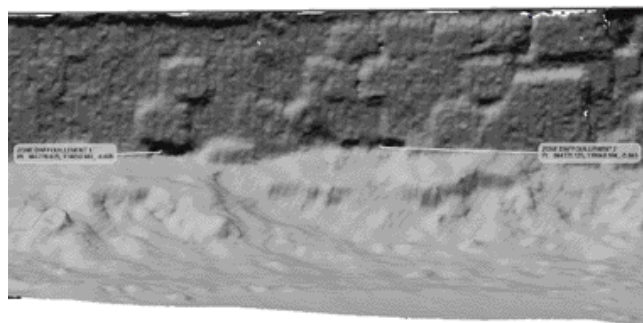


Figure 14 : Points remarquables.

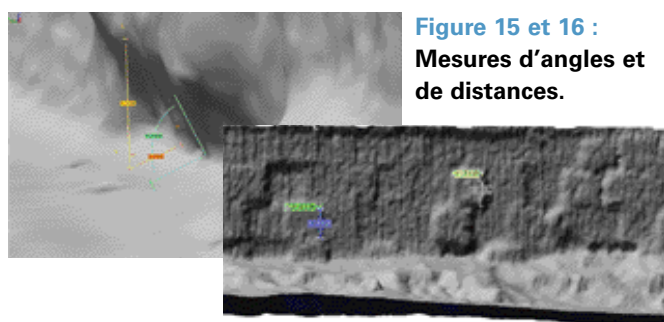


Figure 15 et 16 :  
Mesures d'angles et  
de distances.

- ■ ■ de quai. Une visualisation des différences en dégradé de couleurs donne un aperçu rapide des déplacements du quai. L'intérêt est de mettre en évidence le fruit du mur ici constaté en dévers, accentué dans le fond du bassin.

## Calcul de volume

Afin de quantifier les gonflements du quai et les affouillements, un calcul de volume est fait sur les zones concernées. Cette méthode permet de déterminer à la fois l'ampleur des travaux nécessaires mais aussi en y ajoutant la dimension du temps, l'évolution temporelle de la problématique.

## Conclusion et perspectives

Cette application montre bien les intérêts réels que peut avoir la modélisation 3D dans l'inspection d'ouvrages portuaires immergés. Bien entendu il est nécessaire de rappeler que les moyens mis en œuvre pour l'acquisition des données in situ sont très coûteux. Toutefois il est intéressant de noter que la plupart des grands ports de France sont équipés de système équivalent au Port Autonome de Marseille, ou sont en passe de le faire.

Afin d'améliorer le processus, il est nécessaire de concentrer les efforts sur la méthode d'acquisition des données. Plusieurs possibilités sont à étudier : augmentation du nombre de passes, distances différentes au quai, navigation en lacet afin de limiter les faux échos. En multipliant les méthodes de mesures, il sera possible d'une part de réduire les erreurs d'interprétations mais aussi d'augmenter la précision du modèle. ●

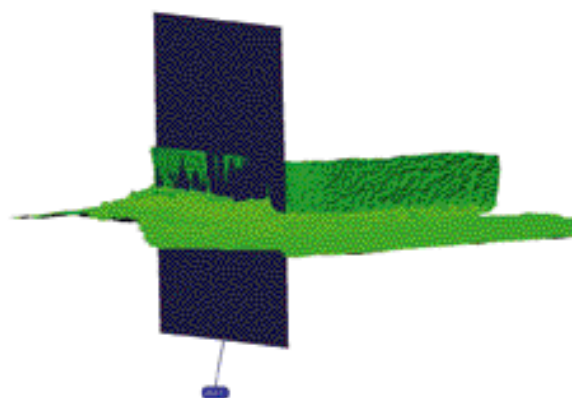


Figure 17 : Comparaison du modèle avec un plan de référence.

## Référence

PolyWorks® Modeling & Inspection Software Suite for 3D Digitizers, Reference Guide Version 9.1 for Windows, April 2006  
HYPACK® User's Manual Version 4/06

## Liens utiles

[www.hydroconsult.fr](http://www.hydroconsult.fr) site de la société HydroConsult SARL.  
[www.polyworks.com](http://www.polyworks.com) site du fournisseur de suite logiciel de modélisation.  
[www.trimble.com](http://www.trimble.com) site du fournisseur de GPS.  
[www.ixsea.com](http://www.ixsea.com) site du fournisseur de la centrale inertielle.  
[www.reson.com](http://www.reson.com) site du fournisseur du système multifaisceaux.

## Contacts

**Benoît FRALEU** - cogérant HydroConsult SARL  
[b.fraieu.hydroconsult@wanadoo.fr](mailto:b.fraieu.hydroconsult@wanadoo.fr)

**Yann VINCENOT** - cogérant HydroConsult SARL  
[y.vincenot.hydroconsult@wanadoo.fr](mailto:y.vincenot.hydroconsult@wanadoo.fr)

**Frédéric DENIVET** - chef du service bathymétrie du PAM  
[f.denivet@marseille-port.fr](mailto:f.denivet@marseille-port.fr)

## HydroConsult

52 rue Jules Viéjo  
94430 Chèzevières sur Marne

## ABSTRACT

*Often described as "beautiful", the 3D models, I will say 2D+1, which are generating with high density bathymetric data, like Multibeam data, are not showing a real quantitative interest compared to their 3D homologue issue of terrestrial laser survey.*

*"2D+1" models are used to extract isobaths, cross-sections, and to compute differences between models. All those functions are useful mostly in all the applications of the hydrographical domains but they could be optimized. In association with the "Port Autonome de Marseille" (PAM), a new methodology in the underwater civil engineering structures inspection has been developed.*