

Fig. 1 - Division en blocs de la structure

# NAVMOOD

## outil de modélisation graphique appliqué à la construction navale

Manuel Plusquellec  
Nicolas Dechenaux  
(ESGT - 2000)

Jean-Philippe Rodrigues  
(Responsable Qualité et Précision  
Coque métallique des Chantiers  
de l'Atlantique - ESGT - 1995)

Depuis peu, le marché de la croisière connaît un réel renouveau même si les paquebots ne sont plus considérés comme un moyen rapide de rejoindre quelques terres éloignées. Les experts estiment que cet engouement de la part du public pour la croisière-loisirs n'est pas près de diminuer. Seulement 4 ou 5 chantiers navals européens se partagent 80 % de la production mondiale de paquebots. Situé à l'embouchure de la Loire à Saint-Nazaire, Chantiers de l'Atlantique, filiale de la division Marine du groupe ALSTOM, est l'un d'entre eux.

Depuis avril 1998, ce chantier naval s'est fixé des objectifs à la hauteur de son ambition : devenir le premier constructeur de paquebots au monde. Comment ? En réduisant en 3 ans de 30 % le coût de fabrication des navires, en augmentant la capacité de construction de navires de 2 à 3 par an à une capacité de 5 à 6 navires et en réduisant les frais généraux de 50 %. Cela nécessite aussi une réorganisation complète du site autour des 3 pôles représentant le cœur du métier des Chantiers de l'Atlantique : le projet, la coordination et la coque métallique.

La Coque Métallique, département composé de 1400 personnes, a lancé plusieurs actions stratégiques dans le cadre du Plan d'Entreprise CAP21 : l'une d'entre elle s'appelle l'Action Précision. L'Action Précision consiste à améliorer la précision à tous les stades de la production de la coque métallique, dans le but de réduire les coûts de soudage, de fabrication et de montage et de permettre aux études de proposer des solutions innovantes.

### I. Présentation de la fabrication de la structure d'un navire

La première étape dans la fabrication d'une coque consiste à diviser celle-ci en blocs (fig. 1), eux mêmes divisés en panneaux (fig. 2) qui sont assemblés à partir d'indices (fig. 3), indices constitués de pièces.

Des sur-longueurs sont utilisées dans la fabrication des blocs afin de compenser,

d'une part, les effets des déformations issues des opérations de soudage et de redressage et, d'autre part, limiter l'influence du cumul des écarts résiduels constatés tout au long du process. Ces sur-longueurs sont ensuite découpées lorsque le bloc est constitué afin de reporter les erreurs de géométrie d'un bloc contigu sur un autre, il s'agit de la « coupe-juste ».

Une première avancée importante a été faite en supprimant les sur-longueurs sur les blocs ne présentant pas de géométrie

en forme c'est-à-dire les blocs parallélépipédiques qui se situent au-dessus de la tangente de carène, limite entre les parties immergées et les parties émergées de la coque du navire. Ceci a permis de supprimer une opération de « retouche » non négligeable du processus de fabrication puisque cette opération était synonyme de coûts supplémentaires et introduisait une étape de plus située sur le chemin critique du planning général de la construction des paquebots.

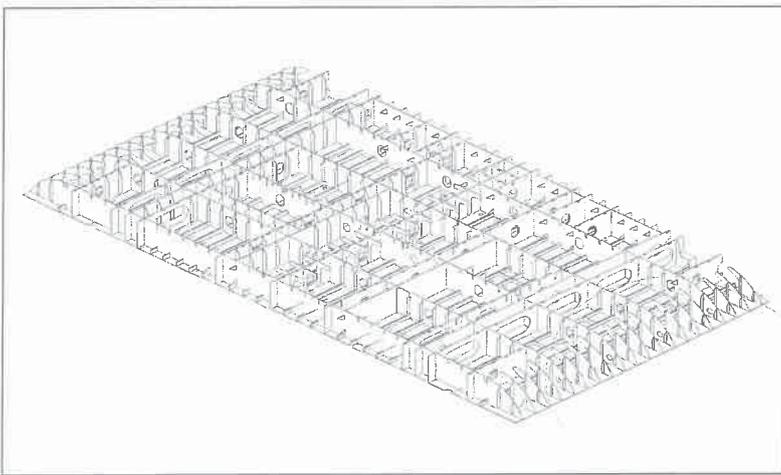


Fig. 2 - Panneau de fond à l'envers avant mise en place du bordé

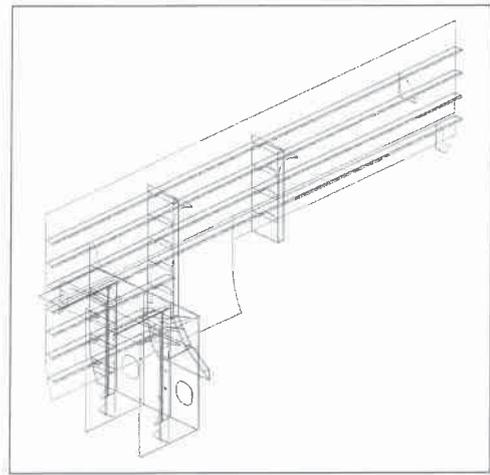


Fig. 3 - Exemple d'indice

Ce sont la maîtrise des retraits différentiels de soudure et leur prise en compte dès les études qui ont permis de faire ce premier pas mais, aujourd'hui, plusieurs besoins subsistent. En effet, face aux problèmes qui peuvent ponctuellement apparaître, les équipes sur le terrain ont besoin d'un outil d'analyse afin de modéliser les écarts observés pour émettre le diagnostic approprié qui, s'il est bien fait, permet :

1. de lancer des actions correctives efficaces dans le double but d'isoler les meilleures méthodes de travail et d'éradiquer les problèmes récurrents.

2. d'anticiper les écarts en production et de contribuer ainsi à la réduction des délais.

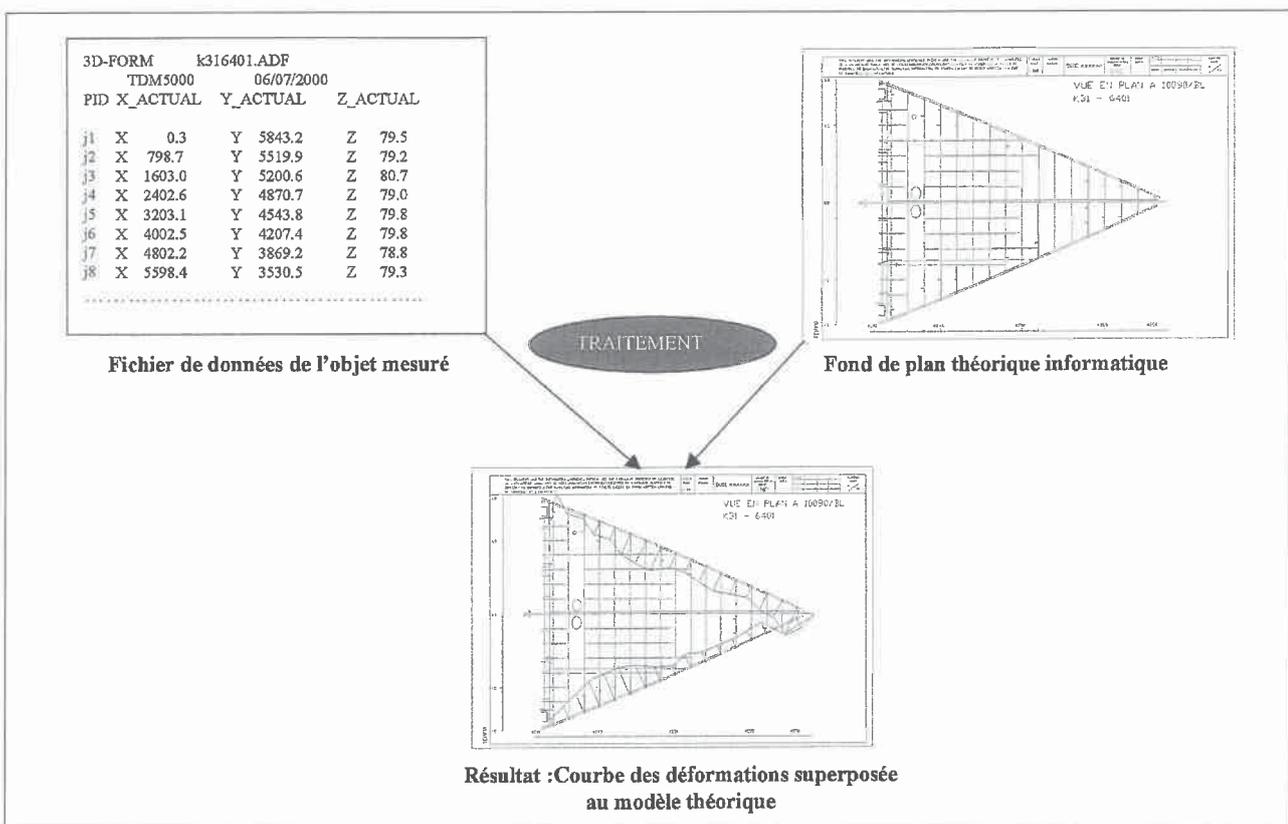
Pour que la mesure ne soit plus perçue comme un simple contrôle dimensionnel mais comme un véritable outil d'aide à la décision, il est primordial d'utiliser le mode de communication privilégié commun à tous les métiers de la coque métallique : l'expression graphique.

Quoi de plus naturel que de concevoir un logiciel répondant à ce cahier des charges ?

C'est ainsi que NAVMOD est né (MODélisation graphique appliquée à la construction NAVale).

## 2. Principe général du logiciel Navmod

Le principe du programme de visualisation des déformations est le traitement informatique des mesures tachéométriques pour représenter graphiquement les déformations des pièces constitutives de la coque des navires, par rapport à leurs formes théoriques :



⇒ Les modèles réels des objets mesurés sur le terrain sont superposés aux plans théoriques pour le dessin des déformations, selon un mode de représentation particulier.

Le processus global comprend un traitement analytique des coordonnées brutes X, Y, Z mesurées sur les panneaux et blocs dans des systèmes de coordonnées objets, et un traitement graphique de représentation automatisée des déformations sous plate-forme DAO.

Le rendu graphique a largement été privilégié dans la réalisation du logiciel NAV-MOD, le but étant de fournir des résultats compréhensibles par tous les corps de métier de la construction navale, afin de mener des études et réflexions collectives pour résoudre les difficultés liées aux déformations des pièces. Pour cela, les écarts entre les points mesurés modéli-

sant les objets et les formes théoriques de ceux-ci sont amplifiés de manière à figurer à l'échelle 1/1 sur les documents imprimés en sortie. Ce mode de représentation permet non seulement de localiser clairement les déformations, mais aussi de les quantifier.

### 3. Acquisition des données

Les mesures sont réalisées à l'aide de tachéomètres de précision de type Leica TDA/TDM 5005 offrant des précisions angulaires et sur les mesures de distances

permettant de déterminer des déformations millimétriques significatives ( $H_z, V = 0.15$  milligrades,  $D = 1$  mm). Les réflecteurs utilisés sont des cibles rétro-réfléchissantes aimantées se plaçant facilement sur les tôles d'acier.

#### Orientation dans des Systèmes de Coordonnées Objets:

Les tachéomètres sont équipés de logiciels internes permettant de s'orienter dans des repères cartésiens totalement liés aux objets mesurés, quelle que soit leur position. En particulier, l'axe Z des repères formés ne correspond pas forcément à la verticale:

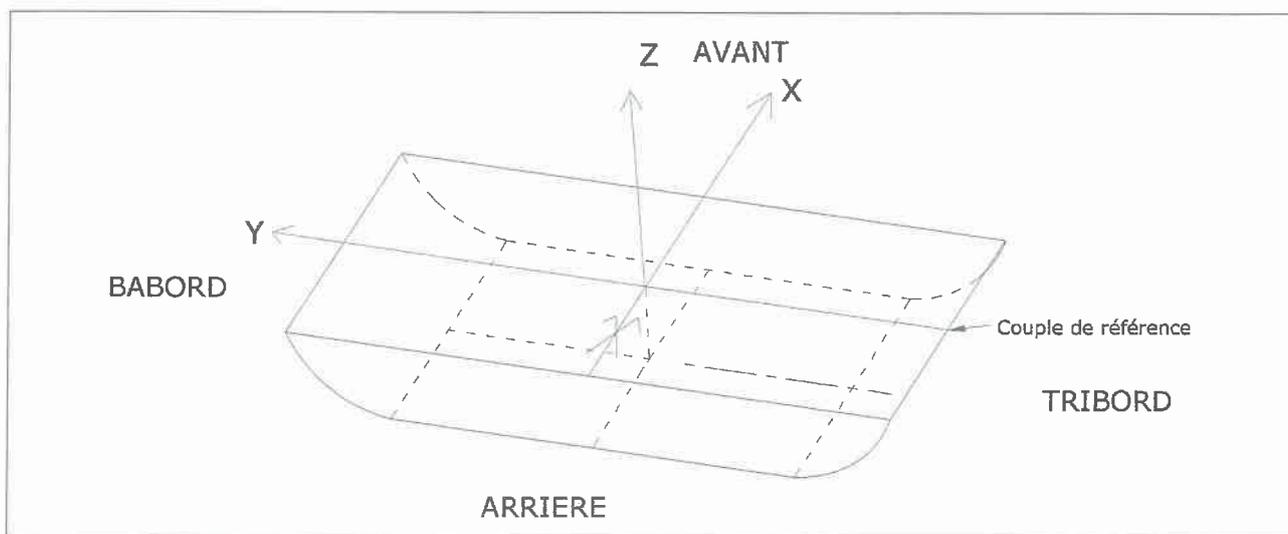


Fig. 4 - Exemple de repère objet : le repère panneau

⇒ Ce système permet de s'affranchir des défauts d'horizontalité des objets.

L'orientation réalisée est de type Plan – Ligne – Point qui se décline en trois étapes successives:

Définition du plan de projection (XY, YZ ou XZ) en visant 3 points ou plus, définition d'un axe de référence sur le plan formé en visant 2 points ou plus, et visée de l'origine pour figer la position du trièdre.

Ce mode d'orientation permettant de reproduire plusieurs fois le même repère sur un même objet, aux différents stades de production, est particulièrement adap-

té à la construction navale pour le suivi des pièces.

#### Mesure des points de calage:

Pour pouvoir comparer l'aspect réel de l'enveloppe métallique d'un module de navire à sa forme théorique, il faut que les coordonnées des points mesurés sur celui-ci soient exprimées dans les repères figurant sur les plans.

Ceux-ci contiennent en effet les cotations théoriques définissant géométrique-

ment les objets. Les repères cartésiens formés lors de l'orientation se rapprochent au mieux de ces systèmes théoriques, cependant les marques ou tôles servant de matérialisation des axes de référence et sur lesquelles s'appuient les orientations peuvent être entachées d'erreurs se répercutant sur les repères formés.

Les points choisis pour l'orientation peuvent également ne pas être suffisamment représentatifs de l'objet.

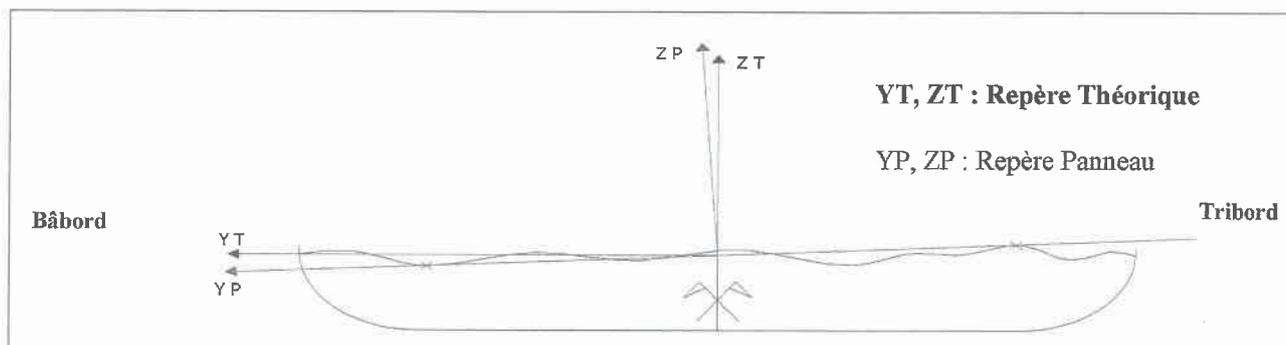


Fig. 5 - Repère objet formé avec une nappe de pont déformée sur un panneau de fond de paquebot

Pour s'affranchir de ces défauts de correspondance des repères, il faut mesurer des points de « calage » correspondant à des points durs de structure, des intersections de tôles, qui serviront à ajuster entre eux les modèles théoriques et réels des panneaux ou blocs mesurés.

Ces points de référence, dont les coordonnées théoriques sont connues par les plans de conception permettront le calcul de paramètres de changements de repères (2 translations, 1 rotation) pour exprimer les points de détail modélisant les objets dans les repères théoriques.

Les points de calage sont répartis de façon homogène sur les panneaux ou blocs mesurés et en nombre suffisant pour assurer une surabondance d'informations permettant de réaliser un ajustement par moindres carrés.

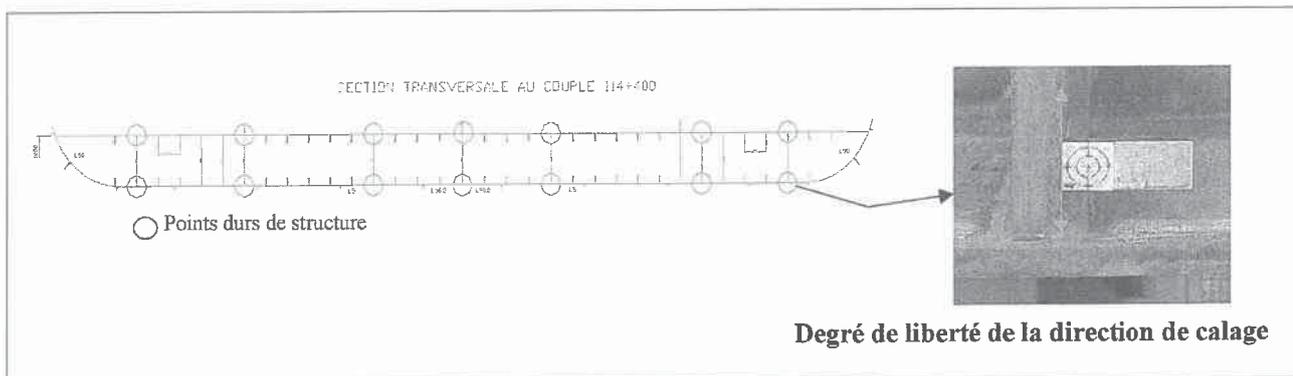
#### Adaptation de la méthode des moindres carrés aux contraintes liées aux objets mesurés :

Pour disposer de points de calage connus dans 2 coordonnées, il faut viser des intersections de renforts, mais il s'avère souvent impossible dans la pra-

tique de placer des cibles à ces points en raison des cordons de soudure qui les recouvrent.

Il était fondamental lors de la réalisation du logiciel de prendre en compte ces difficultés d'acquisition des mesures, liées à la spécificité des objets mesurés (blocs et panneaux).

Nous avons donc décidé de ne plus considérer des points de calage mais des directions, en positionnant les cibles le long des éléments de renforts comme illustré ci-dessous :



Il faut cependant veiller à placer les réflecteurs suffisamment proches des intersections pour s'affranchir des déformations locales des éléments (flambement des cloisons, flèches dans les nappes, etc.) et ne pas fausser la réalité de l'objet pris dans son ensemble.

L'originalité de la méthode réside dans le fait qu'on ne fixe pour chaque point de calage mesuré qu'une coordonnée théorique servant de référence pour le calcul d'ajus-

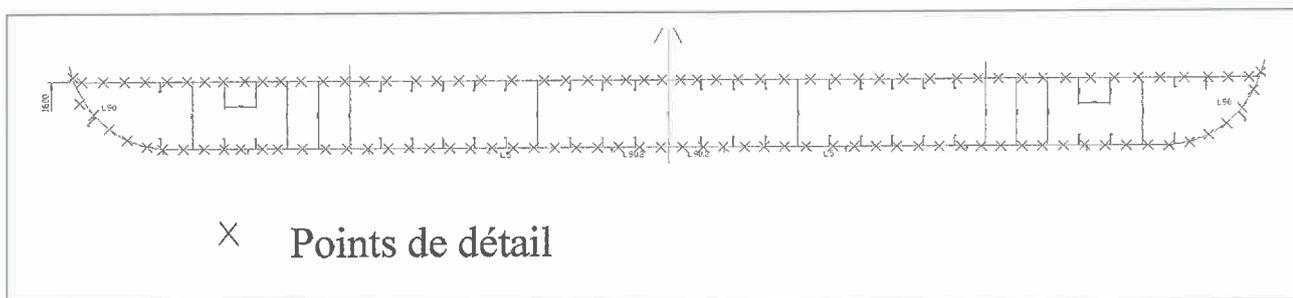
tement. Par conséquent le nombre d'équations servant au calcul des paramètres diminue, ainsi pour assurer une surabondance suffisante des informations, il faut augmenter le nombre de points mesurés.

#### Mesure des points de détail :

Les points de détail sont mesurés sur les enveloppes ou les nappes d'acier des panneaux et blocs pour modéliser leurs formes réelles, qui seront ensuite superposées aux formes théoriques.

Les intervalles entre points de détail sont choisis en fonction du degré d'analyse des déformations recherché.

Par exemple, pour les relevés que nous avons effectués sur les panneaux de fond de paquebots pour étudier l'influence des conditions de supportage sur les déformations, nous avons mesuré un point tous les 50 cm environ, ce qui représente 120 points.



## 4. Traitement final pour la visualisation des déformations

Les points de détail mesurés sur les panneaux et blocs subissent une transformation de leurs coordonnées avec les paramètres de transformation ajustés calculés à l'aide des points de calage. Cela

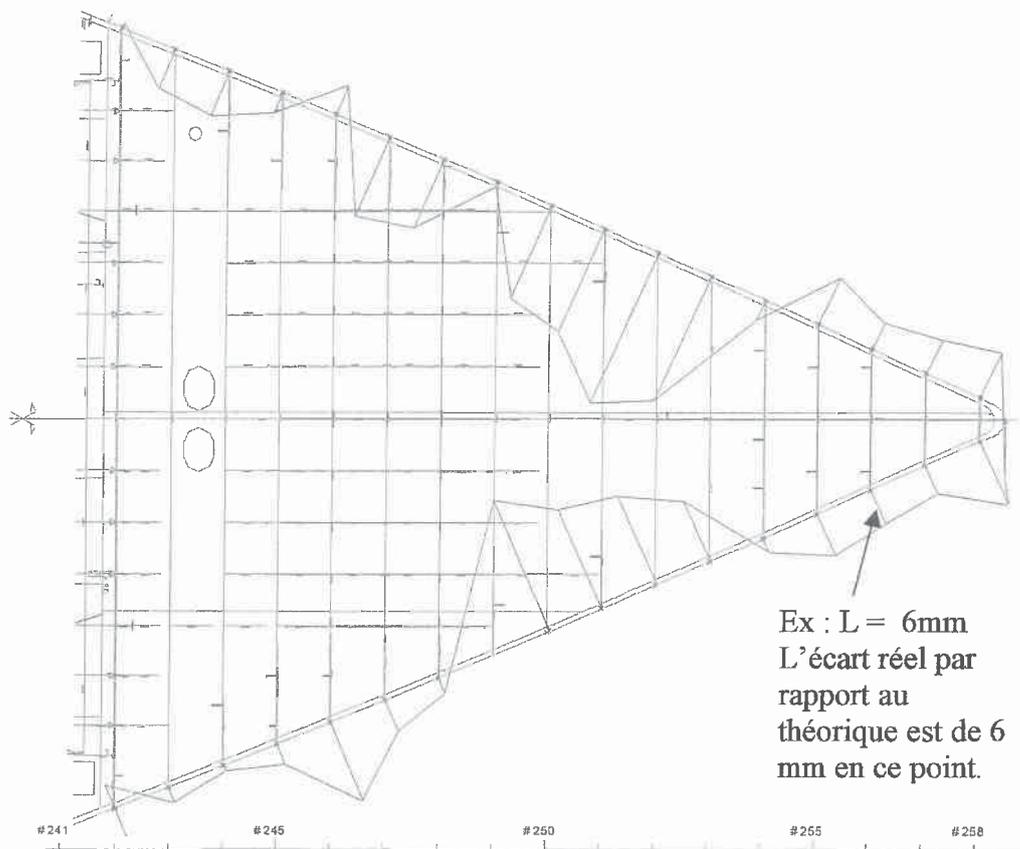
permet de les exprimer dans un système s'approchant au mieux du système théorique et de les comparer aux géométries théoriques données par les plans.

Les points sont alors automatiquement importés sur les fonds de plan informatiques représentant les sections de panneaux et blocs mesurés.

Les écarts entre chaque point et la courbe théorique de la coque sont ampli-

fiés perpendiculairement à celle-ci, de façon à apparaître à l'échelle 1/1 quelle que soit l'échelle du fond de plan. Ce processus entièrement automatisé est graphique, aucun calcul n'est réalisé

Une fois le document final imprimé, il suffit de mesurer à la règle les longueurs des barres de déformation pour obtenir les écarts réels, comme sur l'exemple suivant :



Déformations 0 10 mm

Bloc 670 (étrave)

Echelle du fond de plan : 1/100

Echelle des déformations : 1/1

*Cette cartographie des déformations permet de les localiser et de les quantifier immédiatement*

## 5. Conclusion

NAVMOD est un logiciel de représentation des déformations en 2D. Il fait intervenir les connaissances de base de la topographie adaptées à la métrologie: la mesure 3D, le calcul d'ajustement par moindres carrés et la représentation graphique à l'échelle. C'est sur ce dernier point que la valeur ajoutée du géomètre est importante car il a su adapter le symbolisme utilisé dans le domaine de la cartographie pour communiquer plus facilement. Ce type de représentation basique procure, en effet, une réalité à un jeu de

coordonnées 3D dont le niveau d'abstraction peut rebouter plus d'une personne qui ne fait partie du milieu fermé des hommes de la mesure.

Enfin, NAVMOD est un logiciel adapté au milieu de la construction navale mais son utilisation peut potentiellement être développée pour tout projet faisant intervenir des constructions modulaires avec un découpage en 3D ou plus simplement un découpage linéaire. Cet outil pourrait ainsi être utilisé dans des milieux aussi variés que la construction d'avions, de trains ou de voussoirs de ponts quels que soient la précision voulue et le capteur utilisé. Les

problèmes budgétaires ainsi que les impératifs d'ordonnancement ou de capacité de production ne permettent pas toujours sur des projets importants de choisir les solutions techniques les plus simples.

C'est « à la technique » de s'adapter en proposant notamment des solutions originales pour simuler l'accostage de deux éléments contigus à structure complexe qui peuvent être construits à plusieurs milliers de kilomètres l'un de l'autre. Il s'agit d'un atout indéniable sur des projets ambitieux pour lesquels anticipation et juste-à-temps riment avec maîtrise des risques et profits.