

#### *Module de vérification d'éléments Hydrostatiques :*

*Le module (HYDROCROSS) repose essentiellement sur des technologies numériques adaptées à l'architecture navale notamment le calcul Hydrostatique direct sur maillage 3D de la coque navire, on démontre que le code performe automatiquement le calcul des écarts d'une manière équivalente à un code d'une société de classification (BV) en termes de précision et qu'il permet d'évaluer ces indicateurs d'une manière simple intuitive et efficace.*

#### *Module de vérification des éléments de structure*

*En matière de structure le module (SCANTLING) repose sur des règles prouvées constituant les procédures de calcul IACS (ABS, NKK, BV) des principaux éléments de structure des navires en acier aussi bien qu'en bois, combinées avec des paramètres de forme nécessaires calculés par le module HYDROCROSS.*

*On démontrera dans la pratique que ce type d'évaluation en temps réel permettra aux services concernés de la Marine Marchande et à court terme, de prendre toutes dispositions nécessaires pour éliminer les écarts sinon les réduire, ce qui va permettre notamment ce qui suit :*

- *Mise à niveau de la sécurité de construction, condition sine-qua-non de la sauvegarde de la vie humaine en mer ;*
- *Incitation des Bureaux d'études à mettre plus de sérieux dans leurs travaux et améliorer leurs prestations ;*
- *Ouvrir de nouvelles perspectives pour l'approbation en ligne, dans le cadre de l'Administration Numérique ;*
- *Arrêt immédiat du "copiage" anarchique des dossiers.*

*Afin de garantir les conditions nécessaires de réussite et au vu de ses prérogatives au niveau de la commission centrale de sécurité cette tentative de réforme sera pilotée par le Ministère du Transport en étroite collaboration avec l'unité de gestion par objectif chargé du secrétariat de la CCS.*

---

*Z. Msahli*

## **MODULE I**

# **HYDROCROSS METER** rev 0.6

### **Etalon Hydrostatique Navire**

**Pour la vérification Automatique des éléments hydrostatiques et Pantocarènes  
des Navires**

2022

# HYDROCROSS METER rev 0.5

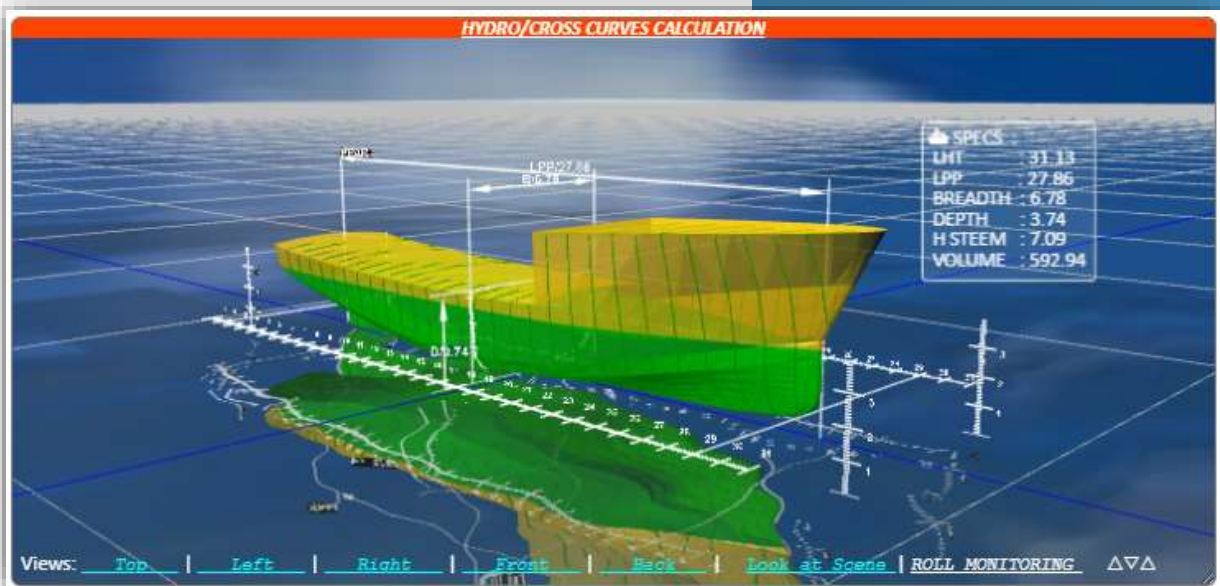
Etalon Hydrostatique Navire

Pour la vérification Automatique des éléments hydrostatiques et Pantocarènes

des Navires

DEMO: <https://youtu.be/liZIPdVNoa0>

Un pas vers l'approbation en ligne



Constatant l'impossibilité technique de vérification de l'authenticité et la conformité des études de stabilité, au niveau de l'étude des dossiers des navires soumis à l'approbation de la Commission Centrale de la Sécurité Maritime, sans l'emploi d'outil numérique de calcul de l'Hydrostatique navire, on propose une méthode de vérification automatique des données Hydrostatiques des navires, basée sur des technologies informatiques avancées adaptées à l'architecture navale notamment le calcul Hydrostatique directe sur maillage 3D de la coque navire en remplacement des couples classiques, développée en technologie web design universelle (JavaScript, Html & CSS).

Considéré comme chasse gardée des sociétés de classification ce type d'outil représente une percée technologique à même de permettre à l'Autorité Maritime d'être à la hauteur de ses responsabilités en matière de control de la sécurité de conception et de construction des navires non-Solas, tout en ouvrant des nouvelles perspectives pour l'approbation en ligne.

DEMO: <https://youtu.be/liZIPdVNoa0>

	<i>Page</i>
<b>MODULE I</b>	
<b>I PRESENTATION</b>	7
I.1 DEFINITION du CODE	
I.2 DOMAINE de calcul	
I.3 FONCTIONS Natives	8
I.3.1 Franc-bord Géométrie	
I.3.2 Dimensions Principales	
I.3.3 Données Hydrostatiques	
I.3.4 Jauge Présumée	
I.3.5 Données Pantocarènes	
I.4 DONNEES de VERIFICATION	9
I.5 PRINCIPE de CALCUL	
I.5.1 Synoptique du bouclage	10
I.5.2 Synoptique du code	11
I.6 FICHIER INPUT	12
I.7 INTERFACE	13
<b>II VALIDATION</b>	13
II.E1 1 <sup>er</sup> Exemple	
II.1/ Output Hydrostatique	
II.1.a Données VeristarStability	
II.1.b Données Technique Intégration Maillage	14
II.1.2 Eléments de Comparaison	
II.2 / Output COURBES PANTOCARENES	15
II.2.a Output VeristarStability	
II.2.b Output Technique Intégration Maillage (3DMIT)	
II.2.1 Comparaison Graphique	16
II.2.2 Référentiel des Tolérances standards	
II. E1 2 <sup>ème</sup> Exemple	17
II.2 / Output Hydrostatique	18
II.2.1 / Vérification / <i>référentiel Rhinoceros</i>	19
II.2.1.a Output RHINOCEROS	
II.2.1.b Output 3DMIT	
II.2.1.1 Eléments de Comparaison	
II.2.2 / Vérification / <i>référentiel VeristarStability</i>	20
II.2.2.a Output VeristarStability	
II.2.2.b Output 3DMIT	21
II.2.2.1 Eléments de Comparaison	
II.2.3 / Output PANTOCARENES	22
II.2.3.a Output VeristarStability	
II.2.3.b Output 3DMIT	
II.2.3.1 Eléments de Comparaison	23
II.2.3.2 Principe de vérification des courbes Pantocarènes	
III Rapport de Vérification	24
III.1 Fichier Xml Input	25
<b>MODULE II SCANTLING METER</b>	27
I. De la Vérification de l'échantillonnage	28
I.1 Module de Vérification de l'échantillonnage des navires en Acier	
I.1.1 Complément du Rapport de Vérification / Navires en Acier	29
I.1.2 Fichier Xml Input / Echantillonnage Acier	30
I.2 Module de Vérification de l'échantillonnage des navires en Bois	31
I.2.1 Complément du Rapport de Vérification / Navire en Bois	
I.2.2 Fichier Xml Input / Echantillonnage Bois	32

## I / PRESENTATION

Ci-après est présenté une méthode numérique Automatique de vérification de données Hydrostatiques des navires, basée sur des technologies numériques adaptées à l'architecture navale notamment le calcul Hydrostatique direct sur maillage 3D, de la coque navire en remplacement du passage obligé par les couples classiques décrivant la géométrie du navire et faisant l'objet d'un long travail fastidieux au niveau du plan des formes, développé en technologie web design universelle neutre (pure JavaScript, Html & CSS [1] ), portable donc sur différents systèmes d'exploitation (OS X, Linux, Windows) et différents navigateur internet tel que Firefox, Chrome et Opera .Pratiquement l'automatisation de la vérification du calcul sera assurée par combinaison avec la numérisation de documents à soumettre à la Commission Centrale de Sécurité, principalement le fichier de la coque navire en 3D associé à un fichier Xml des données objet de la vérification numérique automatique .

Le code étant développé en JavaScript il pourrait être intégré au Système d'information de la Marine Marchande SIMM, sans difficultés significatives, selon la référence [2].

### I.1 / DEFINITION du CODE

<b>Tache</b>	/ Vérification des données hydrostatiques des navires
<b>Champ D'application</b>	/ Navires non-Solas monocoque
<b>Prérequis</b>	/ Fichier 3D de la coque en remplacement du plan des formes

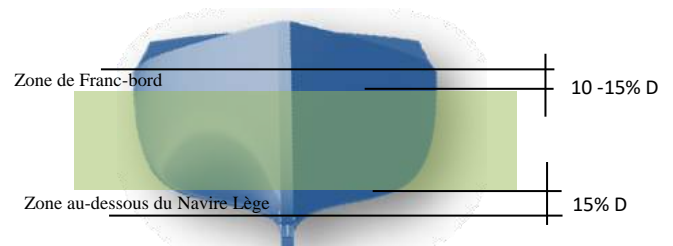
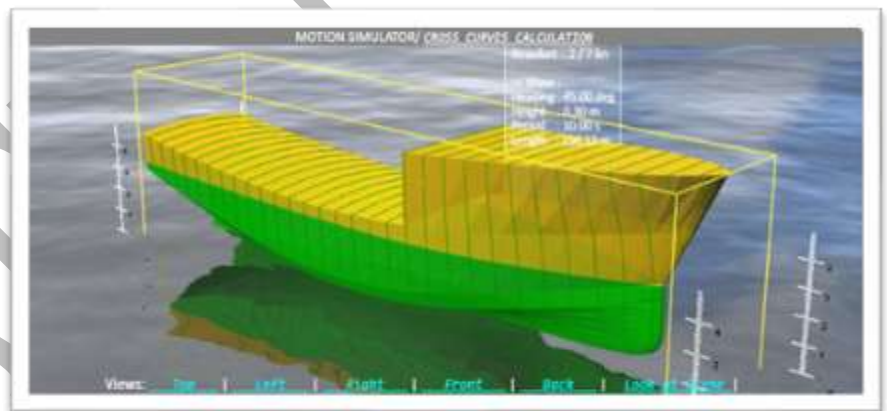
### I.2/ Domaine de calcul

Vu les dispositions relatives au franc-bord, un navire ne doit pas être chargé au-delà d'un tirant d'eau max défini par

$$T_{max} = Creux - Fb$$

Par conséquent le code est conçu pour tenir compte de cette limitation réglementaire et focalise le calcul Hydrostatique et Pantocarène

dans la partie de la carène limitée par le tirant d'eau maxi (Carène en vert) avec un décalage au niveau zéro correspond à la zone en dessous du poids lège définie comme zone hors calcul d'assiette



[1] <https://waytolearnx.com/2019/03/difference-entre-html-css-et-javascript.html>

[2] Practical Jboss Seam Projects .Jul.2007 de Jim Farley Ch8/Rich Web Clients

## I.3 Les Fonctions Natives

### I.3.1 Franc-bord Géométrique

Le franc-bord Géométrique [1] prévisionnel est calculé conformément à la règle III.1 de la note de services n°10 du 25 Mai 2009 relative au transport des personnes à titre onéreux entre port et site du littoral, à savoir :

**FB=0.1B** pour les navires de longueur  $L > 12\text{m}$  et **FB=0.15B** pour les navires de longueur  $L < 12\text{m}$

### I.3.2/ Dimensions Principales

Conformément à la Règle 3 du Protocole 88 de la convention Internationale sur les Lignes de charge tel que modifié en 2003, le code calcul les dimensions suivantes tout en considérant que la mèche gouvernail est située au niveau  $x=0$  [2]

Longueur Hors tout	Longueur entre PP	Perpendiculaire arrière	Perpendiculaire Avant	Largeur	Creux sur quille
LHT	LPP	PPAR	PPAV	B	D

### I.3.3/ Données Hydrostatiques

Volume	$\nabla$	$\text{m}^3$
distance from the waterline center of gravity to the Aft PP	Lcf	m
Horizontal distance from center of Buoyancy to the Aft PP	Lcb	m
Vertical distance from center of Buoyancy to zero Line	kb	m
Vertical distance from the transverse metacenter to zero Line	kMt	m
Area of the water line	Wpa	$\text{m}^2$
variation of displacement per 1 cm of immersion.	Tpc	t/cm
<b>Coefficients de forme</b>		
Bloc Coefficient	Cb	
Prismatic Coefficient	Cp	
WaterPlane Coefficient	Cwl	

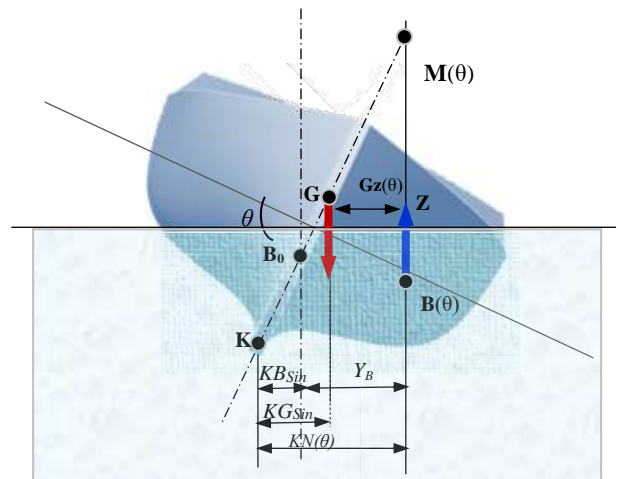
### I.3.4 /Jauge Présumée : Volume sous pont exacte \*0.353

### I.3.5/ Données Pantocarènes

Compte tenu des critères de stabilité fixés par le code International de stabilité à l'état intact IS2008 Ch. II 2.2, qui sont concentrés dans la zone d'inclinaison inférieure à  $40^\circ$  le code limite le calcul des courbes Pantocarènes à cet angle.

En prenant  $B_0$  le centre de carène droite comme origine de rotation le calcul des valeurs de KN est simplifié à l'extrême, en effet à différentes immersions et inclinaisons KN est la valeur géométrique tel que  $KN_{(\theta)} = |Y_K| + |Y_B|$

$$\Rightarrow KN_{(\theta)} = KB_0 \sin \theta + Y_B \text{ où } KB_0 \sin \theta \text{ est annoté par } Kbsin$$



[1] Pour un navire donné Le franc-bord Géométrique est différent du franc-bord assigné, en effet le franc-bord assigné tiendra nécessairement compte de la conformité des conditions d'assignation y relatif, alors que le franc-bord Géométrique tient compte seulement de la géométrie du navire.

[2] Disposition vérifiée au niveau du Logiciel du Bureau Veritas VeristarStability.



## I.4/ DONNEES de VERIFICATION

La vérification de l'authenticité des données Hydrostatiques est ciblée, en effet seules les caractéristiques géométriques directement liées à la stabilité initiale  $GM_t$  sont prises en considération en l'occurrence le volume de carène  $V$ , la surface de la flottaison  $A_{wt}$ , le centre de carène vertical  $K_b$  et au titre de validation la hauteur métacentrique transversale  $K_{Mt}$ , selon la formulation suivante :

$$GM_t = r - a \quad \text{où } r = BM_t = \frac{I_t}{V} \quad \text{et } a = KG - KB \quad \text{et } K_{Mt} = KB + BM_t \quad \Rightarrow \quad K_{Mt} = KB + I_t/V$$

$I_t$  étant le moment d'inertie transversal de la surface de flottaison

**NB :** vérifier  $K_{Mt}$  revient à valider la somme de  $KB$  plus le moment d'inertie en rapport avec le volume  $V$

## I.5/ PRINCIPE de CALCUL

La conception actuelle des navires repose sur des outils de conception modernes qui permettent de travailler directement sur des formes tridimensionnelles, le code utilise donc des techniques de calcul spécifiques adaptées aux formes géométriques des navires définies par un maillage<sup>1</sup> polygonal 3D, largement explicité à l'ANNEXE I / III NOUVELLE TECHNOLOGIE, et dont le principe repose sur un double bouclage : boucle immersion de l'objet coque navire dans une boucle principale de rotation aux inclinaisons (Angle 0, 5, 10, 20, 30, 40)

### Loop 1 (Rotation)

Traitement Volume

- Rotation de la Carène aux angles (5 10 20 30 40) ;

### Loop 2 (immersion)

- Immersion de la Coque d'un tirant d'eau dT, ensuite ;
- Coupe du maillage coque par un plan de niveau zéro ;
- Obtenir des points d'intersection du plan zéro avec le maillage de la Carène ;
- Générer un maillage coiffe à partir des points d'intersection suscités ;
- Fusionner le maillage Carène avec maillage coiffe pour obtenir le maillage fermé de carène ;
- Calcul volume, Lcb, kb et autres paramètres de forme ;

Traitement Surface

- Obtenir des points d'intersection du plan de niveau zéro avec le maillage de la Carène ;
- Générer un maillage plan d'eau à partir des points d'intersection suscités
- Calcul sur le plan d'eau, Lcf, Tcf et des moments d'inertie  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $K_{mt}$ .

End Loop 2

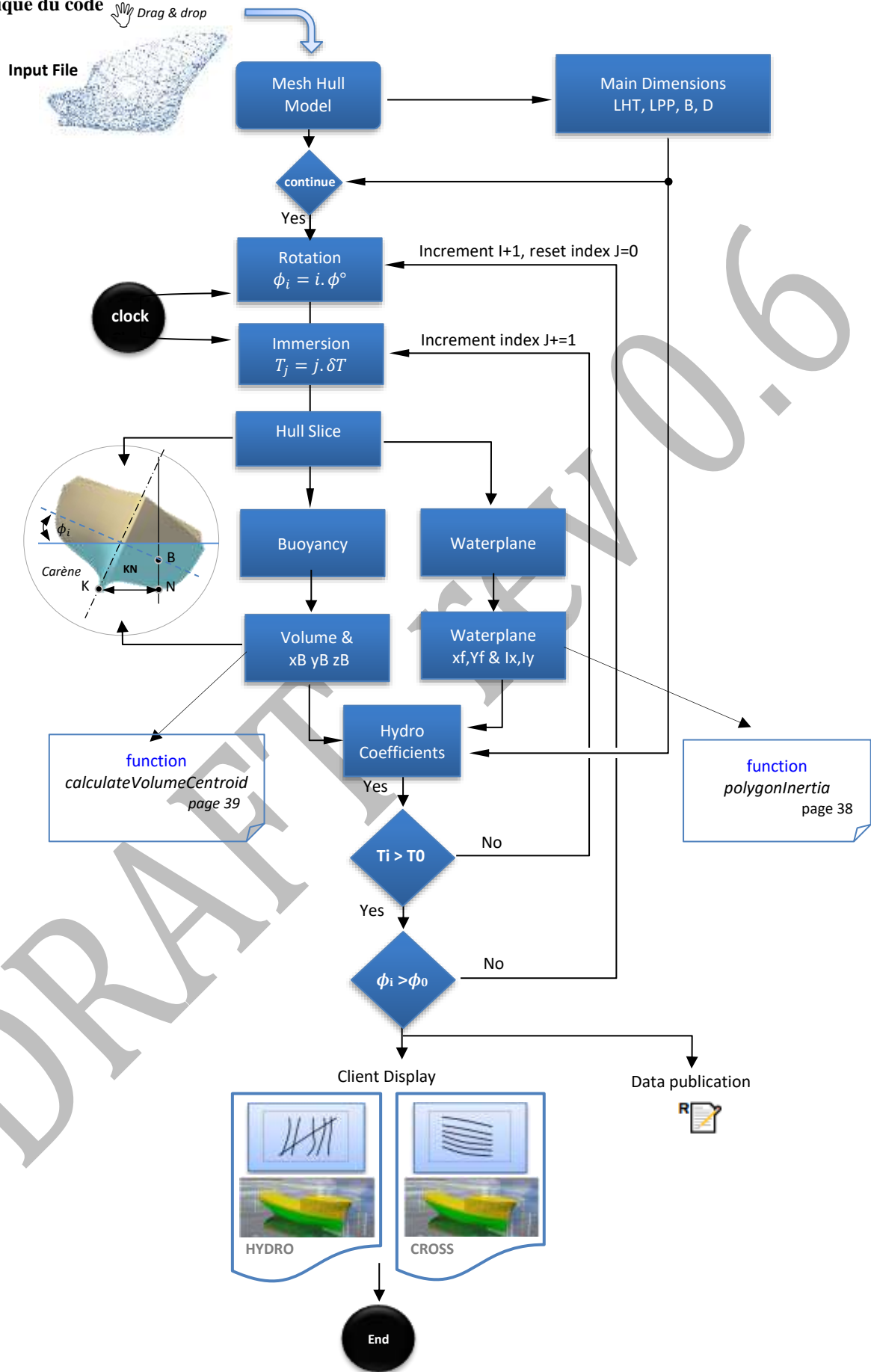
end Loop 1

### I.5.1/ Synoptique du bouclage

CYCLE Horloge/ Loop 1	IMMERSION (Domaine de Calcul) / Loop 2	PIVOT	Curves
i = 0	J = 0, (j++) $\Rightarrow$ j=n   Reset j = 0, Increment i++	0	Hydro
i = 1	J = 0, (j++) $\Rightarrow$ j=n   j = 0, i++	5°	Cross
i = 2	J = 0, (j++) $\Rightarrow$ j=n   j = 0, i++	10°	Cross
i = 3	J = 0, (j++) $\Rightarrow$ j=n   j = 0, i++	20	Cross
i = 4	J = 0, (j++) $\Rightarrow$ j=n   j = 0, i++	30	Cross
i = 5	J = 0, (j++) $\Rightarrow$ j=n   j = 0, i++	40	Cross

<sup>1</sup> Un maillage polygonal 3D / (3D mesh) est une structure de données géométriques qui représente des subdivisions de surface à l'aide d'un ensemble de polygones dans l'espace xyz.

## I.5.2/ Synoptique du code Drag & drop





## **I.6 / FICHIER INPUT**

Le fichier 3D de la coque navire est du type AMF (additive manufacturing file format) standardisé par l'ISO/ASTM 52915 :2020, qui utilise le langage Xml standardisé par l'ISO/IEC 29500-1 :2016, le même utilisé par le standard Open Class 3D Exchange (3D OCX) prévu par le consortium y relatif en tant que documentation de conception aussi bien que de vérification en mode accéléré, et ce en remplacement des plans 2D sur support papier, le code reconnaît aussi nativement le format 3D OBJ [1] (de la société Wavefront Technologies), considéré comme un des formats le plus universel en raison de sa neutralité matérielle il est adapté par la totalité des logiciels de conception 3D comme format de transfert des graphiques (vérifié)

Logiciels 3D dotés de fonction Import/Export en format OBJ

- TurboCAD Deluxe
- Autodesk AutoCAD
- Autodesk Maya
- Rhinoceros
- Maxsurf 20
- Siemens Solid Edge
- Blender
- Dassault Systemes SolidWorks
- MeshLab

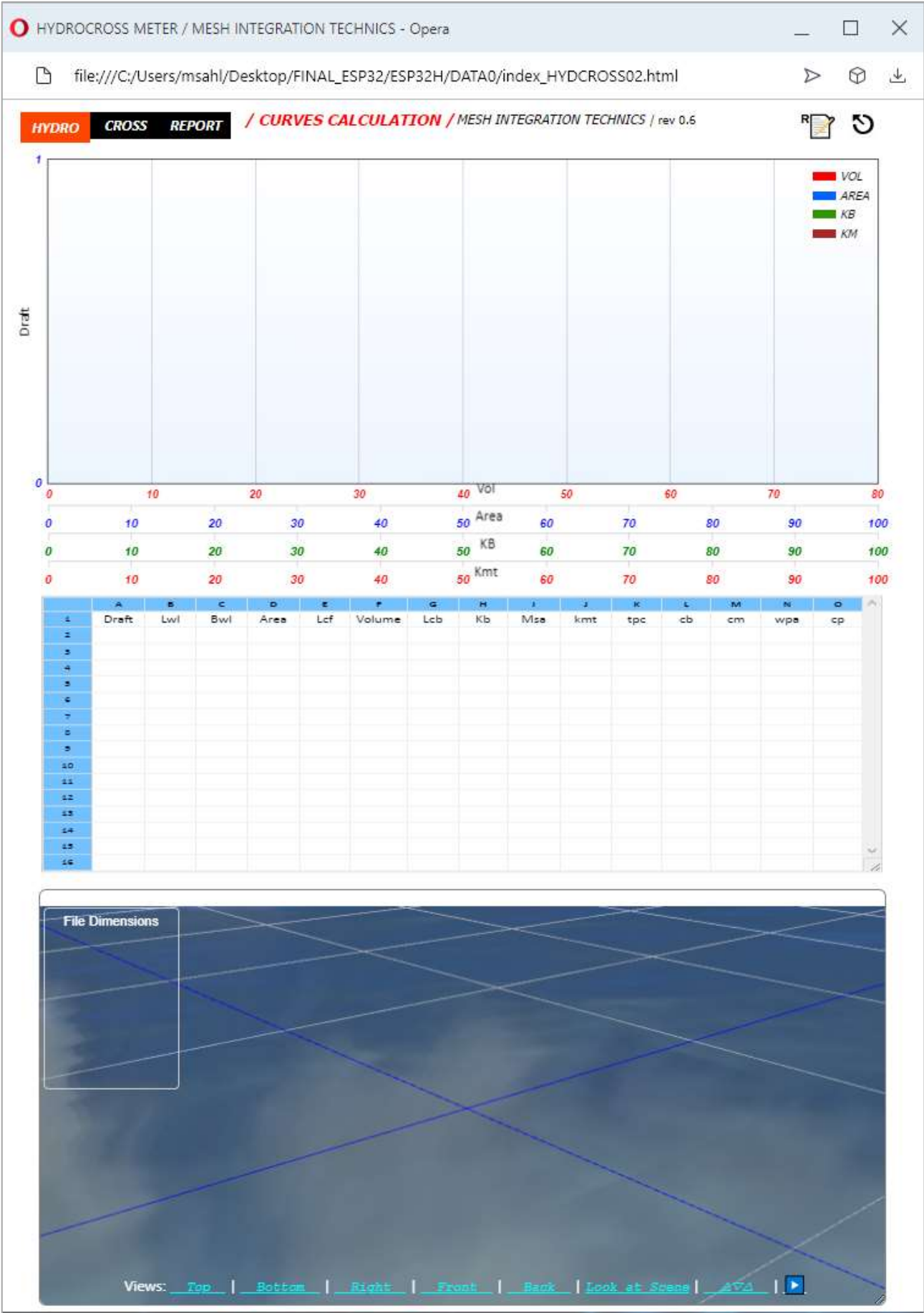
Pour assurer une transition sans difficultés techniques pour les Bureaux d'études ce format peut donc jouer le rôle de passerelle [2] éventuellement pour le format AMF (xml) au cas où ce dernier n'est pas adapté par le logiciel utilisé, par ailleurs il est démontré que l'élaboration de forme 3D de la coque à partir d'image 2D du plan des formes est un processus documenté par plusieurs logiciels d'architectures navales, mieux que ça il est démontré la disponibilité de logiciels gratuits dotés de fonctions d'import-export permettant d'exporter en format 3D .

Aussi une solution générale se basant sur les techniques de triangulation numérique qui consiste à coller un maillage 3D sur les couples 2D est en phase de d'étude, toutefois l'utilisation de cette technique est planifiée exclusivement pour les navires existants de formes classiques.

[1] [fileinfo.com/extension/obj](http://fileinfo.com/extension/obj)

[2] <https://products.aspose.app/3d/conversion/obj-to-amf/embed&h1&h2&net> ; <https://fabconvert.com/convert/3d-model>

I.7 / INTERFACE



## II / VALIDATION

Comme *référentiel de validation*, le logiciel VeristarStability standard international en la matière, propriété de la société de classification Bureau Veritas a été choisi.

**II. E1 /1<sup>er</sup> Exemple** Ponton de forme Parallélépipède de dimensions suivante :  $L_{ht} = 40m$  ; Largeur = 10m ; Creux = 5 m. dérivé d'un exemple localisé au répertoire VeristarStability *Example*, des non conformités ont été vérifiées au début de l'épreuve et il a fallu faire recours à l'assistance de BV Paris pour corriger les erreurs non documentées, voir ([Annexe III](#))

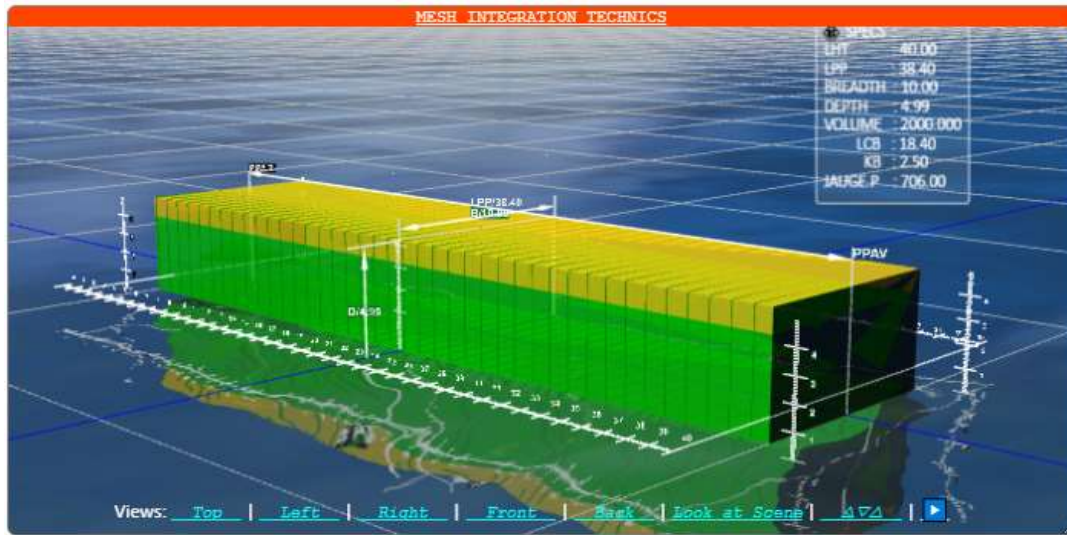
### II.1/ Output Hydrostatique

#### II.1.a /Données VeristarStability



## II.1.b / Données Technique Intégration Maillage

Le logiciel VeristarStability est doté d'un format propriétaire complexe(\*.vrs), il s'agit d'une base de données englobant les dimensions, couples, Bouchains, livet de Pont, profil et couples des capacités , les points qui définissent les courbes splines de ces éléments sont des points à contraintes qui déterminent la tension de la courbe y relative en ce point, de par cette particularité il est fermé à l'environnement CAO externe et n'a donc pas de fonction d'import /Export de fichier graphique 3D, ce qui a emmené à concevoir un Ponton de même dimension par le logiciel Rhinoceros [1], le fichier y relatif est exporté sous le format OBJ , notant par ailleurs que les données hydrostatiques peuvent même être vérifiées manuellement d'une manière aisée et directe



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Draft	Lwl	Bwl	Area	Lcf	Volume	Lcb	Kb	Msa	kmt	mct	tpc	cb	cm	wps	cp
2																
3	1.00	40.00	10.00	400.00	18.40	400.00	18.40	00.50	09.87	08.83	18.22	04.10	1.00	0.99	2.22	1.01
4	1.50	40.00	10.00	400.00	18.40	600.00	18.40	00.75	14.89	06.31	18.22	04.10	1.00	0.99	2.22	1.01
5	2.00	40.00	10.00	400.00	18.40	800.00	18.40	01.00	19.93	05.17	18.22	04.10	1.00	1.00	2.22	1.00
6	2.50	40.00	10.00	400.00	18.40	1000.00	18.40	01.25	24.96	04.58	18.22	04.10	1.00	1.00	2.22	1.00
7	3.00	40.00	10.00	400.00	18.40	1200.00	18.40	01.50	30.00	04.28	18.22	04.10	1.00	1.00	2.22	1.00
8	3.50	40.00	10.00	400.00	18.40	1400.00	18.40	01.75	35.02	04.13	18.22	04.10	1.00	1.00	2.22	1.00
9	4.00	40.00	10.00	400.00	18.40	1600.00	18.40	02.00	40.06	04.08	18.22	04.10	1.00	1.00	2.22	1.00
10	4.50	40.00	10.00	400.00	18.40	1800.00	18.40	02.25	45.09	04.10	18.22	04.10	1.00	1.00	2.22	1.00
11																
12																
13																
14	Draft															
15	1.50	40.00	10.00	400.00	18.40	600.00	18.40	00.75	14.89	06.31	18.22	04.10	1.00	0.99	2.22	1.01
16																

## II.1.2 / Eléments de Comparaison

Draft	★ Wpa	DMIT Wpa	ε	★ Vol	3DMIT Vol	E	★ Kb	3DMIT kb	Tol	★ KMT	3DMIT KMT	E
1.00	400.00	400.00	0.000%	400.00	400.00	0.000%	0.50	0.50	0.000%	8.83	8.83	0.000%
1.50	400.00	400.00	0.000%	600.00	600.00	0.000%	0.75	0.75	0.000%	6.306	6.31	0.063%
2.00	400.00	400.00	0.000%	800.00	800.00	0.000%	1.00	1.00	0.000%	5.167	5.17	0.058%
2.50	400.00	400.00	0.000%	1000.00	1000.00	0.000%	1.25	1.25	0.000%	4.583	4.58	-0.066%
3.00	400.00	400.00	0.000%	1200.00	1200.00	0.000%	1.50	1.50	0.000%	4.278	4.28	0.047%
3.50	400.00	400.00	0.000%	1400.00	1400.00	0.000%	1.75	1.75	0.000%	4.131	4.13	-0.024%

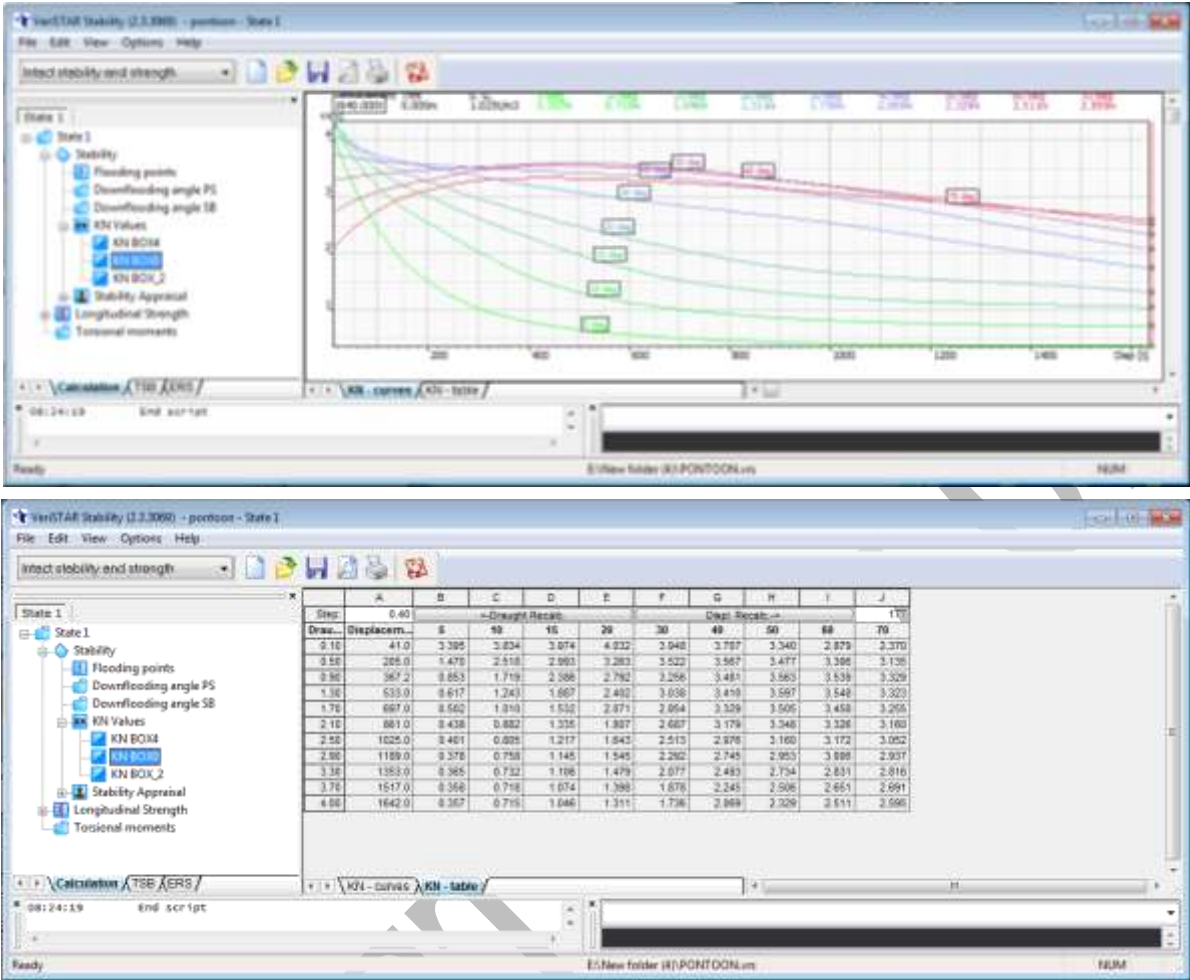
Les données hydrostatiques Sont pratiquement les mêmes.

[1] Rhinoceros 3D, est un logiciel de CAO propriété de la société Robert McNeel & Associates, la version d'essai Rev6 valide pendant 90 jours, peut être téléchargée à partir de <https://www.rhino3d.com/download/archive/rhino-for-windows/6/latest/>

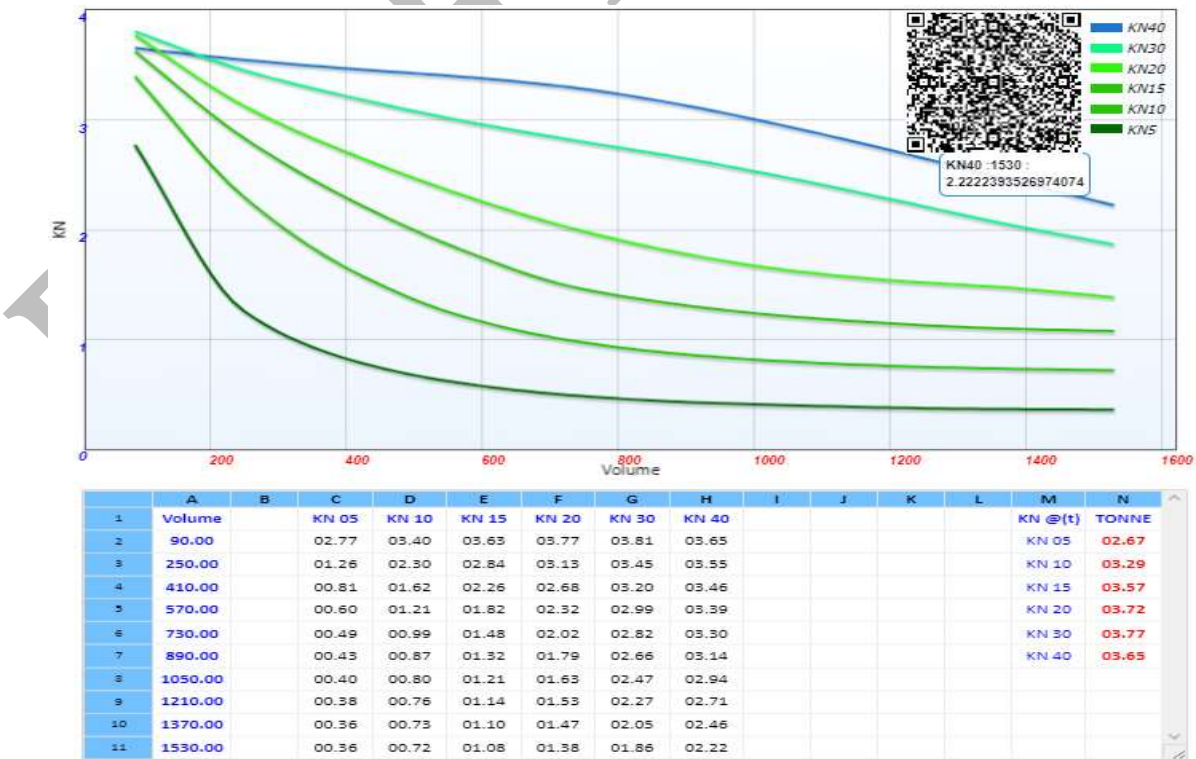


II.2 / Output COURBES PANTOCARENES

II.2.a/ Output VeristarStability

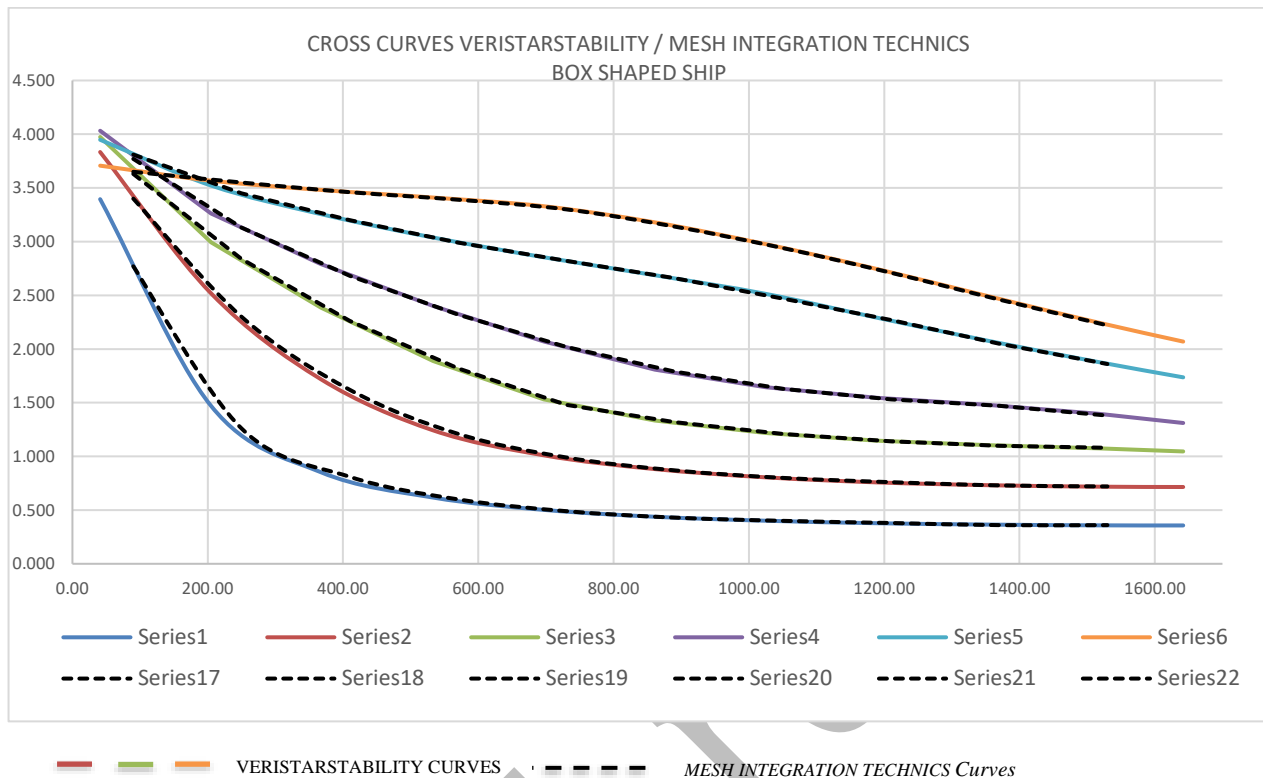


II.2.b / Output Technique Intégration Maillage (3DMIT)



## II.2.1 / Comparaison Graphique

Les données VeristarStability et MESH INTEGRATION TECHNICS sont traitées avec une feuille Excel par superposition dans le même graphique que ci-dessous



### Remarque

Mis à part un écart négligeable à des faibles angles d'inclinaison par rapport aux résultats VeristarStability, on peut considérer que la précision du code 3DMIT, pour des formes géométriques exactes, s'inscrit dans les tolérances des normes standards

## II.2.2 / Référentiel des Tolérances standards / Résolution MSC.1/Circ.1229

Ci-joint la liste des tolérances admissibles des données hydrostatiques tel que fixées par l'OMI aux titres des écarts du calcul basés sur modèle de forme de coque par rapport aux résultats approuvés par les RO's ou l'Administration

### IMO HULL FORM DEPENDENT TOLERANCES

ITEM	TOLERANCES	ITEM	TOLERANCES
<b>HULL Form Dependant</b>		Transverse centre of gravity	0.5 % of B / 5 cm max
Displacement	2 %	Free surface moment	2 %
Longitudinal centre of buoyancy/ AP	1% / 50 cm max	Shifting moment	5 %
Vertical centre of buoyancy	1% / 5 cm max	Level of contents	2 %
Transverse centre of buoyancy	0.5 % of B / 5 cm max	<b>Trim and stability</b>	
Longitudinal centre of flotation/ AP	1% / 50 cm max	Draughts (forward, aft, mean)	1% / 5 cm max
Moment to trim 1 cm	2 %	GMt	1% / 5 cm max
Transverse metacentric height	1% / 5 cm max	GZ values	5% / 5 cm max
Longitudinal metacentric height	1% / 50 cm max	FS correction	2 %
Cross curves of stability	50 mm	Downflooding angle	2°
<b>Compartment dependant</b>		Equilibrium angles	1°
Volume or deadweight	2 %	Distance to unprotected openings or	+/- 5% / 50 cm max
Longitudinal centre of gravity/ AP	1% / 50 cm max	margin line from WL, if applicable	+/- 5% / 50 cm max
Vertical centre of gravity	1% / 5 cm max	Areas under righting arm curve	5 % or 0,0012mrad

## II. E2 / 2<sup>ème</sup> Exemple

Un navire de pêche du type Série **UBC** (élaborée par **University of British Columbia** / Vancouver Canada)

de dimensions suivantes /

*Lht* = 31.13m

*Largeur* = 6.78m

*Creux* = 3.74 m (Fichier Coque 3D *TRAWLER.obj* 153 ko)

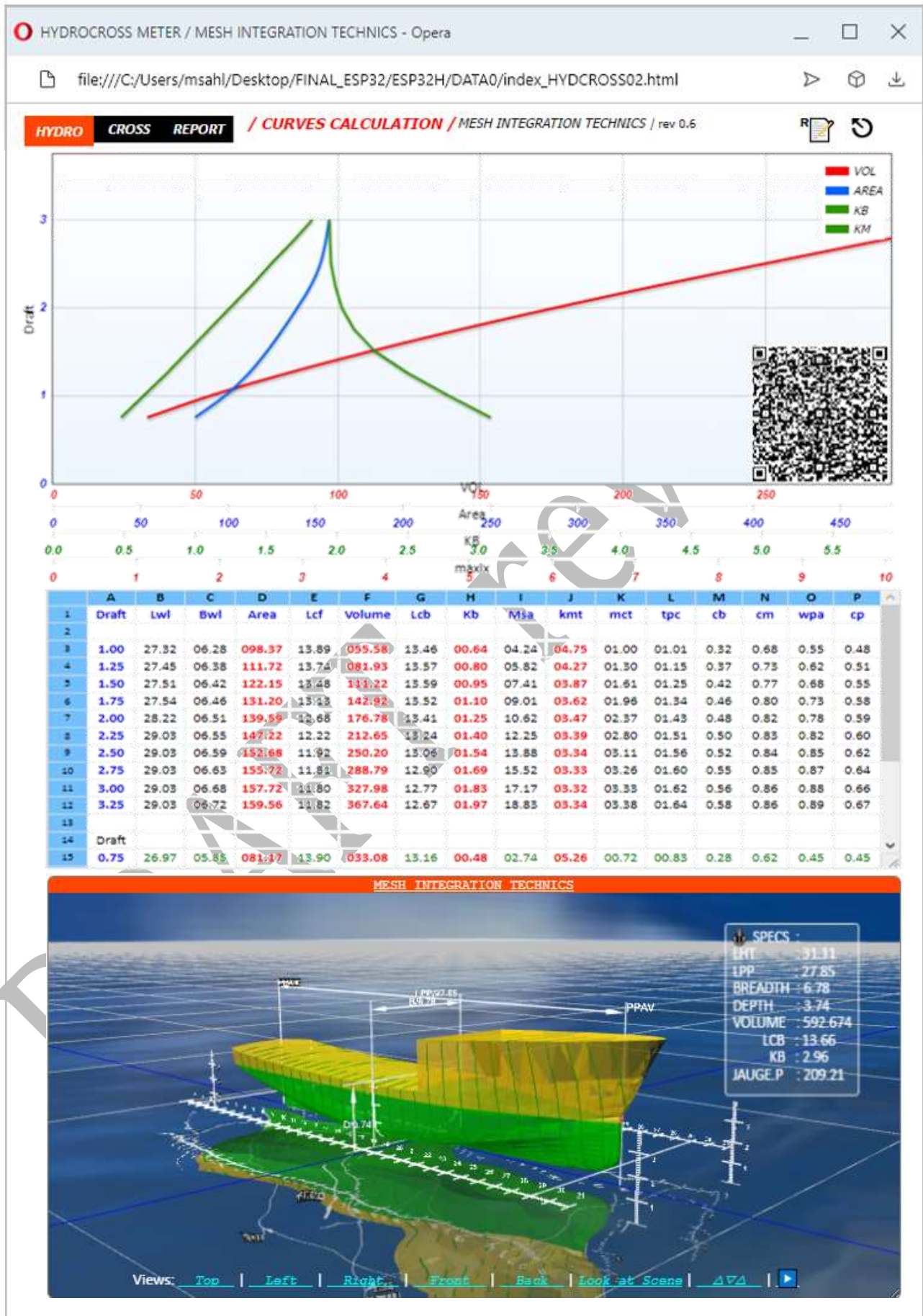
### Fichier Coque Navire AMF

```
<?xml version="1.0" ?>
<!--AMF generated by Rhinoceros 3d. Robert McNeel and Associates. 2015-->
<amf version="1.1" unit="Millimeters" xml:lang="en">
  <metadata type="name">SHIPAMF.amf</metadata>
  <object id="1">
    <metadata type="name">object_1</metadata>
    <mesh>
      <vertices>
        <vertex>
          <coordinates>
            <x>-0.512</x>
            <y>3.02</y>
            <z>4.1</z>
          </coordinates>
        </vertex>
        <vertex>
          <coordinates>
            <x>-0.512</x>
            <y>3.02</y>
            <z>3.53</z>
          </coordinates>
        </vertex>
        <vertex>
          <coordinates>
            <x>-0.512</x>
            <y>2.95</y>
            <z>3.25</z>
          </coordinates>
        </vertex>
        . . . . .
      </vertices>
      <triangle>
        <v1>474</v1>
        <v2>473</v2>
        <v3>416</v3>
      </triangle>
      <triangle>
        <v1>825</v1>
        <v2>749</v2>
        <v3>742</v3>
      </triangle>
    </mesh>
  </object>
</amf>
```





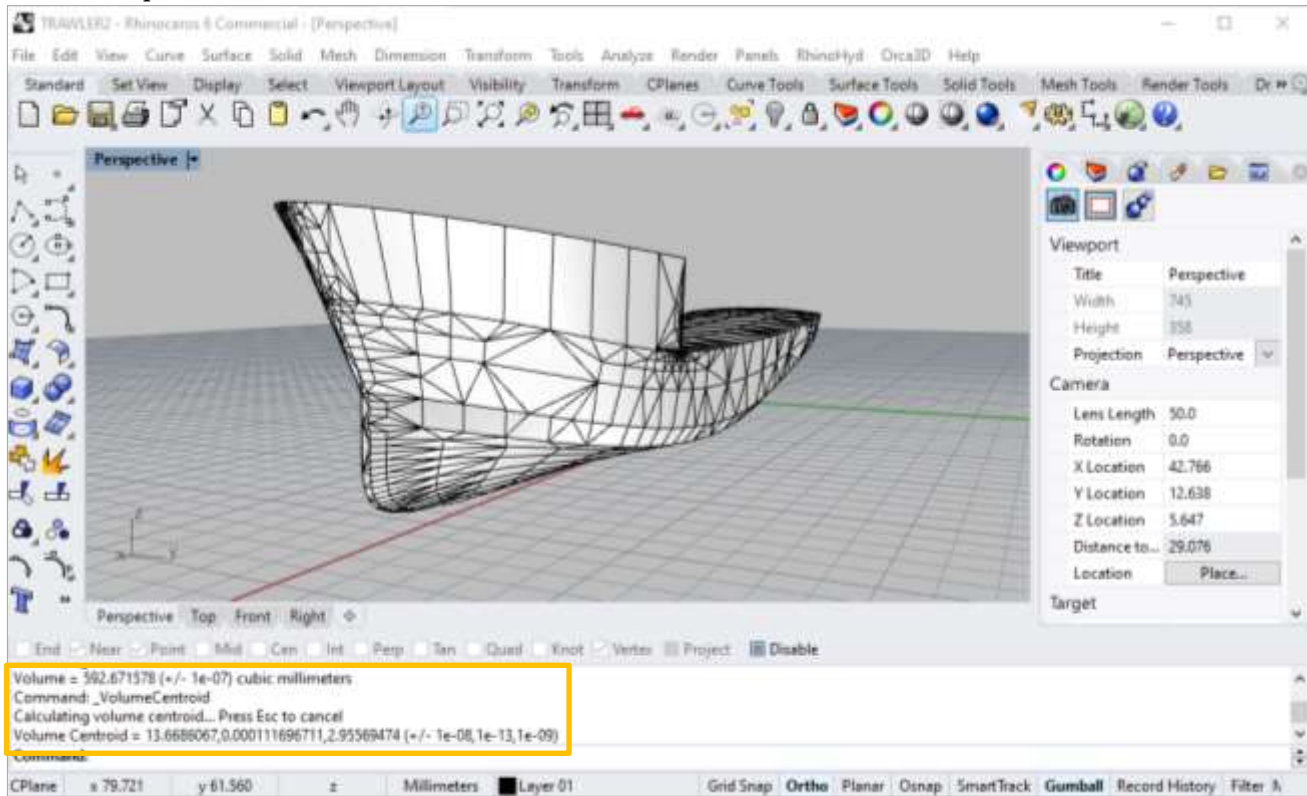
## II.2 / Output Hydrostatique



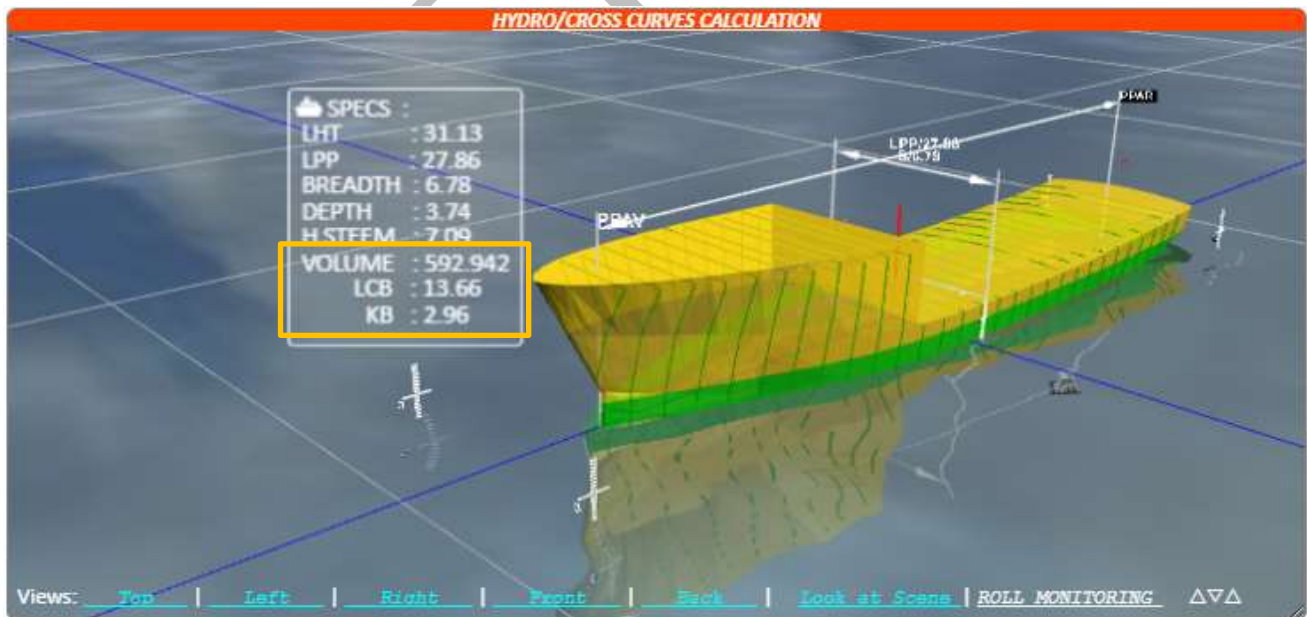
## II.2.1 / Vérification / référentiel Rhinoceros rev 6

Il s'agit d'une vérification rapide du volume totale de la coque ainsi que des coordonnées de son centre de gravité, avec le fichier 3D *TRAWLER.obj* comme fichier input.

### II.2.1.a / Output RHINOCEROS



### II.2.1.b / Output 3DMIT



#### II.2.1.1/ Eléments de Comparaison

Item	RHINO	3DMIT	ε
<b>Volume</b>	592.671	592.942	0.046%
<b>LCBo</b>	13.668	13.66	-0.059%
<b>Kebo</b>	2.955	2.96	0.169%

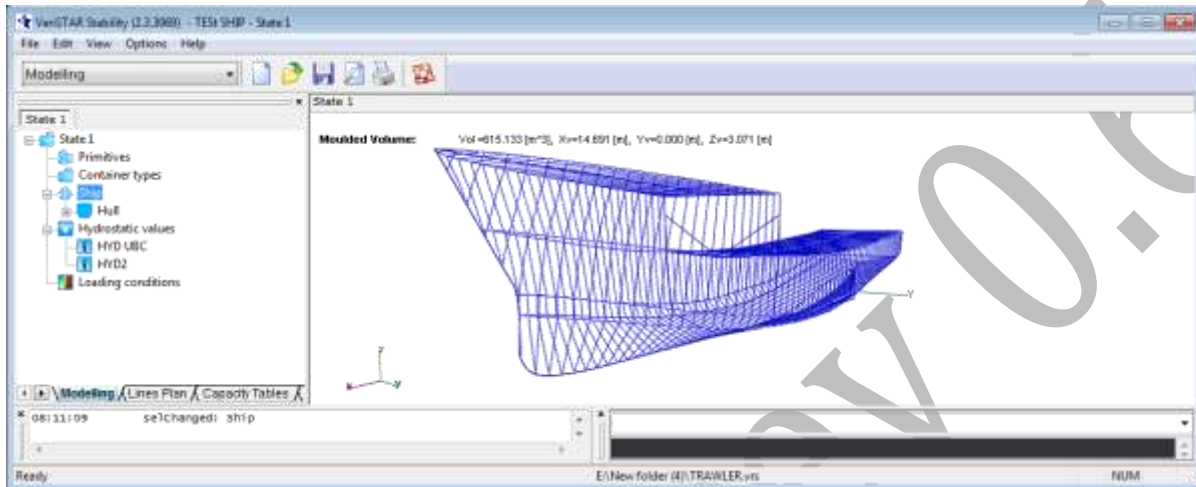
Les écarts entre les données Rhinoceros 3D et 3DMIT sont nettement inférieurs à 0.5%, cela est justifié par le fait que Rhino 3D emploie les mêmes techniques d'intégration numérique



## II.2.2 / Vérification / référentiel VeristarStability

Vu l'inexistence de fonction d'import-export de fichier 3D, la réplique exacte de model de coque 3D est quasiment impossible, à cet effet pour minimiser les risques d'altérations de la forme originale, une procédure numérique au niveau de rhino a été élaborée pour obtenir un fichier XML spécifique à ce modèle, une fois importé dans VRS plusieurs corrections ont été effectuées pour obtenir finalement la base de données (*TRAWLER5.vrs*) requise dont les dimensions ont été légèrement modifiées comme suit : Lht = 33.30m Largeur = 6.79m Creux = 3.76m

### II.2.2.a / Output VeristarStability



The screenshot shows the Veristar Stability (2.3.2009) interface with the 'Hydro-curves' tab selected. The table displays hydrostatic data for the ship model. The table has 17 rows and 13 columns. The columns are: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17. The rows are labeled: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17. The table contains numerical data for various hydrostatic parameters.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Trm at MS	Trm at MS	Displacement	LCB	VCB	LCF	TPcm	MTcm	KML	KMT	Cb						
on BL	under keel	[t]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]							
0.500	0.500	15.53	12.229	0.303	13.581	0.60	0.42	78.534	5.662	0.222						
0.750	0.750	33.68	13.085	0.400	13.926	0.84	0.69	60.243	5.428	0.283						
1.000	1.000	56.86	13.445	0.643	13.947	1.01	0.97	50.798	4.832	0.326						
1.250	1.250	83.92	13.587	0.799	13.821	1.15	1.25	44.889	4.292	0.382						
1.500	1.500	113.99	13.621	0.951	13.583	1.25	1.55	41.178	3.890	0.422						
1.750	1.750	146.55	13.575	1.101	13.225	1.35	1.87	38.827	3.639	0.462						
2.000	2.000	181.44	13.486	1.251	12.815	1.44	2.21	37.193	3.484	0.496						
2.250	2.250	218.38	13.318	1.399	12.427	1.51	2.52	35.379	3.397	0.512						
2.500	2.500	257.02	13.154	1.546	12.237	1.55	2.89	32.318	3.347	0.519						
2.750	2.750	296.63	13.008	1.690	11.978	1.60	3.11	30.469	3.331	0.553						
3.000	3.000	336.96	12.884	1.831	11.686	1.62	3.46	27.598	3.316	0.573						
3.250	3.250	377.57	12.789	1.971	12.010	1.63	3.60	25.304	3.326	0.590						
3.500	3.500	418.65	12.715	2.109	12.057	1.65	3.07	23.572	3.359	0.604						

The screenshot shows the Veristar Stability (2.3.2009) interface with the 'Hydro-curves' tab selected. The table displays hydrostatic data for the ship model. The table has 17 rows and 13 columns. The columns are: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17. The rows are labeled: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17. The table contains numerical data for various hydrostatic parameters.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Trm at MS	Trm at MS	Displacement	LCB	VCB	LCF	TPcm	MTcm	KML	KMT	Cb						
on BL	under keel	[t]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]							
0.500	0.500	15.53	12.229	0.303	13.581	0.60	0.42	78.534	5.662	0.222						
0.750	0.750	33.68	13.085	0.400	13.926	0.84	0.69	60.243	5.428	0.283						
1.000	1.000	56.86	13.445	0.643	13.947	1.01	0.97	50.798	4.832	0.326						
1.250	1.250	83.92	13.587	0.799	13.821	1.15	1.25	44.889	4.292	0.382						
1.500	1.500	113.99	13.621	0.951	13.583	1.25	1.55	41.178	3.890	0.422						
1.750	1.750	146.55	13.575	1.101	13.225	1.35	1.87	38.827	3.639	0.462						
2.000	2.000	181.44	13.486	1.251	12.815	1.44	2.21	37.193	3.484	0.496						
2.250	2.250	218.38	13.318	1.399	12.427	1.51	2.52	35.379	3.397	0.512						
2.500	2.500	257.02	13.154	1.546	12.237	1.55	2.89	32.318	3.347	0.519						
2.750	2.750	296.63	13.008	1.690	11.978	1.60	3.11	30.469	3.331	0.553						
3.000	3.000	336.96	12.884	1.831	11.686	1.62	3.46	27.598	3.316	0.573						
3.250	3.250	377.57	12.789	1.971	12.010	1.63	3.60	25.304	3.326	0.590						
3.500	3.500	418.65	12.715	2.109	12.057	1.65	3.07	23.572	3.359	0.604						

## II.2.2.b / Output 3DMIT

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Draft	Lwl	Bwl	Area	Lcf	Volume	Lcb	Kb	Msa	kmt	mct	tpc	cb	cm	wpa	cp
2																
3	1.00	27.32	06.28	098.37	13.89	055.58	13.46	00.64	04.24	04.75	01.00	01.01	0.32	0.68	0.55	0.48
4	1.25	27.45	06.38	111.72	13.74	081.93	13.57	00.80	05.82	04.27	01.30	01.15	0.37	0.73	0.62	0.51
5	1.50	27.51	06.42	122.15	13.48	111.22	13.59	00.95	07.41	03.87	01.61	01.25	0.42	0.77	0.68	0.55
6	1.75	27.54	06.46	131.20	13.13	142.92	13.52	01.10	09.01	03.62	01.96	01.34	0.46	0.80	0.73	0.58
7	2.00	28.22	06.51	139.59	12.68	176.78	13.41	01.25	10.62	03.47	02.37	01.43	0.48	0.82	0.78	0.59
8	2.25	29.03	06.55	147.22	12.22	212.65	13.24	01.40	12.25	03.39	02.80	01.51	0.50	0.83	0.82	0.60
9	2.50	29.03	06.59	152.68	11.92	250.20	13.06	01.54	13.88	03.34	03.11	01.56	0.52	0.84	0.85	0.62
10	2.75	29.03	06.63	155.72	11.81	288.79	12.90	01.69	15.52	03.33	03.26	01.60	0.55	0.85	0.87	0.64
11	3.00	29.03	06.68	157.72	11.80	327.98	12.77	01.83	17.17	03.32	03.33	01.62	0.56	0.86	0.88	0.66
12	3.25	29.03	06.72	159.56	11.82	367.64	12.67	01.97	18.83	03.34	03.38	01.64	0.58	0.86	0.89	0.67
13																
14	Draft															
15	0.75	26.97	05.85	081.17	13.90	033.08	13.16	00.48	02.74	05.26	00.72	00.83	0.28	0.62	0.45	0.45

## II.2.2.1 / Eléments de Comparaison

Dim	★ Wpa	MIT Wpa	£
LHT	31.310	31.13	-0.578%
LPP	28.020	27.86	-0.574%
B	6.790	6.78	-0.147%
D	3.760	3.74	-0.535%

Draf	★ Lwl	3DMIT Lwl	£	★ wpa	3DMIT Wpa	£	★ Lcf	3DMIT Lcf	£	★ Vol	3DMIT Vol	£
1.00	27.00	27.32	1.142%	98.77	98.37	-0.407%	13.947	13.89	-0.410%	55.47	55.58	0.198%
1.25	27.01	27.45	1.585%	111.76	111.72	-0.036%	13.821	13.74	-0.590%	81.88	81.93	0.061%
1.50	27.52	27.51	-0.040%	122.41	122.15	-0.213%	13.583	13.48	-0.764%	111.21	111.22	0.009%
1.75	27.52	27.54	0.044%	131.66	131.2	-0.351%	13.229	13.13	-0.754%	142.97	142.92	-0.035%
2.00	28.00	28.22	0.780%	140.18	139.59	-0.423%	12.815	12.68	-1.065%	177.02	176.78	-0.136%
2.25	28.50	29.03	1.826%	147.34	147.22	-0.082%	12.427	12.22	-1.694%	213.07	212.65	-0.198%
2.50	28.50	29.03	1.826%	151.49	152.68	0.779%	12.237	11.92	-2.659%	250.76	250.2	-0.224%
2.75	29.00	29.03	0.103%	156.29	155.72	-0.366%	11.978	11.81	-1.423%	289.39	288.79	-0.208%
3.00	29.00	29.03	0.103%	157.93	157.72	-0.133%	11.98	11.8	-1.525%	328.69	327.98	-0.216%
3.25	29.00	29.03	0.103%	159.44	159.56	0.075%	12.01	11.82	-1.607%	368.36	367.64	-0.196%

Draf	★ Lcb	3DMIT Lcb	£	★ Kb	3DMIT Kb	£	★ KMT	3DMIT KMT	£	★ Msa	3DMIT Msa	£
1.00	13.44	13.46	0.111%	0.643	0.64	-0.469%	4.832	4.75	-1.726%	4.262	4.24	-0.519%
1.25	13.58	13.57	-0.125%	0.799	0.8	0.125%	4.292	4.27	-0.515%	5.843	5.82	-0.395%
1.50	13.62	13.59	-0.228%	0.951	0.95	-0.105%	3.898	3.87	-0.724%	7.435	7.41	-0.337%
1.75	13.57	13.52	-0.407%	1.101	1.1	-0.091%	3.639	3.62	-0.525%	9.036	9.01	-0.289%
2.00	13.46	13.41	-0.418%	1.251	1.25	-0.080%	3.484	3.47	-0.403%	10.645	10.62	-0.235%
2.25	13.31	13.24	-0.589%	1.399	1.4	0.071%	3.397	3.39	-0.206%	12.263	12.25	-0.106%
2.50	13.15	13.06	-0.720%	1.546	1.54	-0.390%	3.347	3.34	-0.210%	13.890	13.88	-0.072%
2.75	13.00	12.9	-0.837%	1.69	1.69	0.000%	3.331	3.33	-0.030%	15.526	15.52	-0.039%
3.00	12.88	12.77	-0.893%	1.831	1.83	-0.055%	3.316	3.32	0.120%	17.170	17.17	0.000%
3.25	12.78	12.67	-0.939%	1.971	1.97	-0.051%	3.326	3.34	0.419%	18.824	18.83	0.032%

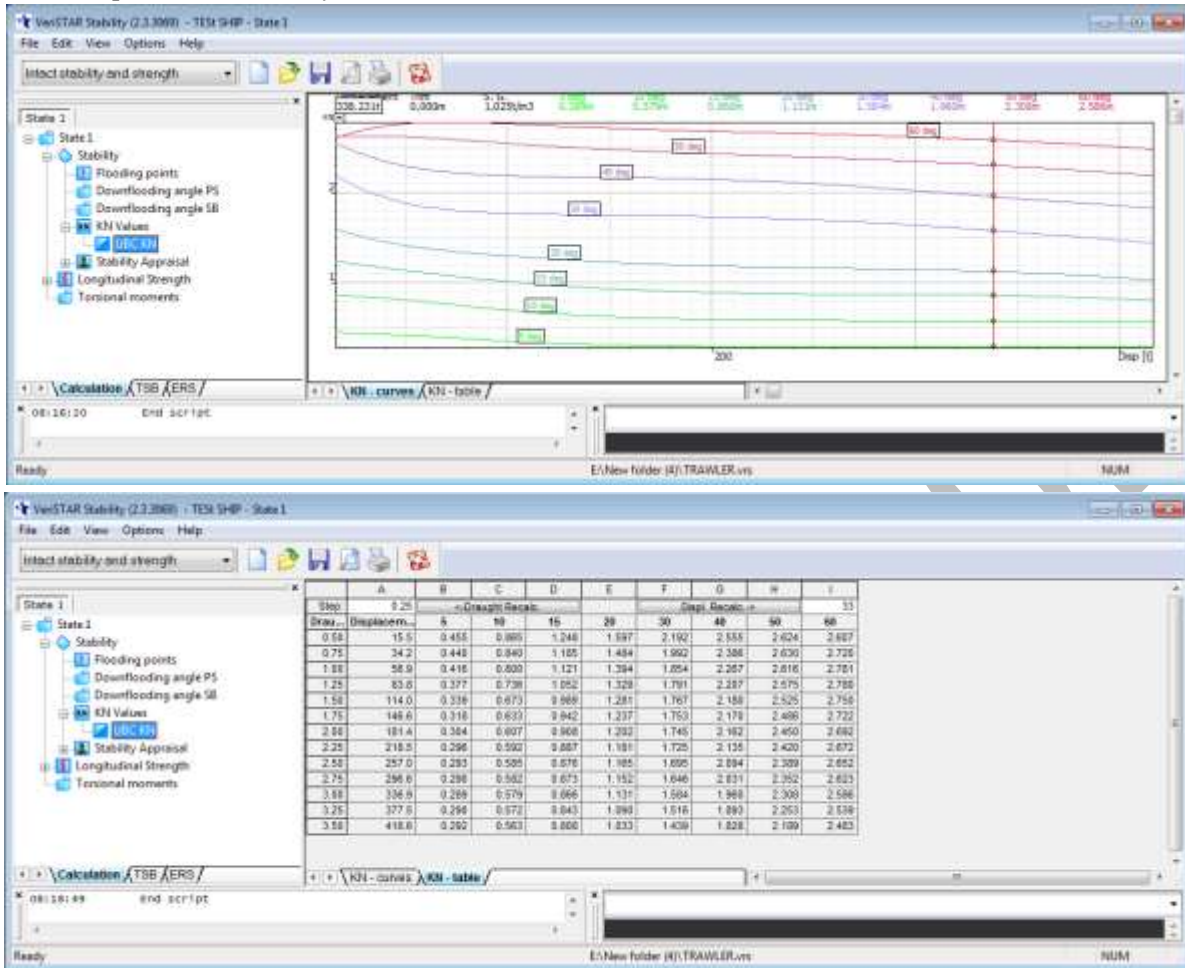
## Remarques

- Les écarts des dimensions principales sont nettement inférieurs à 2% ;
- A part Lcf au tirant d'eau 2.5 m dont la différence dépasse de peu les 2.5%
- Les écarts des valeurs objet de la vérification sont nettement inférieures aux tolérances préconisées par la résolution

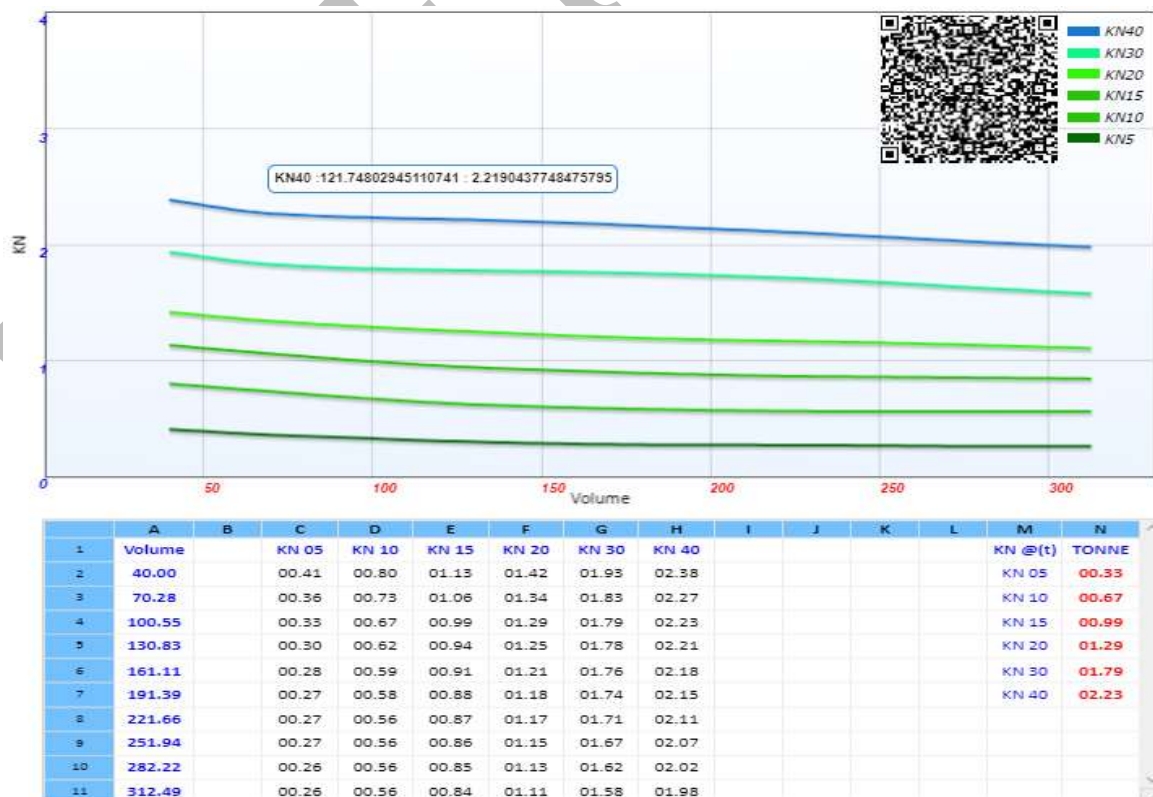
*Toute fois pour les besoins de la vérification on se propose d'élargir la plage des tolérances fixées par ladite résolution de 2% à ... ..*

## II.2.3 / Output PANTOCARENES

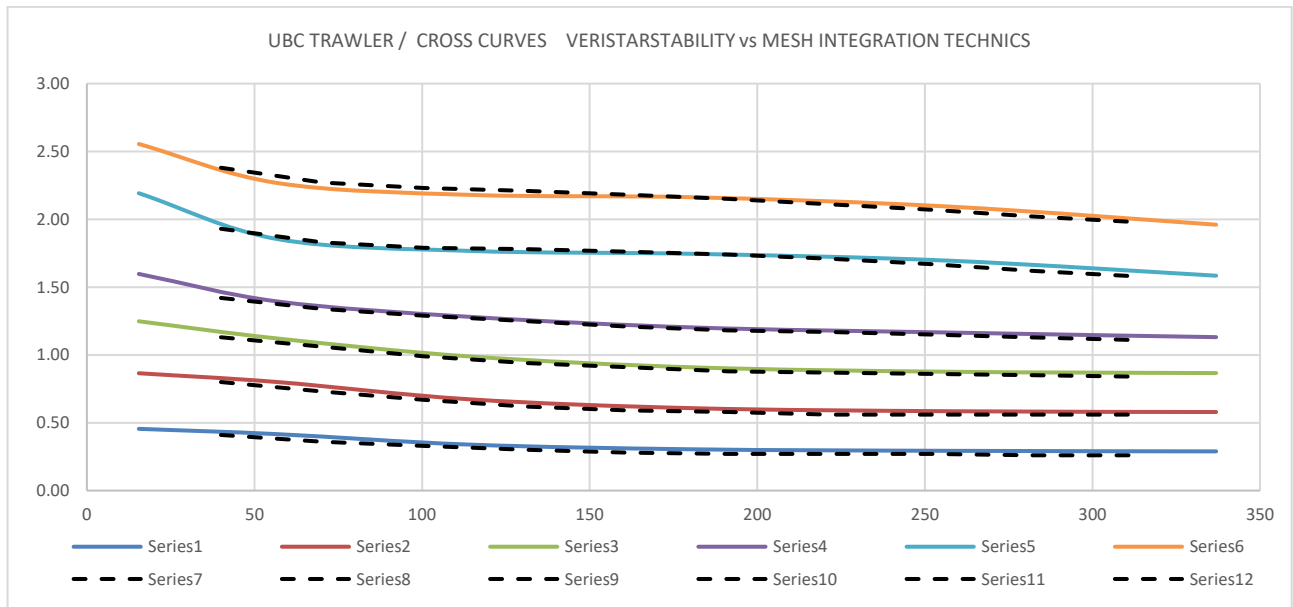
### II.2.3.a / Output VeristarStability



### II.2.3.b / Output 3DMIT Technique Intégration Maillage



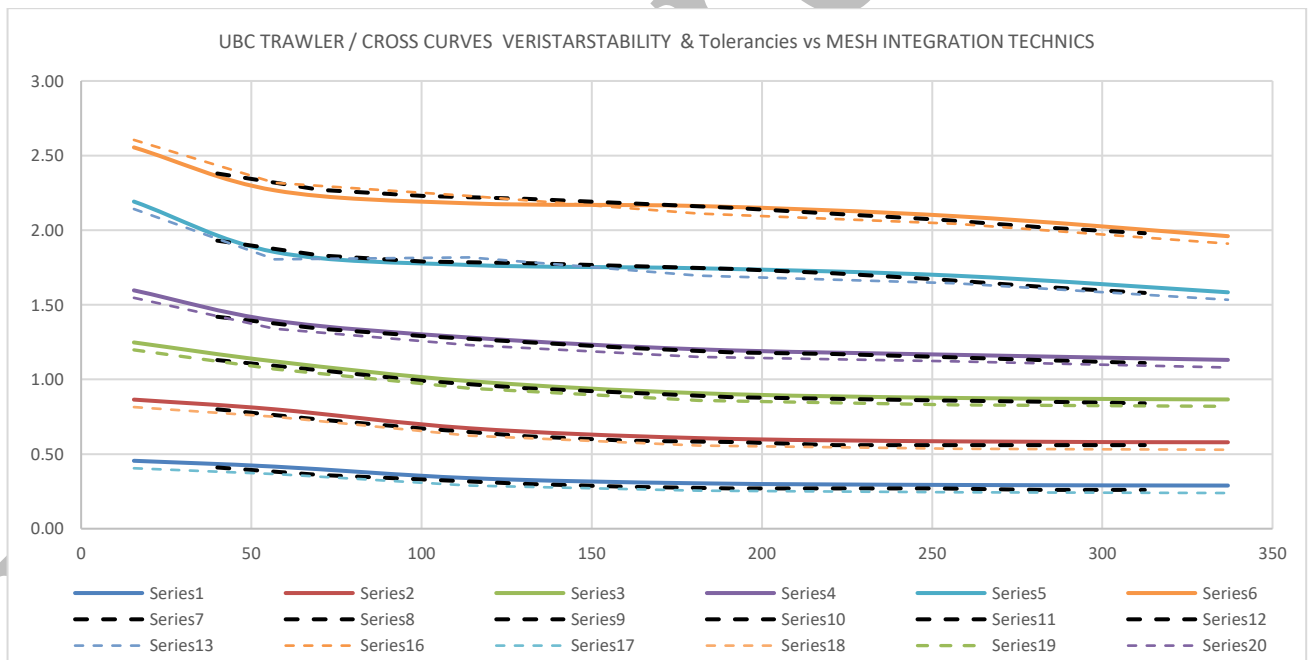
### II.2.3.1/ Eléments de Comparaison



#### Constatations

Toutes les courbes 5°-40° sont circonscrites dans les tolérances OMI à savoir moins de 50mm voir le fichier Excel (Validation.xlsx)

*Toute fois pour les besoins de la vérification on se propose de majorer les tolérances OMI de 50mm à 75mm*



### II.2.3.2 Principe de vérification des courbes Pantocarènes

La méthode de vérification est sommaire mais assez efficace, en effet il suffit juste de vérifier l'enveloppe des courbes Pantocarènes minimale et maximale à savoir la courbe 5° et celle 40°, à cet effet on va considérer que la courbe 5° correspond à la limite inférieure et celle de 40° va correspondre à la limite supérieure, en posant le postulat suivant :

*Toutes données Pantocarènes à vérifier dont les courbes (5° et 40°) se trouvent circonscrites dans les limites 5-40° du code 3DMIT, dans la limite de la tolérance OMI<sup>+</sup> à savoir  $\pm 75\text{mm}$ , sont considérés comme authentiques et originales*

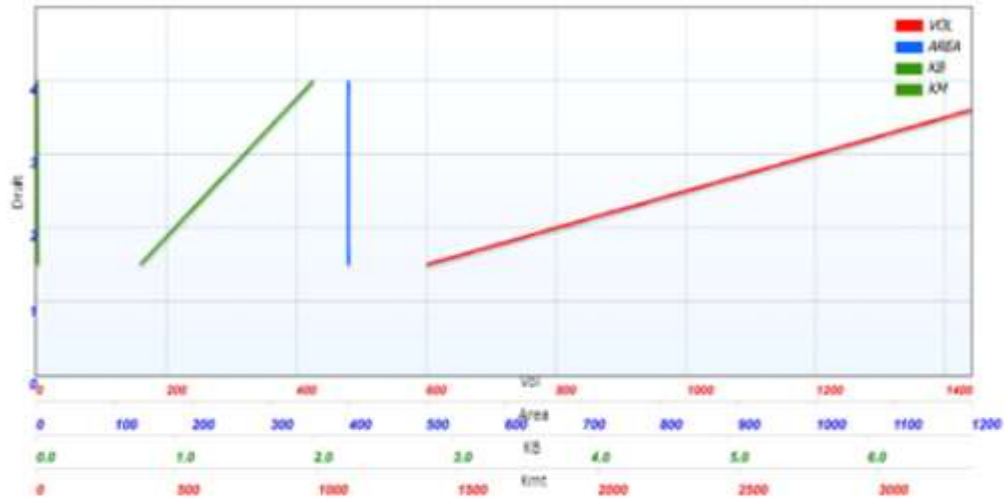


### III Rapport de Vérification



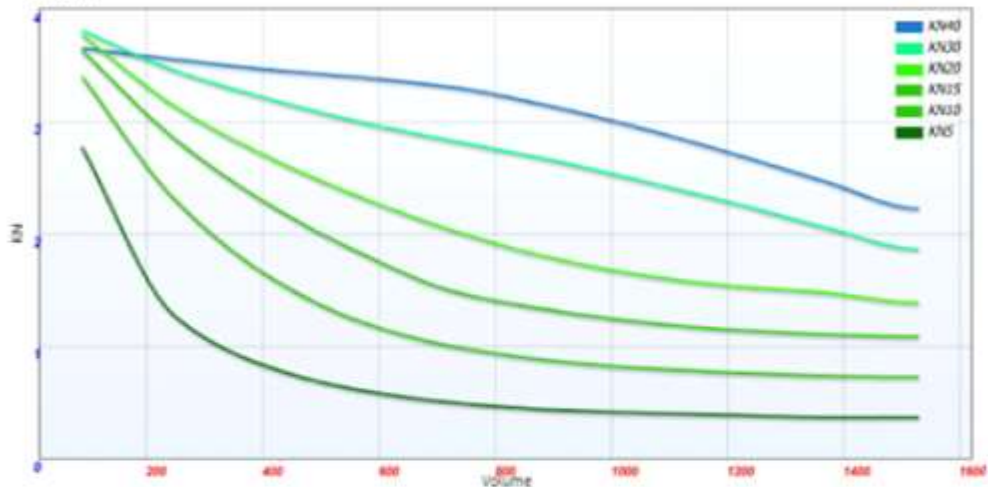


## HYDRO



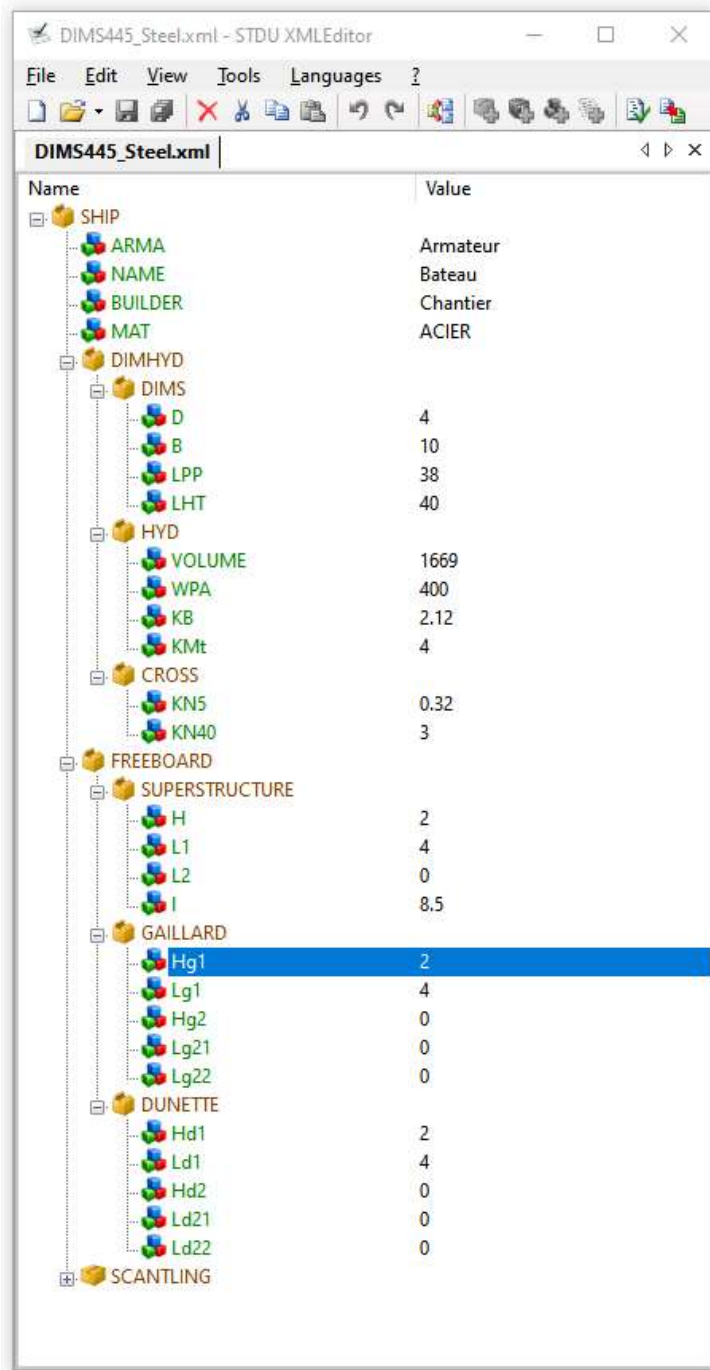
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Draft	Left	Right	Area	Lcb	Volume	Lcb	Kb	Msa	kmr	mct	tpc	cb	cm	wpa	cp
2																
3	1.00	40.00	10.00	400.00	18.40	400.00	18.40	00.50	09.87	08.83	18.22	04.10	1.00	0.99	1.04	1.01
4	1.50	40.00	10.00	400.00	18.40	600.00	18.40	00.75	14.89	06.11	18.22	04.10	1.00	0.99	1.04	1.01
5	2.00	40.00	10.00	400.00	18.40	800.00	18.40	01.00	19.93	05.17	18.22	04.10	1.00	1.00	1.04	1.00
6	2.50	40.00	10.00	400.00	18.40	1000.00	18.40	01.25	24.96	04.58	18.22	04.10	1.00	1.00	1.04	1.00
7	3.00	40.00	10.00	400.00	18.40	1200.00	18.40	01.50	30.00	04.28	18.22	04.10	1.00	1.00	1.04	1.00
8	3.50	40.00	10.00	400.00	18.40	1400.00	18.40	01.75	35.02	04.13	18.22	04.10	1.00	1.00	1.04	1.00
9	4.00	40.00	10.00	400.00	18.40	1600.00	18.40	02.00	40.06	04.08	18.22	04.10	1.00	1.00	1.04	1.00
10	4.50	40.00	10.00	400.00	18.40	1800.00	18.40	02.25	45.09	04.10	18.22	04.10	1.00	1.00	1.04	1.00
11																
12																
13																
14	Draft @0.850															
15	4.24	40.00	10.00	400.00	18.40	1696.60	18.40	2.12	42.49	4.09	18.22	4.10	1.00	1.00	1.04	1.00
16	File	-	-	400	-	1669	-	2.12	-	4						

## CROSS



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Volume	KN 05	KN 10	KN 15	KN 20	KN 30	KN 40					KN @0.5	1696.60	File
2	90.00	02.77	03.40	03.63	03.77	03.81	03.85					KN 05	00.36	
3	230.00	01.26	02.30	02.84	03.13	03.45	03.55					KN 10	00.71	
4	410.00	00.81	01.62	02.26	02.68	03.20	03.46					KN 15	01.01	
5	570.00	00.60	01.21	01.82	02.32	02.99	03.39					KN 20	01.26	
6	730.00	00.49	00.99	01.48	02.02	02.82	03.30					KN 30	01.67	
7	890.00	00.43	00.87	01.32	01.79	02.66	03.14					KN 40	02.00	
8	1050.00	00.40	00.80	01.21	01.63	02.47	02.94						00NaN	
9	1210.00	00.38	00.76	01.14	01.53	02.27	02.71						00NaN	
10	1370.00	00.36	00.73	01.10	01.47	02.05	02.46						00NaN	
11	1530.00	00.36	00.72	01.08	01.38	01.86	02.22						00NaN	
12														

### III.1 Fichier Xml Input



Name	Value
SHIP	
ARMA	Armateur
NAME	Bateau
BUILDER	Chantier
MAT	ACIER
DIMHYD	
DIMS	
D	4
B	10
LPP	38
LHT	40
HYD	
VOLUME	1669
WPA	400
KB	2.12
KMT	4
CROSS	
KN5	0.32
KN40	3
FREEBOARD	
SUPERSTRUCTURE	
H	2
L1	4
L2	0
I	8.5
GAILLARD	
Hg1	2
Lg1	4
Hg2	0
Lg21	0
Lg22	0
DUNETTE	
Hd1	2
Ld1	4
Hd2	0
Ld21	0
Ld22	0
SCANTLING	

#### Fichier Données pour la Barge en mode Xml au format texte

```
< ?xml version= "1.0" encoding= "UTF-8" ?>
<SHIP ARMA= "Armateur" NAME= "Bateau"
BUILDER= "Chantier" MAT= "ACIER" >
  <DIMHYD>
    <DIMS D= "4" B="10" LPP= "38" LHT= "40" />
    <HYD VOLUME="1669" WPA="400" KB="2.12" KMT="4" />
    <CROSS KN5="0.32" KN40="3" />
  </DIMHYD>
  <FREEBOARD>
    <SUPERSTRUCTURE H="2" L1="4" L2="0" I="8.5" />
    <GAILLARD Hg1="2" Lg1="4" Hg2="0" Lg21="0"
Lg22="0" />
    <DUNETTE Hd1="2" Ld1="4" Hd2="0" Ld21="0"
Ld22="0" />
  </FREEBOARD>
</SCANTLING>
< SHIP >
```

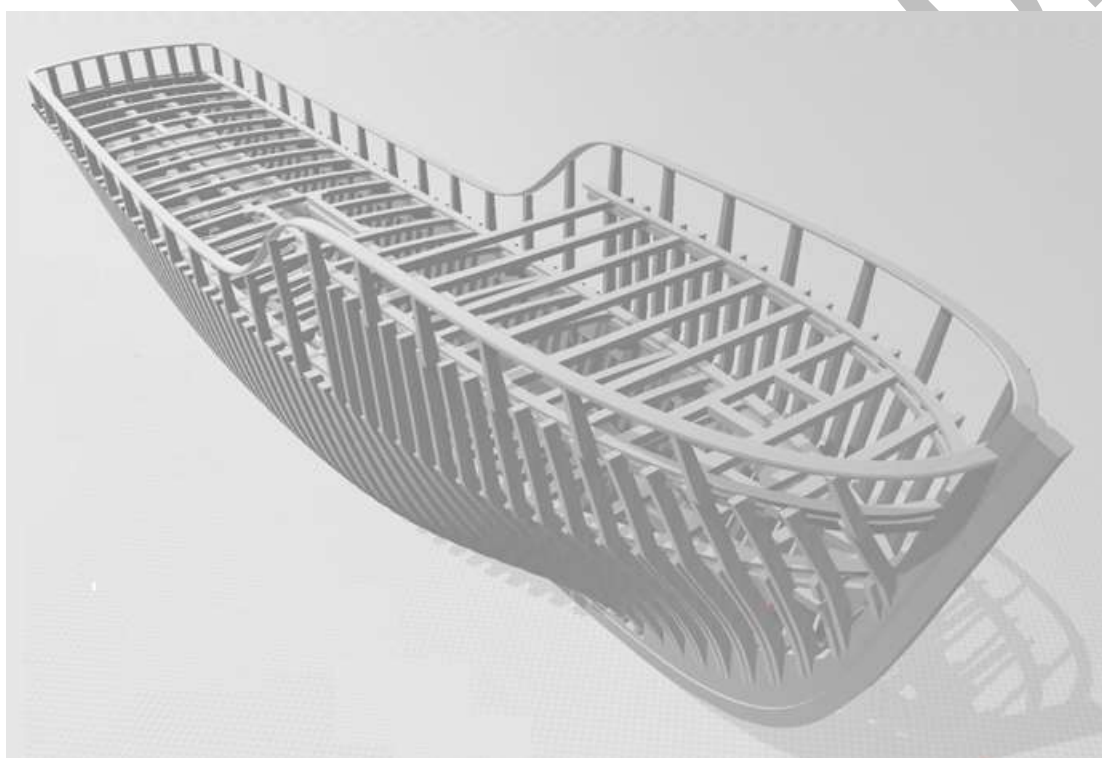
La dernière version Gratuite de STDUtility XML Editor <http://www.stdutility.com/stdviewer.html>

## MODULE II

### SCANTLING METER rev 0.1

Etalon Echantillonnage Navire

Pour la vérification Automatique des éléments de Structure des Navires



## I. De la Vérification de l'échantillonnage

L'échantillonnage des navires conformément aux règles de construction IMO/IACS est l'élément fondamental de la sécurité de construction pour tout type de navire et matériau employé avec un accent « grave » sur la construction en acier, qui aussi complexe et importante qu'elle soit, demeure malheureusement sans contrôle de qui que ce soit, Autorité Maritime en tête de responsabilité, avec toutes les conséquences graves qui toucheraient directement la sécurité de construction, mais aussi est surtout mettraient en danger la sécurité de la vie humaine en mer, un cas d'étude récent (Octobre 2022) a ressuscité des vieilles inquiétudes relatives aux conséquences de l'abandon du contrôle qui ne peut que générer un excès d'ignorance des règles, or en matière d'échantillonnage il y'a des règles qui certes peuvent être remplacées par des dispositions équivalentes à faire valider nécessairement, mais à ne pas confondre avec les règles contraignantes/Binding Rules dont le non-respect équivaut refus de validation de l'échantillonnage, en prenant l'exemple du dit cas dont le plan du maître couple préconise une varangue au niveau du Maître-Couple de 200 mm de hauteur, alors que les règlements de plusieurs sociétés de classification dont notamment (vérifié) ABS, BV, NKK, et RINA préconisent les hauteurs minimales suivantes :

Ref	Rule	Result B =7 m Span l =6.25m
<b>BV</b> NR472 2000-Ch20 Sec3 Table6 NR600 2018-Ch2 sec1 Reg3.3.2	B/16	450 mm
<b>ABS</b> 2006 Part3 - Ch2 Sec4 Reg 3.7.2	62.5 l	410 mm
<b>NKK</b> 2002 - Ch5 reg 5.4.3	0.0625 l	410 mm
<b>RINA</b> 1989 - Ch4 reg4.11	B/16	450 mm

La hauteur de la varangue se situe donc entre 410---450, avec une moyenne de 430 mm de hauteur, soit le double de la hauteur de la varangue sur plan, en soulignant que le module de résistance d'un raidisseur est proportionnel au cube de sa hauteur on comprend pourquoi toutes les sociétés de classification préconise une hauteur minimale qui doit s'étendre en plus sur toute la partie centrale du navire  $\pm 0.4L_s$ , notant aussi qu'il appartient à tout Bureau d'étude concerné de choisir le règlement pertinent à condition de suivre tout le processus de calcul selon le même règlement pour cause de paramétrage éventuel qui lie les formules de calcul des sections (Fond, Pont ...), par conséquent et vu d'autres détails et surtout la complexité de l'échantillonnage de la structure des navires en acier, il paraît évident qu'il y'a urgence de mise en œuvre de la vérification Automatique des principaux éléments de structure des navires en acier aussi bien que pour les navires en bois, et du même ordre d'importances il serait très utile de standardiser au moins le format de vérification du calcul de l'échantillonnage au même titre que celui relatif aux éléments hydrostatiques, et c'est bien l'objet du module de vérification de l'échantillonnage intégré dans le code proposé.

### I.1 Module de Vérification de l'échantillonnage des navires en Acier

Le module de vérification de l'échantillonnage des navires en acier repose sur les Règlements des sociétés de classification American Bureau of Shipping *ABS Steel Vessels under 90m/2006*, avec une sous-section du Règlement du Bureau Veritas *BV NR472 2000 et NR600 2018*, relatives justement à la hauteur de la varangue qui a été ajoutée pour valider l'idée de la hauteur minimale comme une des conditions contraignantes de validation de l'échantillonnage, cette disposition est en outre vérifiée à la lettre, même valeur B/16, par le Règlement du Registro Italiano Navale *Rina Scafi in Acciaio 1989*, le Règlement Nippon Kaiji Kaiyokai *NKK Hull Construction & Equipement of small Ships/2002* a été utilisé pour le calcul de la mèche du gouvernail, combiné avec le Règlement du Germanischer Lloyd *GL Fishing Vessels 1991*, qui adopte la même procédure de calcul et ce pour valider l'idée de l'uniformité des règlements pour certaines dispositions qui peuvent toucher une ou plusieurs sections d'échantillonnage aussi bien que les dispositions relatives aux accessoires de coque.

,

9

### Allowed Tolerances

Page 29 | 45



### I.1.2 Exemple d'un Fichier Xml Input /Complément pour Echantillonnage Navire en Acier

DIMS445\_Steel.xml - STDU XML Editor

File Edit View Tools Languages ?

DIMS445\_Steel.xml

Name	Value
DUNETTE	
SCANTLING	
HULL GIRDER	
SectionModulus_min	0.2298
MomentInertia_min	0.304081
BendingMoment_Sag	-22113.31
BendingMoment_Hog	17628.79
SectionModulus_Req	0.23
SectionModulus	0.23
MomentInertia	0.3
FRAME_SPACING	
USER	540
KEEL	
Section_Area	59.59
Plating	30.44
Height	195.78
STEM	
Expanded_width	1000
Plating	9
SHEER_STRAKE	
Plating	7
Width	1020
PLATING	
Bottom_Shell	8
Bottom_Shell_Forward	8
Side_Shell	8
Side_Shell_Ends	7
Freeboard_Deck	6
Forecastle	6
Poop	6
Collision_Bulkhead	7
Watertight_Bulkhead	7
KEELSON	
Plating	8
TopPlate	41
Ends_Plating	7
Ends_TopPlate	36
SIDE_KEELSON	
FLOOR	
NR600FLOORS	
FRAMES	
BEAMS	
RUDDER	

### Le même Fichier Xml Input au format texte

```
<SCANTLING>
  <HULL GIRDER SectionModulus_min="0.2298"
  MomentInertia_min="0.304081"
  BendingMoment_Sag="-22113.31"
  BendingMoment_Hog="17628.79"
  SectionModulus_Req="0.23"
  SectionModulus="0.23" MomentInertia="0.3" />
  <FRAME_SPACING USER="540" />
  <KEEL Section_Area="59.59" Plating="30.44"
  Height="195.78" />
  <STEM Expanded_width="1000" Plating="9" />
  <SHEER_STRAKE Plating="7" Width="1020" />
  <PLATING Bottom_Shell="8"
  Bottom_Shell_Forward="8" Side_Shell="8"
  Side_Shell_Ends="7" Freeboard_Deck="6"
  Forecastle="6" Poop="6" Collision_Bulkhead="7"
  Watertight_Bulkhead="7" />
  <KEELSON Plating="8" TopPlate="41"
  Ends_Plating="7" Ends_TopPlate="36" />
  <SIDE_KEELSON Plating="7" TopPlate="28"
  AtEnd_Plating="6" AtEnd_TopPlate="27" />
  <FLOOR SectionModulus="7507.50"
  Height="625" Plating="9" />
  <NR600FLOORS Height="875" Plating="5"
  Fore_Plating="6" Aft_Plating="8" />
  <FRAMES SectionModulus="438.27"
  ForePeak_SectionModulus="492.99"
  AftPeak_SectionModulus="219" />
  <BEAMS SectionModulus="100.61" />
  <RUDDER Steel_Re="235" Area="2"
  areaf="0.5" Hmean="1.5" Bmean="1.1"
  Lower_Diameter="200" Upper_Diameter="160" />
</SCANTLING>
```

Navire de longueur >60 m

## I.2 Module de Vérification de l'échantillonnage des navires en Bois

Développé déjà en 2002 et intégré au niveau du Cahier des Renseignements Techniques au titre de document exigé par la commission centrale de sécurité, mis à jour en 2008 est intégré au niveau de la Note de services N°16 du 16 Juin 2008 relative au suivi de construction et transformation des navires, au titre de **Partie A** dans sa version Fichier Excel, la procédure repose Principalement sur Le Règlement du **Bureau Veritas Navire en Bois de 1963**, tous les éléments de structures sont calculés pour une densité de bois égale ou supérieure à 0.7, les corrections nécessaires pour les rapport L/D ainsi que H/D prescrit par le règlement sont pris en compte en utilisant les caractéristiques dimensionnelles déterminées par le modules HYDROCROSS

## 12.1 Complément du Rapport de Vérification / Navire en Bois

**SCANTLING .Wood VERIFICATION**

**References**  
 ABS/American Bureau of Shipping  
 BV/Bureau Veritas  
 NKK/Nippon Kaiji Kyokai  
 GL/Germanischer Lloyd  
 RINA/REGISTRO ITALIANO NAVIGAZIONE

**Allowed Tolerances**  
 $a < 10 \Rightarrow 0.4 \text{ mm}$   
 $10 < a < 20 \Rightarrow 0.5 \text{ mm}$   
 $a > 20 \Rightarrow 0.02a + 0.9 \text{ mm}$

	DATA	Reference	Partie Obis	Ecart	Ref Ecart	Result
1	FRAME SPACING	400	480	2.00%	2%	X
2	PLANKING SHELL EXTERNAL	56	56	0.00%	2%	✓
3	PLANKING SHELL Reinforced EXTERNAL	72	72	0.00%	2%	✓
4	PLANKING DECK	57	57	0.00%	2%	✓
5	PLANKING EXTENSION @SHEERSTRAKE	1025	1038	1.27%	2%	✓
6	PLANKING EXTENSION @BILGE	772	782	1.30%	2%	✓
7	FRAME TOWER @Foot	210	210	0.00%	2%	✓
8	FRAME TOWER @Bilge	180	180	0.00%	2%	✓
9	FRAME TOWER @Head	120	120	0.00%	2%	✓
10	FRAME WIDTH	110	110	0.00%	2%	✓
11	FLOOR WIDTH	110	110	0.00%	2%	✓
12	FLOOR TOWER	280	280	0.00%	2%	✓
13	① BEAM SHELF WIDTH	230	230	0.00%	2%	✓
14	① BEAM SHELF TOWER	100	100	0.00%	2%	✓
15	① BEAM CLAMP WIDTH	230	230	0.00%	2%	✓
16	① BEAM CLAMP TOWER	70	70	0.00%	2%	✓
17	① WATERWAY WIDTH	150	150	0.00%	2%	✓
18	① WATERWAY TOWER	90	90	0.00%	2%	✓
19	② BEAM SHELF WIDTH	230	230	0.00%	2%	✓
20	② BEAM SHELF TOWER	70	70	0.00%	2%	✓
21	② BEAM CLAMP WIDTH	230	230	0.00%	2%	✓
22	② BEAM CLAMP TOWER	70	70	0.00%	2%	✓
23	② BEAM SIDELAMP WIDTH	150	150	0.00%	2%	✓
24	② BEAM SIDELAMP TOWER	100	100	0.00%	2%	✓
25	② SHORT WATERWAY	70	70	0.00%	2%	✓
26	BEAM WIDTH	180	180	0.00%	2%	✓
27	BEAM WIDTH min	110	110	0.00%	2%	✓
28	BEAM TOWER	160	160	0.00%	2%	✓
29	Keel TOWER	320	320	0.00%	2%	✓
30	Keel WIDTH	260	260	0.00%	2%	✓
31	Keel WIDTH min	230	230	0.00%	2%	✓
32	STEM WIDTH	260	255	1.92%	2%	✓
33	STEM TOWER	390	380	2.56%	2%	X
34	KEELSON WIDTH	260	250	3.85%	2%	X
35	KEELSON TOWER	280	280	0.00%	2%	✓



## I.2.2 Exemple d'un Fichier Xml Input /Complément pour Echantillonnage Navire en Bois

DIMS445\_Wood.xml - STDU XMLEditor

File Edit View Tools Languages ?

DIMS445\_Wood.xml

Vame	Value
BUILDER	Chantier
MAT	BOIS
DIMHYD	
FREEBOARD	
SCANTLING	
FRAME_SPACING	
USER	560
KEEL	
Depth_Base	230
Depth_min	200
Thick	320
KEELSON	
Depth	250
Thick	280
STEM	
Depth	255
Thick	380
FRAMES	
Depth	110
Thick_Foot	210
Thick_Bilge	180
Thick_Head	120
BEAMS	
Depth	160
Thick	180
Depth_min	110
DECK_GIRDER	
Thick	210
Depth	210
WATERWAY_LONG	
BeamShelf_Depth	230
BeamShelf_Thick	100
BeamClamp_Depth	230
BeamClamp_Thick	70
Waterway_Depth	150
Waterway_Thick	90
WATERWAY_SHORT	
BeamShelf_Depth	230
BeamShelf_Thick	70
BeamClamp_Depth	230
BeamClamp_Thick	70
BeamSideclamp_Depth	150
BeamSideclamp_Thick	100
Waterway_Thick	70

### Le même Fichier Xml Input au format texte

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<SHIP NAME="Bateau" ARMA="Armateur"
BUILDER="Chantier" MAT="BOIS">
  <DIMHYD>
    <DIMS D="4" B="10" LPP="38" LHT="40" />
    <HYD VOLUME="1669" WPA="400" KB="2.12"
Kmt="4" />
    <CROSS KN5="0.32" KN40="3" />
  </DIMHYD>
  <FREEBOARD>
    <SUPERSTRUCTURE H="2" L1="4" L2="0" L3="8.5"
/>
    <GAILLARD Hg1="2" Lg1="4" Hg2="0" Lg21="0"
Lg22="0" />
    <DUNETTE Hd1="2" Ld1="4" Hd2="0" Ld21="0"
Ld22="0" />
  </FREEBOARD>
  <SCANTLING>
    <FRAME_SPACING USER="560" />
    <KEEL Depth_Base="230" Depth_min="200"
Thick="320" />
    <KEELSON Depth="250" Thick="280" />
    <STEM Depth="255" Thick="380" />
    <FRAMES Depth="110" Thick_Foot="210"
Thick_Bilge="180" Thick_Head="120" />
    <BEAMS Depth="160" Thick="180"
Depth_min="110" />
    <DECK_GIRDER Thick="210" Depth="210" />
    <WATERWAY_LONG BeamShelf_Depth="230"
BeamShelf_Thick="100" BeamClamp_Depth="230"
BeamClamp_Thick="70" Waterway_Depth="150"
Waterway_Thick="90" />
    <WATERWAY_SHORT BeamShelf_Depth="230"
BeamShelf_Thick="70" BeamClamp_Depth="230"
BeamClamp_Thick="70" BeamSideclamp_Depth="150"
BeamSideclamp_Thick="100" Waterway_Thick="70" />
    <PLANKING Shell_Normal="56"
Shell_Reinforced="72" Deck="57"
SheerStrake Dev="1038" BilgeStrake_Dev="782"
Collision_Bulkhead="72" />
    <FLOORS Depth="110" Thick="280" />
    <RUDDER Steel_Re="235" Area_m2="2"
areaf="0.5" Hmean="1.5" Bmean="1.1"
Lower_Diameter="200" Upper_Diameter="160" />
  </SCANTLING>
</SHIP>
```

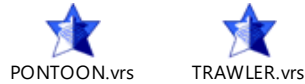
La dernière version Gratuite de STDU XML Editor <http://www.stdutility.com/stdviewer.html>

#### IV / MOT de la FIN

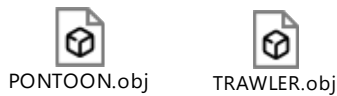
Il a été jugé important pour la transparence de ce travail de mettre à la disposition de ceux qui s'intéressent tout le matériel nécessaire pour reproduire et vérifier toutes les phases de la validation pour le ponton en **II. E1 / 1<sup>er</sup> Exemple** aussi bien que le chalutier en **II. E2 / 2<sup>ème</sup> Exemple** il s'agit en fait des bases de données VeristarStability ainsi que les fichiers 3D standard Obj du code 3DMIT ainsi que le fichier Excel qui a servi au calcul des Tolérances/écarts, ces fichiers sont :

##### REPertoire/VSTAB / New folder

Base de données VeristarStability



Fichiers 3D du code MIT/HYDROCROSS



**VeristarStability (VRS)** est un logiciel propriété du Bureau Veritas, la version d'essai valide pendant 14 jours :

<https://marine-offshore.bureauveritas.com/veristar-stability-software-intact-and-damage-calculation>

**Rhinoceros 3D (RHINO)** est un logiciel de CAO propriété de la société Robert McNeel & Associates, la version d'essai Rev6 valide pendant 90 jours : <https://www.rhino3d.com/download/archive/rhino-for-windows/6/latest/>

**Three.js** est une bibliothèque JavaScript multi-navigateurs et une interface de programmation d'application (API) utilisée pour créer et afficher des graphiques 3D animés dans un navigateur Web à l'aide de WebGL <https://github.com/mrdoob/three.js/>

**SOMMAIRE**

	<i>Page</i>
<b>I HYSTORIQUE / ORIGINE</b>	
<b>I.1</b> <i>Jaugeage par l'intégration du Pourtour &amp; Couples</i>	35
<b>I.2</b> <i>Méthode ① Modélisation du pourtour</i>	35
<b>I.2.1</b> <i>Algorithme<sup>1</sup></i>	36
<b>I.3</b> <i>Méthode ② Modélisation de trois couples</i>	36
<b>I.3.1</b> <i>Définitions des couples</i>	36
<b>I.3.2</b> <i>Principe de la Méthode</i>	36
<b>I.3.3</b> <i>Algorithme<sup>2</sup></i>	37
	38
<b>II Eléments Hydrostatiques</b>	
<b>II.1</b> <i>Principe de Calcul / Aire d'un couple</i>	39
<b>III NOUVELLE TECHNOLOGIE</b>	
<b>III.1</b> <i>Nouvelle Approche</i>	40
<b>III.2</b> <i>Calcul des Aires et des Moments</i>	40
<b>III.2.1</b> <i>Techniques Javascript</i>	41
<b>III.2.1.a</b> <i>Calcul des coordonnées du centre de gravité</i>	41
<b>III.2.1.b</b> <i>Calcul du Volume</i>	42
<b>III.3</b> <i>Intégration a différents Tirants d'eau / Coque Convexe</i>	43
<b>III.3.1</b> <i>Processus de Traitement</i>	43
<b>III.4</b> <i>Solution Générale / Coque Concave</i>	44

## I HISTORIQUE / ORIGINE

### I.1 /Jaugeage par l'intégration du Pourtour & Couples

En 2008 la Direction Générale de l'Office de la Marine Marchande et des Ports a institué une commission de sécurité à l'effet de revoir les procédures administratives en matière de sécurité maritime afin de les mettre à jour et les améliorer compte tenu des nouvelles technologies, car malgré qu'aucune veille réglementaire ou technologique n'a été assurée formellement, l'Administration avait pleinement conscience du retard technique qu'elle accumulait au fil des années.

L'opération de jaugeage des navires non SOLAS faisait partie des tâches des services de la Marine Marchande et donc des procédures suscitées, sa complexité ne résidait pas dans l'opération en elle-même mais plutôt dans l'absence de référence réglementaire et donc dans la multiplicité de références dimensionnelles, facteurs de multiplication d'erreurs, et surtout formes de certificat de jaugeage dont on a constaté à l'époque( et peut être même de nos jours !) la présence de trois types différentes.

Comme l'accent été préalablement mis sur l'utilisation de nouvelles technologies, l'occasion a été saisie pour balancer tout le calcul sur l'outil informatique, comme objectif le jaugeur ne devrait plus se faire des soucis relatifs à l'emploi de facteur de multiplication et choix du bon certificat, celui-ci devrait alors se concentrer sur la prise des mesures nécessaires, avec une simplification de taille, le pourtour n'est plus pris en considération !, en effet la nouvelle méthode de jaugeage repose sur la modélisation mathématique du pourtour, en adoptant deux méthodes différentes pour le calcul de la jauge finale.

### I.2 Méthode ① Modélisation du pourtour

- Modélisation de la corde pourtour par la fonction mathématique  $F_p(y) = creux \cdot \cos(\pi x / largeur)^{1/N}$

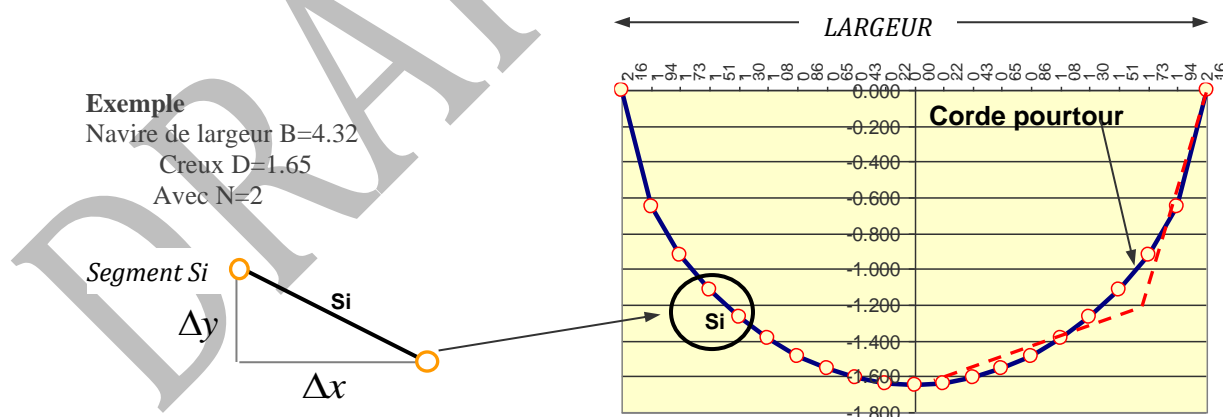
Avec  $0 < X < largeur/2$  ;

- Division de la corde en segments  $S_i$  (10) ;

- Calcul de la longueur de la corde par sommation des segments  $Long_{corde} = 2 \cdot \sum_0^{B/2} S_i$

avec  $S_i = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$  ;

- La jauge est calculée suivant la formule  $J = 0.353 \times k \times Longueur \times \left( \frac{Pourtour + Largeur}{2} \right)^2$



**NB :** méthode aussi valable pour les formes développables, dans ce cas  $F_p$  interpole le couple (en rouge)

### I.2.1 Algorithme<sup>1</sup>

```

///données de base
Longueur = Lt ; largeur = 1 ; Creux = D
///recherches des segments
For i = 0 To 10
  X(i)= i largeur/20 ///X maxi = 10.largeur/20 = largeur/2
  y(i)= Creux x Cos((Pi/largeur) x X(i))^(1/N) ///M2
Next
///36umation des segments
For i = 1 To 20
  dx2(i)=(x(i)-x(i-1))^2 :dy2(i)=(y(i)-y(i-1))^2 S=S+Sqr(dx2(i)+ dy2(i))
Next
///pourtour
pourtour = 2 x S
///volume
volume = 0.17 x Longueur x ((pourtour + largeur)/2)^2
///Jauge
jauge = 0.353 x volume

```

### I.3 Méthode ② Modélisation de trois couples

En ① on a procédé à la modélisation mathématique de la corde pourtour avec la fonction  $F_p$ , il s'agit en fait du modèle mathématique du couple milieu, partant de ce même principe on peut procéder à la modélisation de deux autres couples judicieusement placés de façon à couvrir toute la longueur du navire dans la partie prépondérante c.a.d celle qui constitue la presque totalité du volume du navire,

En appliquant les principes de l'architecture navale, le volume sous-pont est déterminé par intégration numérique des trois couples ainsi obtenus, rappelons d'abord quelques principes :

- 1) l'aire d'un couple est définie par

$$A = 2 \int_0^D y_i dz$$

Avec  $y_i$  : 1/2 ouverture d'un couple à différents tirant

- 2) le volume du navire est définie par

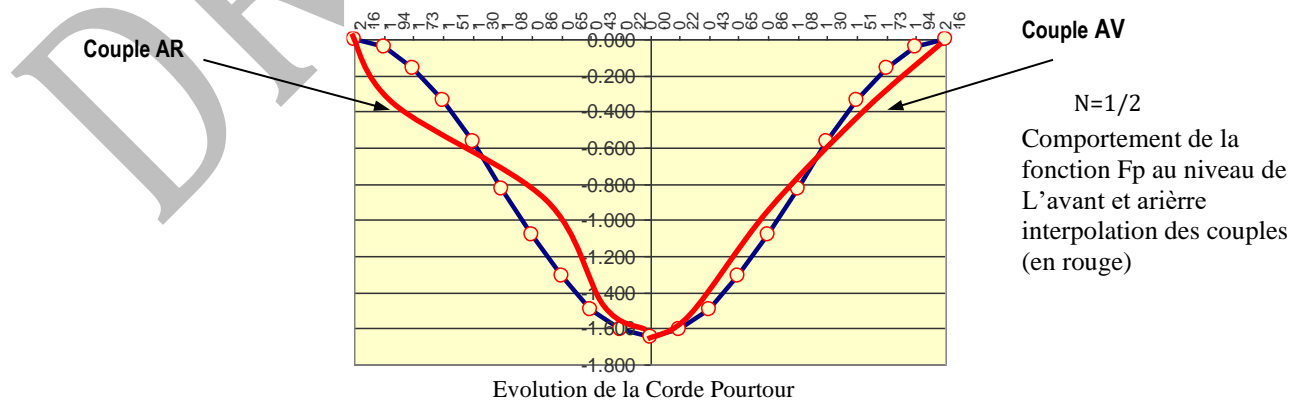
$$\nabla = 2 \int_0^L A_i dx$$

Avec  $A_i$  : Air des couples à différentes stations

**NB :** Spécifiquement pour le calcul de la jauge on prendra  $L = LHT$  au niveau pont

#### 1.3.1 Définitions des couples

La fonction  $F_p = \text{creux} \cdot \cos(\pi x / \text{largeur})^{1/N}$ , à une caractéristique remarquable : elle simule bien la variation de la forme d'un navire à l'avant et à l'arrière par la variation de N



En faisant varier N on définit les trois couples en question :

- Le couple au niveau Mèche gouvernail  $N=1/2$  et  $F_p$  s'écrit  $Z = creux.cos(\pi x/OMech)^{1/N}$
- Le couple au niveau du brion  $N=1/2$  et  $F_p$  s'écrit  $Z = creux.cos(\pi x/OBrn)^{1/N}$
- Le couple milieu étant  $N=4$  et  $F_p$  s'écrit  $Z = creux.cos(\pi x/largeur)^{1/N}$

Les trois couples étant définies, le modèle mathématique de la carène s'écrit

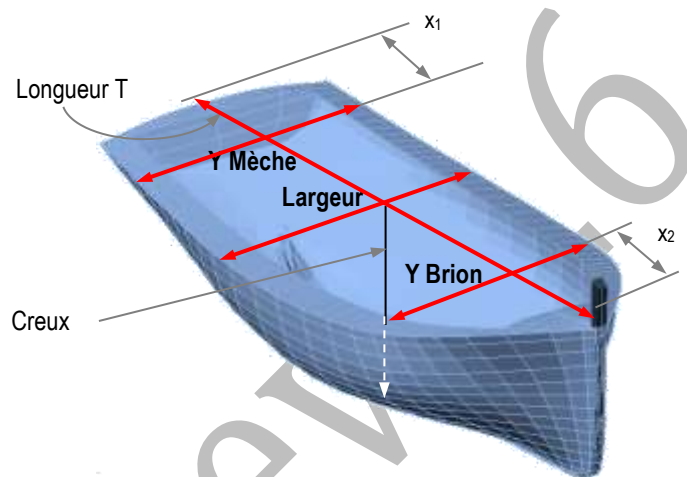
$$Z(x, y) = creux.cos(\pi y/Y_{Pont})^{1/N} \quad \text{Avec } Y_{pont} \in \{Y_{Mèche}, largeur, Y_{Brion}\} \text{ et } Y \in [0, Y_{Pont}]$$

### 1.3.2 Principe de la Méthode

#### Phase 1

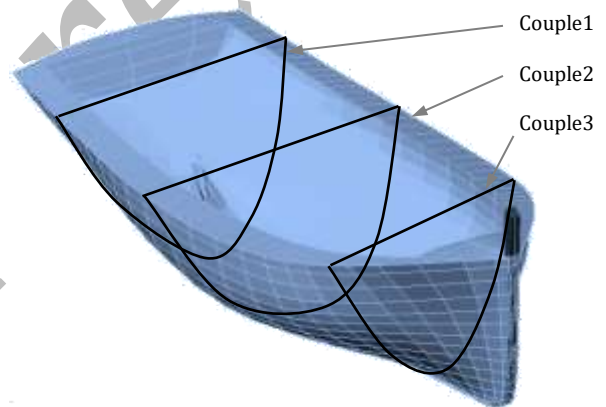
##### Mesure sur pont : (Jaugeur)

- ① Largeur
- ②  $Y_{meche}/X_1$
- ③  $Y_{brion}/X_2$
- ④ Longueur LT
- ⑤ Creux



#### Phase 2

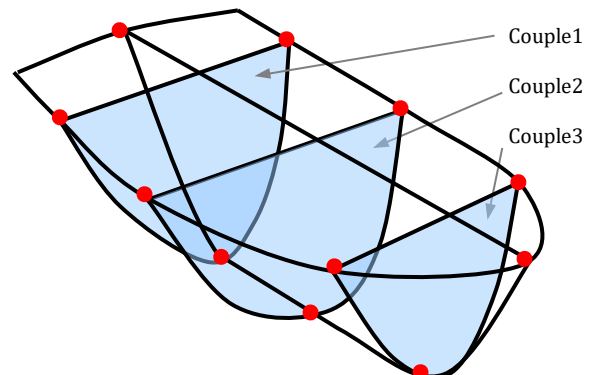
Modelisation des trois couples en se basant sur le modèle (niveau Certificat SIMM)



#### Phase 3

##### En définitif : (niveau Certificat SIMM)

Intégration des trois couples sur la Longueur Lt pour obtenir le Volume fermé du navire



Il ne reste que la partie intégration numérique que nous avons fait réduire à son expression minimale en utilisant la règle des trapèzes

### 1.3.3 Algorithme<sup>2</sup>

```

données de base
Longueur=Lt ; largeur=B ; Creux=D ; OETM=Y1 ; XOETM=X1 ; OBRN=Y2 ; XOBRN=X2
OUVERTURE (1) = OETM ; OUVERTURE (2) = largeur ; OUVERTURE (3) = OBRN
If OBRN = 0 Then Nc0 = 2 Else Nc0 = 3
For nc = 1 To Nc0 /// Traitement sur 3 couples
///demi ouverture des couple
For i = 0 To 10
    Y(i) = i x OUVERTURE (nc) / 20
    Z(i) = Creux x Cos ((Pi/OUVERTURE (nc)) x Y(i)) (1/N)
Next
///surface des couples
    S = (1/2) x (Z(0) +Z(10))
For i = 1 To 9
    S = S + Z(i)
Next
    sf(nc) = 2 x (OUVERTURE(nc)/20) x S
Next
///volume de la carène
    volume = (sf(1) x XOMCH) / 2 + (sf(1) + sf(2)) x (Longueur/2 - XOMCH) / 2
    + (sf(2) + sf(3)) x (Longueur/2 - XOBRN)/2 + (sf(3) x XOBRN) / 2

```

Le calcul de la jauge s'est donc basé sur la définition de couples pertinents , pour pouvoir procéder à l'intégration numérique de leurs demis ouvertures à différents hauteurs pour obtenir leurs aires , par la suite on a procédé à l'intégration de ces mêmes aires pour obtenir le volume du navire, cette démarche est déduite de ce qui est considéré comme le principe fondamental du calcul hydrostatique des navires pendant des siècles, et qui consiste à procéder exactement de la même manière, mais généralement avec 10 couples et à différents tirants d'eau, on détermine alors le volume de la carène ainsi que toutes les données hydrostatiques de référence (Tableau 1 ), mais cette méthode est désormais considérée comme classique , car des technologies numériques avancées appliquées dans le domaine 3D sont de plus en plus adaptées à ce type de calcul avec traitement direct du modèle de coque en maillage 3D, ce qui a permis de transformer radicalement l'approche de cette tâche réputée comme une des plus complexe dans le domaine de l'architecture navale et même considérée comme chasse gardée des sociétés de classification .



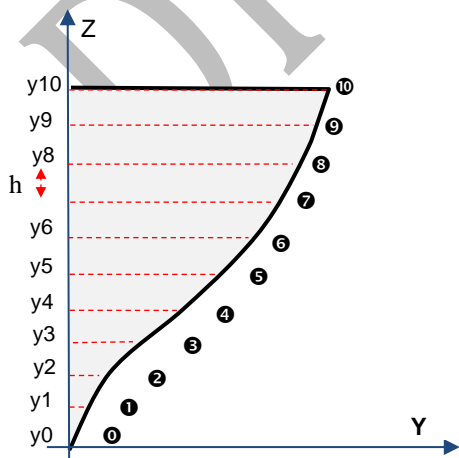
## II Eléments Hydrostatiques :

Déplacement pour une densité de l'eau 1.025	$\Delta$	$V = \int_0^L S_c dx$ ou $V = \int_0^H A_F dz$
Distance du centre de gravité de la flottaison a la PPAR	Lcf	$Lcf = \int_0^L xy dx / \int_0^L y dx$
Distance Horizontale du centre de carène a la PPAR	Lcb	$Lcb = \int_0^L x A_c dx / \int_0^L A_c dx$
Distance Verticale du centre de carène a la ligne d'eau zéro	kb	$Kc = \int_0^H z A_F dz / \int_0^H A_F dz$
Distance du métacentre transversal a la ligne d'eau zéro	kMt	$It = \frac{1}{3} \int_0^L y^3 dx + kb$
Distance du métacentre longitudinal a la ligne d'eau zéro	kMl	$Il = \int_0^L x^2 y dx + kb$
Aire de la Ligne d'eau	Awl	$A_F = \int_0^L y dx$
Surface d'un couple	S <sub>c</sub>	$S_c = \int_0^H y dz$
Moment nécessaire pour faire varier l'assiette de 1 cm	Mtc	$Mct = 1.025.II / 100.L$
Variation du déplacement pour un centimètre d'immersion.	Tpc	$1.025.A_{WL} . 0.1$
<b>Les coefficients de forme cités en Ch I</b>		
Coefficient de bloc	Cb	$Cb = \frac{\nabla}{LWL \times Bwl \times T}$
Coefficient de remplissage du Maitre Couple	CM	$CM = \frac{Am}{B \times T}$
Coefficient Prismatique	Cp	$Cp = \frac{\nabla}{LWL \times Am}$
Coefficient Prismatique Verticale	Cvp	$Cvp = \frac{\nabla}{T \times Aw}$
Coefficient de remplissage de la ligne d'eau	Cwl	$Cwl = \frac{Aw}{B \times Lpp}$

### II.1 PRINCIPE DE CALCUL /Aire d'un couple

$$S_c = \int_0^H y dz$$

On considère le couple c<sub>x</sub>



L'aire d'un couple considéré est donné par la méthode des trapèzes

$$S_{cx} = 2h \left( \frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right)$$

Par la méthode de Simpson (1,4,2,4,2,4,2,4,1 : multiplicateurs sur 10

$$\text{intervalles}) S_{cx} = \frac{h}{3} (1y_0 + 4y_1 + 2y_2 + \dots + 4y_{n-1} + 1y_n)$$

Une autre formule qui a constitué le cœur du programme de calcul de stabilité des navires NAVSAM réalisé par le centre de calcul universitaire de l'université catholique de Louvain dans les années 80 :

$$S_{cx} = 2h \frac{n^2}{n^2 - 1} \left( \frac{n-1}{2n} \frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \frac{n-1}{2n} \right)$$

### III NOUVELLE TECHNOLOGIE

#### III.1 Nouvelle Approche / Oublions les couples et le Plan de Formes

la méthode classique des calculs nécessaires pour définir les éléments d'assiette et de stabilité sont basés sur la définition préalable des couples (sections transversales) au niveau du plan des formes qui doit être nécessairement balancées, ces couples sont donc définies dans un espace à deux dimensions, toutefois la conception actuelle des navires repose sur des outils de conception modernes qui permettent de travailler directement sur des formes 3D (tridimensionnelles), ce qui a amené à développer des méthodes de calcul spécifiquement adaptées aux formes géométriques définies par un maillage polygonale (3D Polygone Mesh), donc on ne parle plus de couples mais plutôt de polygone, vertex et facette.

##### III.1.1 / Calcul des Aires et des Moments

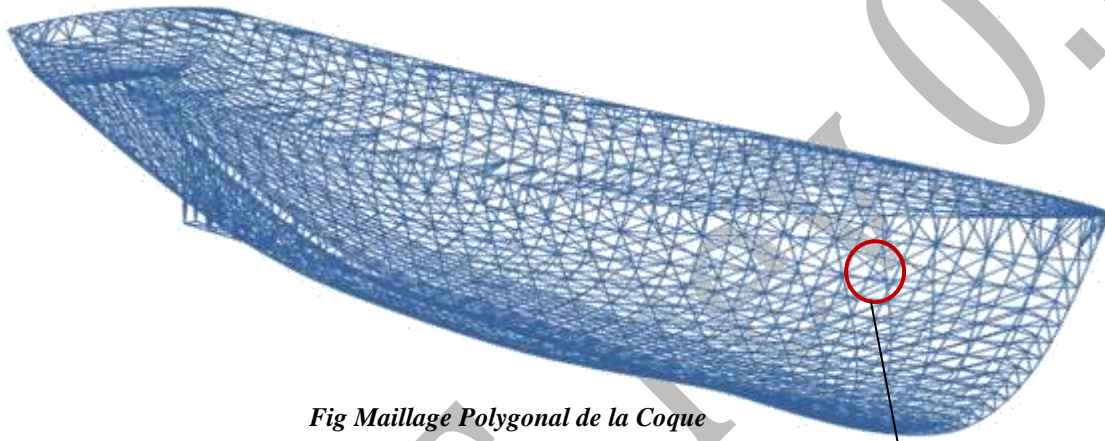


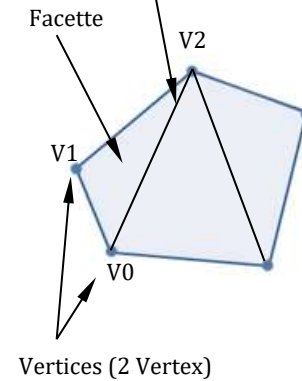
Fig Maillage Polygonal de la Coque

##### Calcul des aires et centre

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

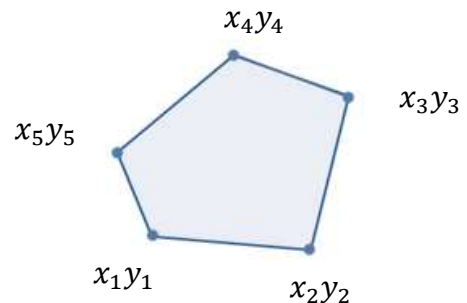


##### Calcul des Moments

$$I_y = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n (x_i^2 + x_i x_{i+1} + x_{i+1}^2) a_i$$

$$I_x = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n (y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2) a_i$$

Avec  $a_i = x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i$



### III.2.1 Techniques Javascript

En plus des techniques polygonales d'autres méthodes plus élaborées peuvent être adoptées en voici un exemple en JavaScript

#### III.2.1.a Calcul des coordonnées du centre de gravité

```
function polygonCenter( contour ) {  
    var Ex=0, Ey=0 ;  
    var centroid = new Vector2();  
    contour.forEach(vertex => {  
        Ex = Ex + vertex.x ;  
        Ey = Ey + vertex.y ;  
    } )  
    centroid.x = Ex / contour.length ;  
    centroid.y = Ey / vertices.length;  
  
    return({ 'Centroid': centroid } );  
}
```

*Cette fonction peut être remplacée simplement par*

```
contour.forEach(vertex => { centroid.add(vertex) ; } ) ;  
centroid.divideScalar( vertices.length ) ;
```

*Où*

*contour est le tableau des coordonnées du polygone  
vertex et vertices respectivement un point dans l'espace 3D et l'ensemble  
des points*

La fonction suivante calcul l'air les coordonnées du centre de gravité et les moments d'inertie d'une flottaison

```
function polygonInertia ( contours ) {  
    var Exa=0, Eya=0, Ea=0, I0x =0, I0y=0;  
    var centroid = new THREE.Vector2();  
    contours.forEach(contour => {  
        var vertices = [], Area=0;  
        contour.forEach (vertex => { vertices. Push( { "x":vertex.x , "y":vertex.y } ); } )  
        vertices.forEach(vertex => { centroid.add( vertex ); } );  
        centroid.divideScalar( vertices.length );  
        Area = Math.abs(THREE.ShapeUtils.area(vertices));  
        Exa = Exa + centroid.x * Area;          Eya = Eya + centroid. Y * Area; Ea = Ea + Area ;  
        var Isumx =0, Isumy=0;  
        for ( var i = 0; i < vertices.length-1 ; i ++ ) {  
            var ai = vertices[i].x*vertices[i+1].y - vertices[i+1].x*vertices[i].y  
            Isumx = vertices[i].y*vertices[i].y + vertices[i].y*vertices[i+1].y +  
                    vertices[i+1].y*vertices[i+1].y;  
            Isumy = vertices[i].x*vertices[i].x + vertices[i].x*vertices[i+1].x +  
                    vertices[i+1].x*vertices[i+1].x;  
            Isumx = Isumx + ai*Isumx;  
            Isumy = Isumy + ai*Isumy;  
        }  
        //Partial Inertia with respect to origin axis  
        Isumy -= Area*( (centroid.x)**2); //Huygens  
        //Inertia Summation  
        I0x += Isumx/12;  
        I0y += Isumy/12 ;  
    } )  
    //Resultant Centroid  
    centroid.x = Exa/Ea ;          centroid.y = Eya/Ea ;  
    return ({ 'Area' :Ea , 'Centroid' : centroid , 'Ix' :I0x, 'Iy' :I0y } ) ;  
}
```

### III.2.1.b Calcul du Volume

Le calcul du volume d'un maillage est un problème relativement simple et bien connu, et je vais passer en revue le cas simple ainsi qu'une optimisation que nous avons incorporée dans notre dernier projet.

#### Les bases

L'idée derrière le calcul du volume d'un maillage est de calculer un volume pour chaque triangle du maillage et de les additionner. Or, un triangle lui-même n'a pas de volume, puisqu'il s'agit d'une géométrie bidimensionnelle, au lieu de cela, nous calculons le volume d'un tétraèdre qui va de l'origine (0,0,0) au dit triangle.

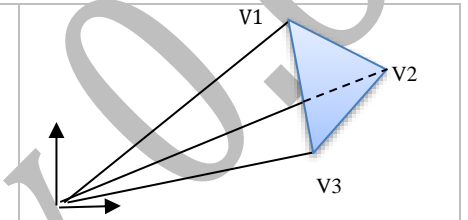
Il existe une équation nette pour calculer le volume d'un tétraèdre. Étant donné les points d'un triangle  $v_1, v_2, v_3$ , cette équation s'exprime ainsi

$$V = \frac{1}{6} (\mathbf{v}_1 \otimes \mathbf{v}_2) \mathbf{v}_3 \quad \text{où } \otimes \text{ produit vectoriel}$$

d'une manière plus explicite

$$V = \frac{1}{6} (-x_3 y_2 z_1 + x_2 y_3 z_1 + x_3 y_1 z_2 - x_1 y_3 z_2 - x_2 y_1 z_3 - x_1 y_2 z_3)$$

Exprimé en Javascript simplement comme suit : `p3.dot(p1.cross(p2)) / 6.0 ;`



Mais si on j'additionne tous ces tétraèdres, est-ce que on n'a pas un désordre de volumes qui se chevauchent en convergeant vers l'origine ? Oui, mais l'essentiel est que ces volumes soient signés, donc ils peuvent être négatifs en fonction de l'enroulement du sommet, si les points vont dans un sens ( $v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3$ ) on obtient un volume positif et s'ils vont dans l'autre sens ( $v_1 \rightarrow v_3 \rightarrow v_2$ ) on obtient un volume négatif. Les faces pointant s'ajoutent au volume total et les faces pointant en soustraire. Ce qui reste n'est que le volume à l'intérieur de l'objet. Pour obtenir le volume total d'un maillage, on parcourt chaque triangle, et on procède au calcul de son volume signé et on additionne au fur et à mesure.

On trouve ci-dessous un code JavaScript pour le calcul du volume d'un maillage ainsi que le centre de gravité

```
function calculateVolumeCentroid(geo) {
    var volumes = 0.0;

    for(var i = 0; i < geo.faces.length; i++){
        var P1 = geo.faces[i].a;
        var P2 = geo.faces[i].b;
        var P3 = geo.faces[i].c;
        var P = geo.vertices[P1] ;
        var Q = geo.vertices[P2] ;
        var R = geo.vertices[P3];
        volumes += signedVolumeOfTriangle(P, Q, R); //volumeOfT
    }

    var centroid = new Vector3();
    for ( var i = 0; i < geo.vertices.length; i ++ ) {
        centroid.add( geo.vertices [ i ] );
    }
    centroid.divideScalar( geo.vertices.length );

    var VolumeCentroid=[]
    VolumeCentroid.push( {« vol” : Math.abs(volumes), « x » :centroid.x, « y » :centroid.y,
« z » :centroid.z} ) ;
    Return VolumeCentroid ;
}
```

Où **geo** est la géométrie en question

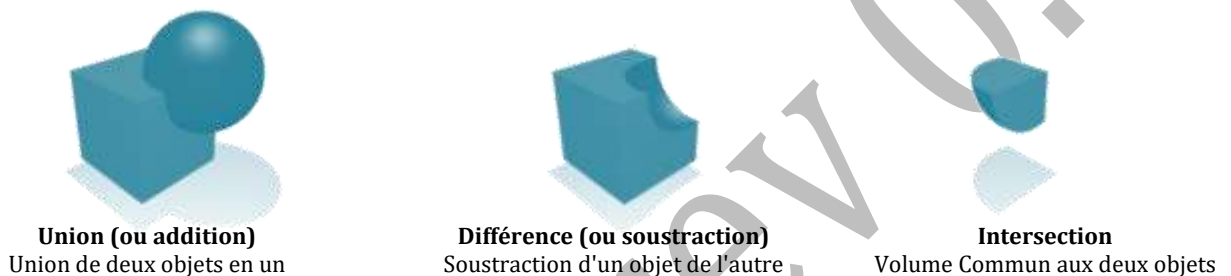
**Faces** l'ensemble des facettes(triangles) qui constituent le maillage 3D de la géométrie

```
function signedVolumeOfTriangle (a, b, c) {
    return b.clone().crossI.dot(a)/6; //Tetrahedral volume formula
}
```

### III.3/ Intégration à différents Tirants d'eau / Pour Coque Convexe

Pour déterminer les caractéristiques hydrostatiques à différents tirants d'eau on emploie une technique d'opérations booléennes sur des formes 3D, cette technique de modélisation géométrique est définie comme standard international communément appelée *Constructive Solid Geometry* ( **CSG** ), à cet effet la carène en maillage polygonal 3D est convertie en forme( **CSG** ) qui de par sa nature mathématique, fait que les volumes complexes ont des frontières parfaites et non approchées comme par les techniques à base de polygones , cette opération est appelée **inverse CSG** , une fois les opérations booléennes de coupes à différents tirants d'eau sont réalisées la carène résultante de forme complexe est reconvertie en maillage polygonale nécessairement sans perte de détails et donc fin prête pour le calcul des données hydrostatique et Pantocarènes par les technique suscitées, la précision de calcul est alors immédiatement liée à la densité des polygones.

#### Opérations booléennes



#### Processus de Traitement

##### Boucle 1

Traitement volume

- Rotation de la Coque (**CSG**) (Angle 5 10 20 30 40) ;

##### Boucle 2

- Immersion de la coque d'un tirant d'eau dT, ensuite ;
- Conversion de la carène en maillage polygonal 3D est en forme (CSG) / **inverse CSG**
- Opérations booléennes de coupe au niveau-zéro ;
- Extraction de la Coque immergée (carène) ;
- Conversion de la carène (CSG) en maillage polygonal 3D ;
- Calcul volume, Lcb, kb et autres paramètres de forme ;

Traitement Surface

- Obtenir des points d'intersection du plan de niveau zéro avec le maillage de la Carène ;
- Générer un maillage plan d'eau à partir des points d'intersection suscités ;
- Calcul sur le plan d'eau, Aire, Lcf , Tcf et moments d'inertie Ix ,Iy ainsi que Kmt ,Kml .

*fin Boucle 2*

*fin Boucle 1*



## Solution Générale / Coque Concave

Pour un navire de forme non conventionnelle, avec des parties de coque concaves, les techniques CSG peuvent échouer dans certaines opérations booléennes, à ce stade, une solution plus générale basée sur les fonctions natives de **Three.js** est alors adoptée avec un peu de travail supplémentaire au niveau de la programmation, en fait les opérations booléennes sont remplacées par des opérations de tranchage de la géométrie de la coque puis fusion de la coque creuse obtenue avec un maillage de la forme calotte afin d'assurer l'étanchéité de la coque résultante,

## Le Processus de Traitement

### Loop 1 / (i Loop)

#### Traitement Volume

- Rotation de la Carène aux angles (5 10 20 30 40) ;

#### Loop 2/ (j loop)

- Immersion de la Coque d'un tirant d'eau dT, ensuite ;
- Coupe du maillage coque par un plan de niveau zéro ;
- Obtenir des points d'intersection du plan zéro avec le maillage de la Carène ;
- Générer un maillage coiffe à partir des points d'intersection suscités ;
- Fusionner le maillage Carène avec maillage coiffe pour obtenir le maillage fermé de carène ;
- Calcul volume, Lcb, kb et autres paramètres de forme ;

#### Traitement Surface

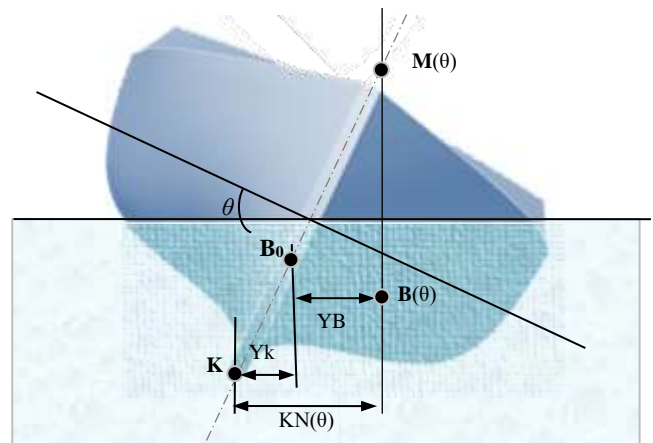
- Obtenir des points d'intersection du plan de niveau zéro avec le maillage de la Carène ;
- Générer un maillage plan d'eau à partir des points d'intersection suscités
- Calcul sur le plan d'eau, Lcf, Tcf et des moments d'inertie  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $K_{mt}$ ,  $K_{ml}$ .

end Loop 2

end Loop 1

Calcul direct de KN à partir de la carène immergée  
Bo est le centre du Maillage de la Coque Navire droit( $\theta=0$ )

$$KN(\theta) = Y_K + Y_B \Rightarrow KN(\theta) = KB_0 \sin \theta + Y_B$$



En plus de cet Annexe, fonts partie de ce projet les Documents suivants

<i>ANNEXE IV</i>	/ <a href="#"><u>Partie C r2022</u></a>	<b>Rapport de vérification</b>
<i>ANNEXE V</i>	/ <a href="#"><u>Partie B r2022</u></a>	<b>Intégrité de la coque</b>
<i>ANNEXE VI</i>	/ <a href="#"><u>Partie A r2022</u></a>	<b>Renseignements Techniques</b>

DRAFT rev 0.6