

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## CONSTRUCTION NAVALE

SESSION 2016

### ÉPREUVE D'ÉTUDE ET CONCEPTION

Sous-épreuve U41 : Étude du navire

Durée : 4 heures

Coefficient 2,5

*Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout autre matériel électronique est interdit.*

**Aucun** document autorisé.

#### Documents à rendre avec la copie :

- Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
- Le sujet se compose de 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.
- La feuille de papier millimétré est à rendre même si elle n'est pas complétée.

BTS Construction Navale	Session 2016
Sous-épreuve U41 Étude du navire	Page 1/12

## Composition du sujet :

	<u>Format</u>	
- Présentation ;	A4	page 3/12
- Texte du sujet : feuilles jaunes ;	A4	pages 4/12 à 7/12
- Document 1 : extrait des éléments hydrostatiques du voilier de 60 pieds en assiette nulle ;	A4	page 8/12
- Document 2 : courbes des pantocarènes du voilier de 60 pieds en assiette nulle ;	A4	page 9/12
- Document 3 : extrait des règles de courses classe IMOCA ;	A4	page 10/12
- Document 4 : courbe de stabilité du navire léger ;	A4	page 11/12
- Document 5 : valeurs, sous forme de tableau, permettant de tracer la courbe de stabilité transversale pour le navire en charge en configuration la plus défavorable ;	A4	page 12/12

Le sujet comporte 4 **parties indépendantes** :

- I. Étude du navire léger. 20 pts
- II. Étude de l'auto-redressement du navire léger. 7 pts
- III. Vérification de l'angle de gîte initial. 8 pts
- IV. Étude de la stabilité du navire en configuration la plus défavorable. 5 pts

# Étude de la stabilité d'un voilier de 60 pieds

## Présentation

L'étude porte sur un voilier IMOCA de 60 pieds. On désire vérifier les normes minimales de stabilité et de limitation de puissance du navire imposées par la jauge de la classe IMOCA.

Les caractéristiques du navire sont les suivantes :

• Length overall :	18,29 m
• Length between perpendiculars :	18,29 m
• Breadth overall :	5,6 m
• Summer load displacement :	8,4 t
• Light hull weight :	4,387 t
• Light keel weight :	3,395 t
• Summer load draught :	4,5 m
• Volumetric mass density :	1,025 t/m <sup>3</sup>

Le navire est équipé d'une quille pivotant transversalement de  $\pm 36,5$  degrés. Il possède six ballasts, trois sur chaque bord, disposés symétriquement par rapport à la center line. Le volume complet des ballasts sur un bord est de 3,831 m<sup>3</sup>.

L'origine du repère est prise au niveau de la flottaison en charge d'été. Le référentiel du navire est le suivant :

- axe des X : axe longitudinal passant par la flottaison en charge d'été ;
- axe des Y : axe transversal passant par la flottaison en charge d'été ;
- axe des Z : axe vertical passant par la PPAR.

Le tirant d'eau du bateau à la flottaison en charge d'été est de - 4,5 mètres par rapport au repère.

# I. Étude du navire léger.

Objectif : Déterminer la stabilité initiale du navire léger et vérifier les normes D.3 et D.5 des règles de course de la jauge IMOCA.

Données :

Les règles de course de la jauge IMOCA, résumées sur le *document 3, page 10/12*, précisent les valeurs imposées par la norme D.3 sur l'angle de stabilité critique (AVS) et la norme D.5 sur le rapport d'aire de la courbe de stabilité. Les mesures doivent être faites en condition léger.

<u>Chargement</u>	<u>Déplacement</u> (t)	<u>Centre de gravité</u> (m)		
		<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>
Navire léger sans quille	4,387	11,091	0	1,877
Quille	3,395	10,323	0	- 3,920

➤ Vous devez utiliser les documents 1, 2 et 3 pour cette partie.

**Question 1** : Calculer à partir du cas de chargement ci-dessus le déplacement du navire léger avec sa quille.

**Question 2** : Calculer à partir du cas de chargement ci-dessus le centre de gravité du navire léger.

**Question 3** : Calculer, à l'aide des éléments hydrostatiques du navire droit donnés sur le *document 1, page 8/12*, le tirant d'eau du navire léger par rapport au référentiel. En déduire le tirant d'eau réel.

**Question 4** : Calculer la distance métacentrique transversale.

**Question 5** : Calculer la distance métacentrique longitudinale.

**Question 6** : Calculer l'assiette prise par le navire léger.

**Question 7** : À partir de l'assiette du navire que vous avez déterminée précédemment, calculer les tirants d'eau avant et arrière du navire léger par rapport au référentiel. En déduire les tirants d'eau réels avant et arrière du navire léger.

**Question 8** : À l'aide des courbes pantocarènes données sur le *document 2, page 9/12*, déterminer les valeurs des KN pour le cas de chargement étudié.

**Question 9** : Quels que soient les résultats trouvés à la question 2, on prendra une position verticale du centre de gravité de : **KG = 3,848 m** (l'origine du référentiel est positionnée au niveau de la quille pour tracer la courbe de stabilité transversale), tracer sur le papier millimétré fourni, format A4 horizontal, la courbe de stabilité transversale en tenant compte de l'échelle ci-dessous.

- abscisses : 1,5 cm pour 10 degrés ;
- ordonnées : 1 cm pour 0,2 mètre.

**Question 10** : À partir de la courbe de stabilité transversale que vous avez tracée, vérifier la valeur de la norme D.3, sur l'angle de stabilité critique (AVS), du règlement de la jauge IMOCA du *document 3 page 10/12*. Que pouvez-vous conclure ?

**Question 11** : À partir de la courbe de stabilité transversale que vous avez tracée, calculer la valeur de l'aire positive sous la courbe de stabilité transversale en m.rad.

**Question 12** : À partir de la courbe de stabilité transversale que vous avez tracée, calculer la valeur de l'aire négative sous la courbe de stabilité transversale en m.rad.

**Question 13** : Que pouvez-vous conclure par rapport à la valeur de la norme D.5, sur le rapport d'aire de la courbe de stabilité, du règlement de la jauge IMOCA du *document 3 page 10/12* ?

## II. Étude de l'auto-redressement du navire léger.

Objectif : Vérifier la norme D.1 des règles de course de la jauge IMOCA pour le navire léger.

Données :

Les règles de course de la jauge IMOCA, résumées sur le *document 3, page 10/12*, précisent les conditions imposées par la norme D.1 sur l'auto-redressement du navire léger. Les volumes des différents compartiments sont vides et la quille est positionnée dans l'axe de symétrie du navire.

Le redressement est réalisé lors de l'inclinaison de la quille de 36,5 degrés sur bâbord ou tribord.

Le *document 4, page 11/12*, représente la courbe de stabilité transversale du navire léger, quille droite, obtenue par un logiciel informatique.

<u>Chargement</u>	<u>Déplacement</u> (t)	<u>Centre de gravité</u> (m)		
		<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>
Navire léger sans quille	4,387	11,091	0	1,877
Quille dans l'axe	3,395	10,323	0	- 3,920
Quille inclinée de 36,5 degrés	3,395	10,323	- 2.223	- 3,257

➤ Vous devez utiliser les documents 3 et 4 pour cette partie.

A partir de la courbe de stabilité transversale du navire léger donnée sur le *document 4, page 11/12*, on demande de :

**Question 14** : Calculer le moment de redressement maximum du navire retourné.

**Question 15** : Calculer le moment inclinant du navire lors du redressement du navire.

**Question 16** : Que pouvez-vous conclure par rapport à la norme D.1 sur l'auto-redressement du navire léger du règlement de la jauge IMOCA, du *document 3 page 10/12* ?

**Question 17** : Dans la réalité, le skipper se trouve à l'intérieur du bateau. Justifier le fait que la norme néglige le skipper dans les calculs.

### III. Vérification de l'angle de gîte initial.

Objectif : Vérifier la norme D.2 des règles de course de la jauge IMOCA pour le navire en charge dans la condition la plus défavorable.

Données :

Le document 3, page 10/12, des règles de course de la jauge IMOCA précise pour la norme D.2 la valeur de gîte initiale dans la condition la plus défavorable.

Le navire a la quille droite et les trois ballasts tribord sont remplis. Le déplacement et la position du centre de gravité du navire sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

<u>Chargement</u>	<u>Déplacement</u> (t)	<u>Centre de gravité</u> (m)		
		<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>
Navire en charge ballasté quille dans l'axe	11,611	11,098	- 0,302	- 0,355

On prendra une distance métacentrique transversale de **5,727** mètres.

➤ Vous devez utiliser le document 3 pour cette partie.

**Question 18** : Calculer la gîte prise par le navire avec la quille droite.

Afin d'obtenir la gîte initiale complète du bateau, on déplace la quille transversalement sur tribord. Le tableau ci-dessous nous donne la position du centre de gravité de la quille inclinée.

<u>Chargement</u>	<u>Déplacement</u> (t)	<u>Centre de gravité</u> (m)		
		<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>
Quille dans l'axe	3,395	10,323	0	- 3,920
Quille inclinée de 36,5 degrés	3,395	10,323	- 2.223	- 3,257

**Question 19** : Calculer la distance du déplacement vertical et transversal du centre de gravité de la quille après inclinaison.

**Question 20** : Calculer la distance métacentrique transversale modifiée par le déplacement vertical du centre de gravité de la quille.

**Question 21** : Calculer la gîte prise par le navire due au déplacement transversal du centre de gravité de la quille.

**Question 22** : En déduire la gîte totale prise par le navire.

**Question 23** : Que pouvez-vous conclure sur la valeur de la gîte initiale dans la condition la plus défavorable, par rapport à la valeur de la norme D.2 des règles de course du règlement de la jauge IMOCA, du *document 3 page 10/12* ?

#### **IV. Étude de la stabilité du navire en configuration la plus défavorable.**

Objectif : Vérifier les normes D.4 et D.6 des règles de course de la jauge IMOCA pour le navire en charge.

Données :

Le *document 3, page 10/12*, sur les règles de course de la jauge IMOCA précise, pour la norme D.4, la valeur de l'angle de stabilité critique ( $AVS_{WC}$ ) et, pour la norme D.6, la valeur du moment de redressement maximum dans la condition la plus défavorable.

Le *document 5, page 12/12*, représente sous forme de tableau, les valeurs obtenues par un logiciel informatique, permettant de tracer la courbe de stabilité du navire en charge dans la configuration la plus défavorable.

Le déplacement du navire est de 11,611 t.

➤ *Vous devez utiliser les documents 3 et 5 pour cette partie.*

**Question 24** : À partir du tableau donné sur le *document 5, page 12/12*, vérifier la valeur de l'angle de stabilité critique  $AVS_{WC}$ , par rapport à la valeur de la norme D.4 des règles de course du règlement de la jauge IMOCA du *document 3 page 10/12*. Que pouvez-vous conclure ?

**Question 25** : À partir du tableau donné sur le *document 5, page 12/12*, calculer le moment de redressement maximum dans la configuration la plus défavorable.

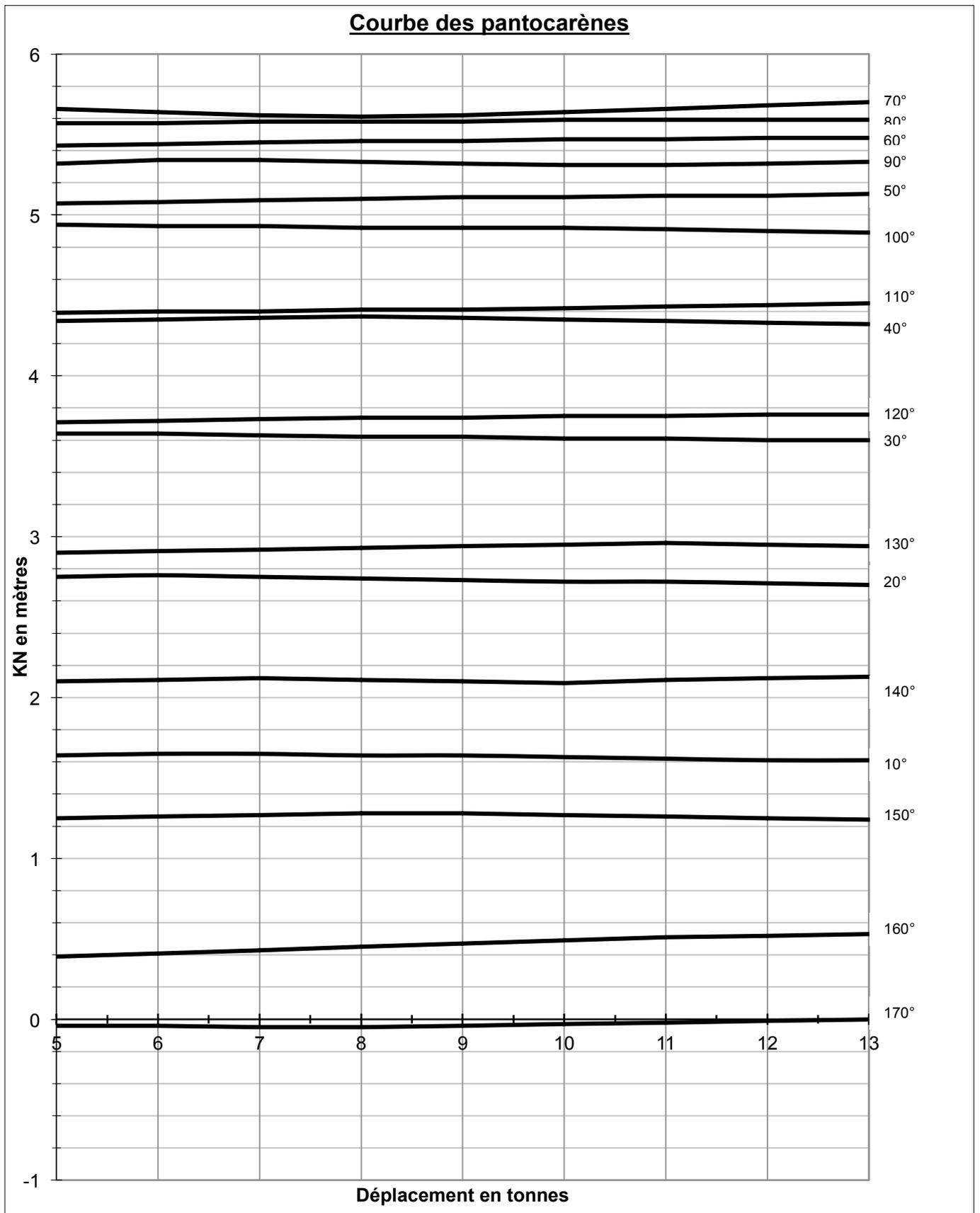
**Question 26** : Que pouvez-vous conclure sur la valeur du moment de redressement maximum, par rapport à la valeur de la norme D.6 des règles de course du règlement de la jauge IMOCA du *document 3 page 10/12* ?

## Document 1 :

### Extrait de la table des éléments hydrostatiques du voilier de 60 pieds en assiette nulle.

<b>Tirant d'eau (m)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>LCB (m)</b>	<b>TCB (m)</b>	<b>VCB (m)</b>	<b>LCF (m)</b>	<b>BMT (m)</b>	<b>BML (m)</b>	<b>Déplacement / cm immersion (t)</b>	<b>MTC (t.m)</b>
-0,125	3,206	10,090	-0,227	-0,503	10,347	5,026	118,363	0,317	0,212
-0,100	4,035	10,163	-0,181	-0,422	10,539	5,333	120,806	0,362	0,273
-0,075	4,972	10,252	-0,147	-0,359	10,721	5,512	121,089	0,405	0,337
-0,050	6,013	10,347	-0,121	-0,308	10,853	5,616	117,752	0,445	0,397
-0,025	7,141	10,433	-0,102	-0,265	10,926	5,674	111,514	0,479	0,446
0,000	8,347	10,509	-0,087	-0,228	10,979	5,672	104,613	0,508	0,489
0,025	9,621	10,574	-0,076	-0,197	11,016	5,628	97,728	0,535	0,527
0,050	10,956	10,630	-0,067	-0,168	11,046	5,560	91,174	0,558	0,560
0,075	12,344	10,678	-0,059	-0,142	11,066	5,462	85,094	0,579	0,589
0,100	13,780	10,720	-0,053	-0,118	11,081	5,352	79,535	0,598	0,615

## Document 2 :



## Document 3

### Extrait des règles de course de la classe open 60 pieds IMOCA. YEAR BOOK 2012.

#### SECTION D - NORMES MINIMA DE STABILITÉ ET LIMITATION DE LA PUISSANCE.

Les bateaux doivent satisfaire aux normes minima suivantes :

##### D.1 : AUTO REDRESSEMENT.

Lors des opérations de jauge, le skipper doit démontrer en réel que le bateau lège, une fois retourné à l'envers, est capable de se remettre à l'endroit sans aide extérieure. Ce test est obligatoire pour la délivrance du premier certificat de jauge.

Le Mesureur de la Classe devra établir pour chaque test un rapport détaillé décrivant les opérations nécessaires au redressement du bateau. En cas de changement de skipper, une copie de ce rapport doit être communiquée au nouveau skipper.

Le protocole de jauge spécifie les différentes opérations à réaliser lors de ce test.

##### D.2 : ANGLE DE GITE INITIALE.

A partir de l'axe vertical dû aux déplacements des poids mobiles et du remplissage des ballasts dans la condition la plus défavorable, l'amplitude d'un bord à la verticale ne doit pas excéder 10°.

##### D.3 : ANGLE DE STABILITE CRITIQUE (AVS).

Cet angle ne doit pas être inférieur à 127,5°. Celui-ci est calculé à partir de la courbe théorique de stabilité obtenue suite aux mesures faites lors des tests de stabilité du bateau lège, et grâce aux informations fournies par l'architecte.

La flottabilité des espars n'est pas prise en compte.

##### D.4 : AVS WORST CASE (AVSwc).

La valeur de l'AVS en configuration défavorable (AVSwc, la plus mauvaise configuration de ballast et de quille, bateau en condition lège) doit être supérieure ou égale à 110°.

L'AVS en configuration défavorable est l'angle de chavirage obtenu en recherchant la combinaison angle de quille et ballast (remplissage) la plus pénalisante, le bateau étant en condition dite de jauge (condition lège sauf pour les ballasts concernés remplis).

La flottabilité des espars n'est pas prise en compte.

L'AVSwc doit être calculé par l'IMOCA sous l'autorité du Chef Mesureur à partir de la courbe théorique de stabilité obtenue suite aux mesures faites lors des tests de stabilité, grâce aux informations fournies par l'architecte, et en fonction des mesures faites par le Mesureur suivant les tests décrits dans le protocole de jauge. L'AVSwc est mentionné sur le certificat de jauge.

##### D.5 : RAPPORT D'AIRE DE LA COURBE DE STABILITE.

En valeur absolue, l'aire positive sous la courbe de stabilité doit être au minimum 5 fois supérieure à l'aire négative. Les mesures doivent être faites en condition lège.

##### D.6 : MOMENT DE REDRESSEMENT MAXIMUM.

Le moment de redressement (RM) maximum (tous ballasts pleins d'un même côté, y compris les ballasts centraux s'ils existent et les équipements mobiles en configuration extrême de ce même côté, la quille étant basculée complètement de ce même côté) doit être inférieur ou égal à 32 t.m (tonne mètre).

## Document 4

### Courbe de stabilité du navire léger quille droite.

Stability Forms 60 pieds IMOCA

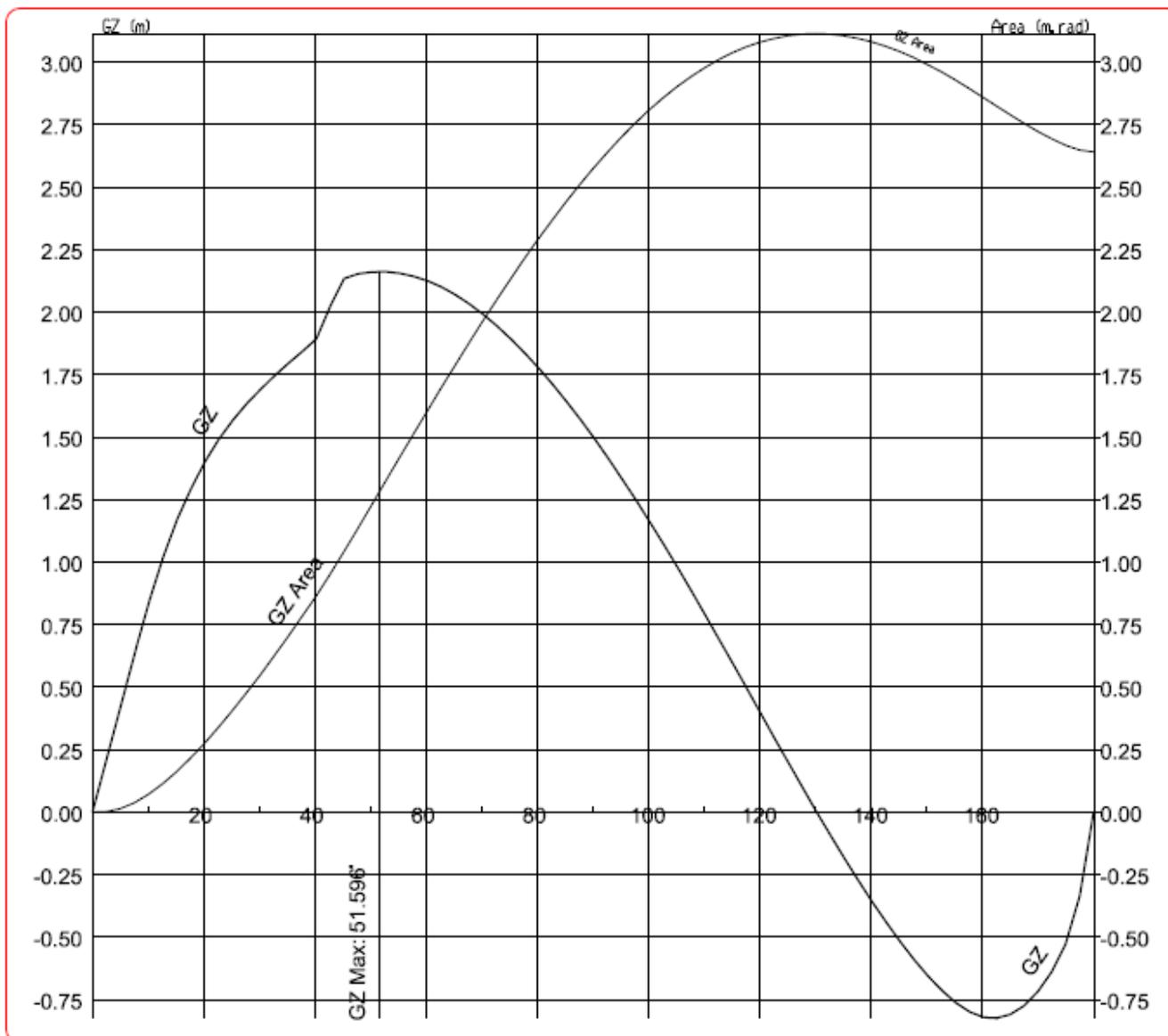
Heel on PS, K Point @ -4.5000 m, Water Density 1.0250, Length in m, Weights in t

**Hydrostatic Data @ Equilibrium:**

Heel°	0.893	GMT	6.1912	GMTC	6.1912	FSMT	0.0000
HAP	0.0006	GML	107.972	GMLC	107.972	FSML	0.0000
HFP	-0.0448	WPA	47.832	BMT	5.7896	OGT	-0.6339
HMP	-0.0221	WSA	0.000	BML	107.604	OGL	-0.6339
Trim	0.0455	TOA	3.0384	OG	-0.6339		

**Weight Data @ 0° (KMt0 = 10.1004):**

	Total:	Solid:	Liquid:
Wght:	7.7820	7.7820	0.0000
LCG:	10.7557	10.7557	0.0000
TCG:	0.0000	0.0000	0.0000
VCG:	-0.6522	-0.6522	0.0000



GZ Max @ 51.596° > 25.000°

[0, 30] = 0.5450 > 0.0550  
 [0, 40] = 0.8584 > 0.0900  
 [30, 40] = 0.3134 > 0.0300

GM0c = 6.2527 > 0.1500  
 GZ Max = 2.1622 > 0.2500  
 GZ 30° = 1.6929 > 0.2000

MAAT Hydro Turbo++ Rev. 7.11.h  
 Smt+ M.Res.

## Document 5

### Valeurs, sous forme de tableau, permettant de tracer la courbe de stabilité transversale pour le navire en charge en configuration la plus défavorable.

Stability 60 pieds IMOCA, Displacement : 11.611 t ; LCG : 11.098 m ; TCG : -0.302 m ; VCG : -0.55 m  
Variable / Real FSM, Heel on PS, K Point at: -4.5000 m, Water Density: 1.0250, Length in m, Weights in t

Status:	Heel:	AP Height:	FP Height:	TCB:	VCB:	LCB:	KN:	MS:	GZ:	Area:
	-30.000	-0.5716	-0.2908	-1.7428	0.1767	11.9569	-3.8477	0.6646	-0.9023	0.1895
	-25.000	-0.3651	-0.2289	-1.6230	0.1147	11.9575	-3.4212	0.4314	-0.7657	0.1167
	-20.000	-0.1919	-0.1831	-1.4672	0.0507	11.9571	-2.9351	0.2285	-0.5896	0.0575
	-15.000	-0.0497	-0.1505	-1.2587	-0.0144	11.9563	-2.3767	0.0739	-0.3591	0.0161
	-10.000	0.0609	-0.1290	-0.9689	-0.0777	11.9553	-1.7221	-0.0032	-0.0478	-0.0016
Equilibrium	-9.428	0.0696	-0.1280	-0.9233	-0.0836	11.9552	-1.6337	0.0000	0.0000	0.0000
	-5.000	0.1368	-0.1201	-0.5700	-0.1292	11.9548	-0.9488	0.0254	0.3697	0.0124
	0.000	0.1632	-0.1177	-0.0643	-0.1508	11.9554	-0.0643	0.1576	0.8881	0.0673
	5.000	0.1370	-0.1205	0.4414	-0.1292	11.9570	0.8207	0.2887	1.3998	0.1671
	10.000	0.0613	-0.1295	0.8405	-0.0776	11.9585	1.5956	0.3138	1.7971	0.3066
	15.000	-0.0494	-0.1510	1.1302	-0.0143	11.9587	2.2527	0.2308	2.0750	0.4756
	20.000	-0.1920	-0.1830	1.3385	0.0507	11.9569	2.8142	0.0677	2.2587	0.6647
	25.000	-0.3659	-0.2277	1.4940	0.1146	11.9523	3.3042	-0.1461	2.3751	0.8669
	30.000	-0.5737	-0.2874	1.6133	0.1764	11.9448	3.7354	-0.3926	2.4397	1.0770
	35.000	-0.8197	-0.3637	1.7136	0.2403	11.9342	4.1226	-0.6514	2.4703	1.2912
	40.000	-1.1051	-0.4649	1.8038	0.3100	11.9213	4.4736	-0.9102	2.4771	1.5071
	45.000	-1.4298	-0.5872	1.9455	0.4421	11.9065	4.8702	-1.0824	2.5449	1.7262
GZ Max	45.451	-1.4651	-0.6038	1.9515	0.4486	11.9052	4.8941	-1.1058	2.5456	1.7460
	50.000	-1.8213	-0.7714	2.0122	0.5141	11.8917	5.1344	-1.3417	2.4978	1.9462
	55.000	-2.3043	-1.0262	2.0455	0.5583	11.8774	5.3168	-1.6336	2.3890	2.1595
	60.000	-2.9210	-1.3752	2.0702	0.5980	11.8646	5.4500	-1.9216	2.2534	2.3620
	65.000	-3.7513	-1.8726	2.0883	0.6337	11.8539	5.5353	-2.2016	2.0941	2.5517
	70.000	-4.9563	-2.6272	2.1013	0.6660	11.8459	5.5732	-2.4700	1.9137	2.7266
	75.000	-6.9100	-3.8953	2.1105	0.6955	11.8414	5.5647	-2.7236	1.7147	2.8849
	80.000	-10.7328	-6.4489	2.1165	0.7227	11.8411	5.5109	-2.9596	1.4997	3.0252
	85.000	-22.0281	-14.1469	2.1200	0.7479	11.8454	5.4127	-3.1753	1.2709	3.1461
	89.900	-1121.49	-769.672	2.1214	0.7713	11.8540	5.2750	-3.3648	1.0357	3.2447
	95.000	22.7126	16.6914	2.1208	0.7948	11.8668	5.0898	-3.5369	0.7819	3.3256
	100.000	11.4368	8.9745	2.1183	0.8174	11.8820	4.8688	-3.6787	0.5268	3.3827
	105.000	7.6367	6.4000	2.1137	0.8403	11.9003	4.6113	-3.7920	0.2683	3.4174
	110.000	5.7042	5.1116	2.1068	0.8635	11.9210	4.3195	-3.8756	0.0085	3.4295
	110.165	5.6652	5.0861	2.1064	0.8643	11.9217	4.3088	-3.8773	0.0000	3.4291
	115.000	4.5198	4.3363	2.0972	0.8873	11.9433	3.9963	-3.9282	-0.2499	3.4189
	120.000	3.7120	3.8154	2.0840	0.9129	11.9662	3.6457	-3.9479	-0.5033	3.3861
	125.000	3.1221	3.4386	2.0657	0.9415	11.9885	3.2726	-3.9323	-0.7477	3.3315
	130.000	2.6664	3.1522	2.0417	0.9724	12.0097	2.8797	-3.8817	-0.9813	3.2560
	135.000	2.2997	2.9270	2.0106	1.0061	12.0301	2.4717	-3.7948	-1.2006	3.1608
	140.000	1.9956	2.7447	1.9697	1.0430	12.0473	2.0541	-3.6697	-1.4016	3.0473
	145.000	1.7368	2.5952	1.9156	1.0839	12.0626	1.6336	-3.5040	-1.5791	2.9172
	150.000	1.5132	2.4708	1.8425	1.1298	12.0750	1.2192	-3.2931	-1.7261	2.7730
	155.000	1.3185	2.3671	1.7411	1.1820	12.0841	0.8234	-3.0293	-1.8321	2.6178
	160.000	1.1469	2.2825	1.6014	1.2394	12.0902	0.4582	-2.7055	-1.8873	2.4555
	165.000	0.9933	2.2168	1.4159	1.2975	12.0938	0.1328	-2.3178	-1.8848	2.2909
	170.000	0.8519	2.1719	1.1840	1.3485	12.0960	-0.1504	-1.8693	-1.8248	2.1290
	175.000	0.7358	2.1495	0.8357	1.3922	12.0958	-0.3190	-1.2931	-1.6374	1.9780
	179.994	0.7492	2.0912	0.0010	1.4278	12.0809	-0.0004	-0.2232	-0.9533	1.8650

MAAT Hydro Turbo++ Rev. 7.11.h