

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CONCEPTION ET INDUSTRIALISATION EN CONSTRUCTION NAVALE

Session 2023

U4 – THÉORIE DU BATEAU

Durée : 4 heures – Coefficient : 2

Documents et matériels autorisés :

Tous documents autorisés.

Moyens de calculs autorisés :

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire « type collège » est autorisé.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.

Le sujet comporte 13 pages numérotées de la façon suivante :

Composition du sujet :

- présentation : page 2/13 ;
- texte du sujet : pages 3/13 à 4/13 ;
- document 1 : cas de chargement du voilier dans la condition de charge maximale page 5/13 ;
- document 2 : courbe de l'angle d'envahissement page 5/13 ;
- document 3 : éléments hydrostatiques page 6/13 ;
- document 4 : courbe des pantocarènes (KN) page 7/13 ;
- document 5 : extrait règlement norme ISO 12217-2 pages 8/13 à 11/13 ;
- document 6 : résultat sous forme de tableau de la courbe de stabilité du voilier en condition minimale de navigation pages 12/13 à 13/13.

Le sujet comporte 2 parties indépendantes :

- I. Étude de stabilité du voilier en charge maximale. 24 pts
- II. Vérification réglementaire de la catégorie de navigation à partir des résultats obtenus avec un logiciel de stabilité. 16 pts

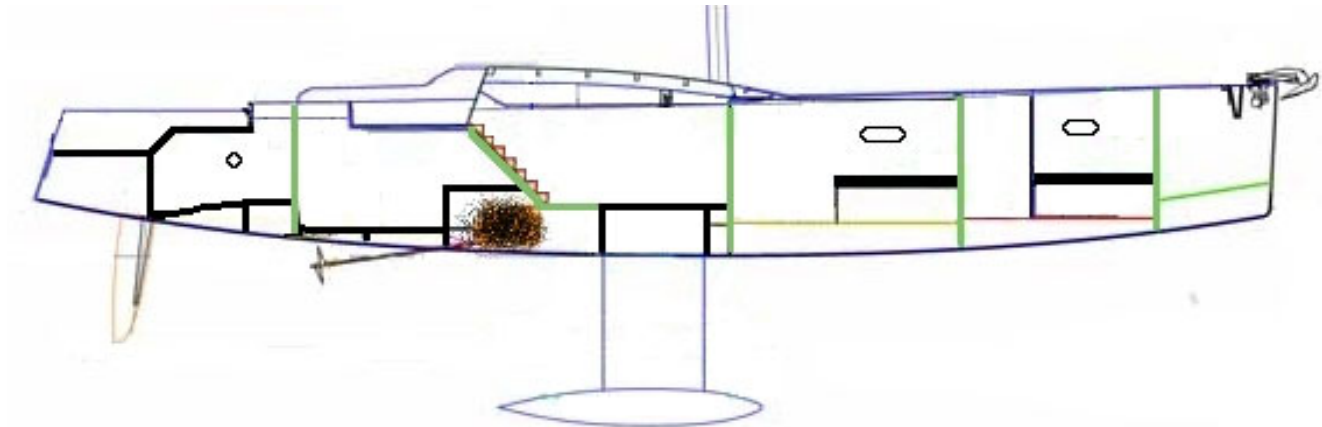
Les candidats rédigeront les réponses aux questions posées sur feuilles de copie et traceront la courbe de stabilité sur le **papier millimétré fourni**.

Tous les documents, copies et document réponses, sont à remettre en fin d'épreuve.

CODE ÉPREUVE : 23CICN4TB	EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : CONCEPTION ET INDUSTRIALISATION EN CONSTRUCTION NAVALE	
SESSION : 2023	SUJET	ÉPREUVE : U4 – THÉORIE DU BATEAU		
Durée : 4h	Coefficient : 2	SUJET N° 01ED21	Page 1/13	

Étude d'un voilier de 65 pieds

Présentation



L'étude porte sur un voilier de 65 pieds. La réglementation impose de vérifier l'indice de stabilité (STIX), pour obtenir la catégorie de conception du voilier.

Référentiel :

- axe x : longitudinal, 0 à la perpendiculaire arrière (PPAR), positif vers l'avant du voilier ;
- axe y : transversal, positif sur bâbord ;
- axe z : vertical, positif vers le haut, 0 à la référence horizontale 0H. La ligne 0H est positionnée à 2,75 m au-dessus du point le plus bas de la quille.

Les caractéristiques du voilier sont les suivantes :

- length overall : 19,95 m
- length hull : 18,61 m
- length between perpendiculars : 17,95 m
- length waterline maximum summer load : 17,64 m
- breadth : 5,6 m
- depth : 2,95 m
- summer light displacement (m_{LCC}) : 30,3 t
- summer load displacement (m_{LDC}) : 34,649 t
- deadweight (m_{MTL}) : 4,349 t
- summer load draught : 3,761 m
- max fuel capacity : 1 350 l
- max water capacity : 1 100 l
- dark water capacity : 540 l
- passengers : 10
- genoa : 100 m²
- main sail : 110 m²
- sail code 0 : 148 m²
- mast height above waterline : 29,84 m
- CE category : A

I. Étude de la stabilité du voilier en charge maximale.

Objectif : Vérifier la stabilité initiale à l'état intact du voilier en charge maximale ainsi que les trois exigences réglementaires données dans la norme ISO 12217-2 des voiliers de catégorie de navigation A : la hauteur d'envahissement, l'angle d'envahissement et l'angle de disparition de stabilité.

Données :

- le cas de chargement du voilier dans la condition de charge maximale est donné sur le *document 1 page 5/13* ;
- la courbe de l'angle d'envahissement du voilier en fonction du tirant d'eau réel est donnée sur le *document 2 page 5/13*. L'ouverture sur le pont par rapport au référentiel du voilier est positionnée à : $x_f = 7,55$ m ; $y_f = 0,72$ m sur tribord ; $z_f = 2,37$ m ;
- les éléments hydrostatiques du voilier droit, masse volumique de l'eau de mer $1,025$ t/m³, sont donnés sur le *document 3 page 6/13* ;
- la masse volumique de l'eau de mer est de $1,025$ t/m³.

À partir du *document 1 page 5/13*, du *document 2 page 5/13*, du *document 3 page 6/13* du *document 4 page 7/13* et du *document 5 pages 8/13 à 11/13*, on demande de calculer :

Question 1 : le déplacement du voilier dans la condition de charge maximale.

Question 2 : la position du centre de gravité du voilier par rapport au référentiel.

Question 3 : le tirant d'eau du voilier par rapport au référentiel, puis le tirant d'eau réel.

Question 4 : l'assiette du voilier.

Question 5 : les tirants d'eau avant et arrière réels du voilier.

Question 6 : la distance métacentrique transversale corrigée des carènes liquides.

Question 7 : la gîte du voilier.

Question 8 : à l'aide de la norme ISO 12217-2, *document 5 page 8/13*, relever les valeurs réglementaires de la hauteur d'envahissement requise et de l'angle d'envahissement requis.

Question 9 : calculer la hauteur d'envahissement.

Question 10 : calculer l'angle d'envahissement à l'aide de la courbe d'envahissement donnée sur le *document 2 page 5/13*.

Question 11 : conclure en comparant les valeurs calculées du voilier aux questions 9 et 10 avec les valeurs réglementaires de la question 8.

Quels que soient les résultats trouvés aux questions 1 et 2, on prendra une position verticale du centre de gravité de **VCG = 1 m** (en tenant compte des pertes de stabilité par carènes liquides) et un déplacement de **34,649 tonnes**.

Question 12 : à l'aide des courbes pantocarènes données sur le *document 4, page 7/13*, calculer les valeurs des KN, puis les valeurs des bras de levier de redressement (GZ) pour le cas de chargement étudié.

Question 13 : 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 0,1 mètre.

Question 14 : en déduire l'angle de disparition de stabilité (angle de chavirement statique) Φ_V .

Question 15 : calculer la valeur réglementaire de l'angle de disparition de stabilité requis, à l'aide du document 5 page 9/13 de la norme ISO 12217-2.

Question 16 : conclure en comparant la valeur calculée du voilier à la question 14 avec la valeur réglementaire calculée à la question 15.

II. Vérification réglementaire de la catégorie de navigation.

Objectif : Déterminer le STIX du voilier permettant de valider la catégorie de navigation pour la condition minimale de navigation.

Données :

- la masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,025 \text{ t/m}^3$;
- la masse du voilier en condition minimale de navigation $m_{\text{MOC}} = 31\,293 \text{ kg}$ et la position du centre de gravité (CG) est de : $\text{LCG} = 8,14 \text{ m}$; $\text{TCG} = 0,013 \text{ m}$; $\text{VCG} = 1,012 \text{ m}$;
- la surface de voilure comprend la grand-voile et le génois (main sail & genoa) ;
- la longueur à la flottaison pour la condition minimale de navigation $L_{\text{WL}} = 17,375 \text{ m}$;
- la largeur à la flottaison pour la condition minimale de navigation $B_{\text{WL}} = 4,248 \text{ m}$;
- la hauteur du centre de l'aire de voilure nominale (A_S) au-dessus de la flottaison dans la condition de chargement appropriée $h_{\text{CE}} = 11,85 \text{ m}$;
- la hauteur de la flottaison dans la condition de chargement appropriée au-dessus du centre des aires du profil immergé incluant la quille et le ou les gouvernails du voilier $h_{\text{LP}} = 0,886 \text{ m}$;
- l'angle d'envahissement jusqu'à une ouverture quelconque d'envahissement sera pris égal à : $\Phi_{\text{DH}} = 62,5 \text{ degrés}$;
- l'angle d'envahissement du cockpit non rapidement autovideur $\Phi_{\text{DC}} = 69 \text{ degrés}$;
- l'angle de gîte, pour lequel les ouvertures qui n'ont pas de moyen de fermeture correspondant au degré d'étanchéité 3 de l'ISO 12216, $\Phi_{\text{DA1}} = 74 \text{ degrés}$;
- le volume total de flottabilité du voilier $V_B = 46,5 \text{ m}^3$;
- $GZ_{90} > 0$ lorsque que le voilier est entièrement envahi par l'eau.

À partir du *document 5 pages 8/13 à 11/13* et du *document 6 pages 12/13 et 13/13*, on demande de calculer :

Question 17 : le facteur de stabilité dynamique (FDS).

Question 18 : le facteur de récupération après un retournement (FIR).

Question 19 : le facteur de récupération du bateau couché (FKR).

Question 20 : le facteur déplacement-longueur (FDL).

Question 21 : le facteur bau-déplacement (FBD).

Question 22 : le facteur de moment dû au vent (FWM).

Question 23 : le facteur d'envahissement (FDF).

Question 24 : l'indice de stabilité (STIX).

Question 25 : conclure par rapport à l'exigence de la norme ISO 12217-2 du *document 5 page 11/13*.

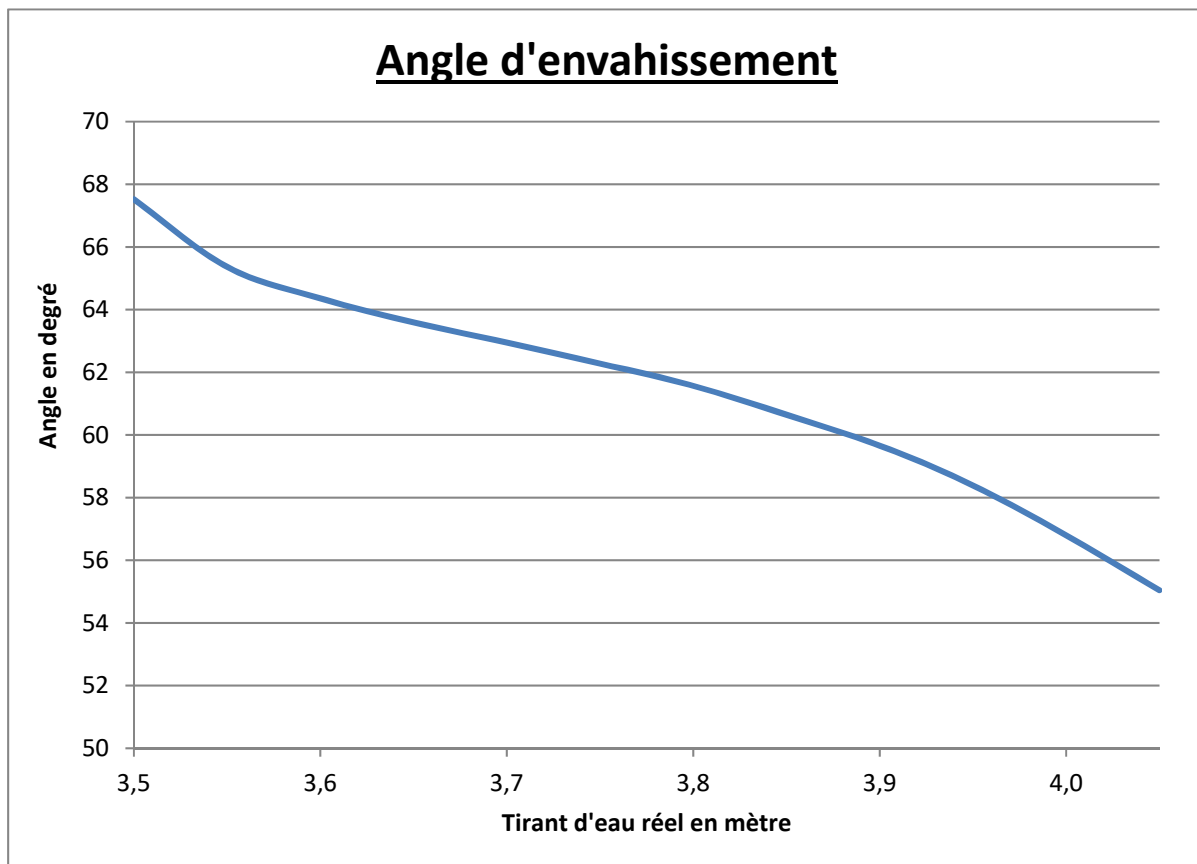
Document 1

Cas de chargement du voilier dans la condition de charge maximale :

<u>Désignation</u>	Masse (t)	Centre de gravité par rapport à la PPAR (m)	Moments par rapport à la PPAR (t.m)	Centre de gravité par rapport à la CL (m)	Moments par rapport à la CL (t.m)	Centre de gravité par rapport à la OH (m)	Moments par rapport à la OH (t.m)	Carènes liquides (t.m)
Voilier lège	30,300	8,152		0,022		1,028		
Port en lourd	4,349	7,620		-0,090		0,872		0,29
Masse totale								

Document 2

Courbe de l'angle d'envahissement du voilier en fonction du tirant d'eau réel.



Document 3

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

masse volumique 1,025 t/m³

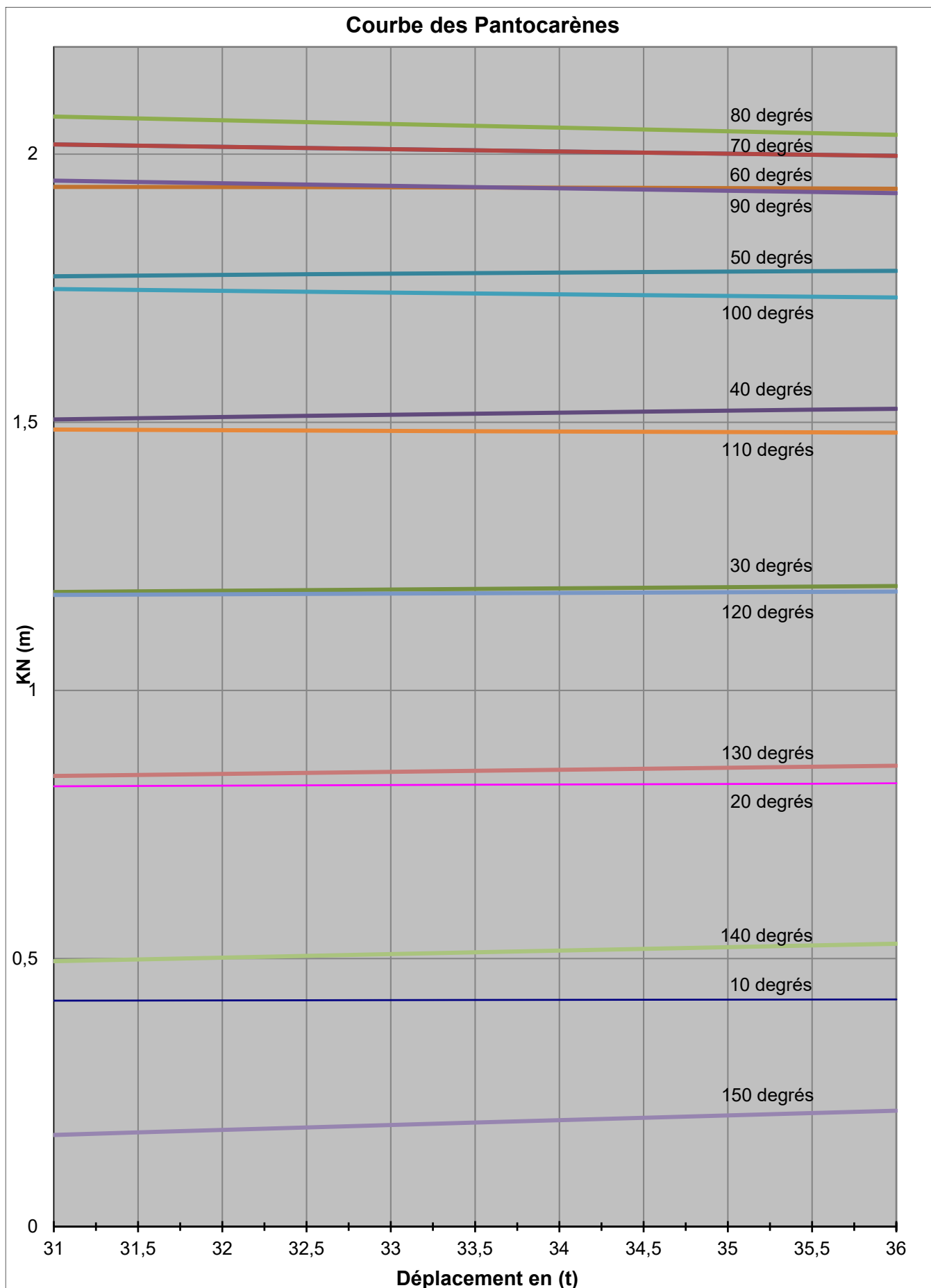
	HMP BL (m)	HAP BL (m)	HFP BL (m)	DSPL (t)	VOL (m ³)	LCB (m)	TCB (m)	VCB (m)	LCB F(%)	W.S. Area (m ²)
1	0.900	0.900	0.900	28.512	27.817	8.274	0.000	0.485	53.52	0.000
2	0.920	0.920	0.920	29.579	28.857	8.252	0.000	0.500	53.52	0.000
3	0.940	0.940	0.940	30.660	29.912	8.231	0.000	0.515	53.51	0.000
4	0.960	0.960	0.960	31.757	30.982	8.211	0.000	0.530	53.51	0.000
5	0.980	0.980	0.980	32.868	32.067	8.190	0.000	0.545	53.50	0.000
6	1.000	1.000	1.000	33.995	33.166	8.170	0.000	0.560	53.49	0.000
7	1.020	1.020	1.020	35.136	34.279	8.151	0.000	0.575	53.53	0.000
8	1.040	1.040	1.040	36.290	35.405	8.132	0.000	0.589	53.71	0.000
9	1.060	1.060	1.060	37.456	36.543	8.113	0.000	0.603	53.88	0.000
10	1.080	1.080	1.080	38.634	37.692	8.096	0.000	0.618	54.04	0.000

	HMP BL (m)	B ² area (m ²)	WPA (m ²)	LCF (m)	TPC (t/cm)	MCT (t.m)	KMT (m)	KML (m)	T Inertia (m ⁴)	L Inertia (m ⁴)
1	0.900	3.681	51.617	7.691	0.52908	0.49	2.427	31.363	54.030	858.952
2	0.920	3.761	52.378	7.667	0.53687	0.51	2.432	31.083	55.736	882.535
3	0.940	3.841	53.124	7.644	0.54452	0.52	2.435	30.808	57.437	906.129
4	0.960	3.922	53.866	7.621	0.55212	0.53	2.439	30.541	59.144	929.784
5	0.980	4.003	54.591	7.598	0.55956	0.55	2.443	30.279	60.848	953.468
6	1.000	4.085	55.314	7.575	0.56697	0.56	2.446	30.024	62.557	977.200
7	1.020	4.168	56.005	7.557	0.57405	0.57	2.449	29.736	64.266	999.632
8	1.040	4.251	56.594	7.550	0.58009	0.58	2.451	29.312	65.940	1016.951
9	1.060	4.335	57.158	7.546	0.58587	0.59	2.453	28.871	67.600	1032.993
10	1.080	4.420	57.696	7.544	0.59139	0.60	2.455	28.426	69.241	1048.126

	HMP BL (m)	Cb	Cp	L V ^{1/3}	CW	CB2	CWS	LWL (m)	BWL (m)	TOA (m)
1	0.900	0.49604	0.44117	5.65373	0.93824	1.12436	0.00000	17.131	3.637	3.880
2	0.920	0.50058	0.44544	5.61639	0.93029	1.12379	0.00000	17.227	3.637	3.900
3	0.940	0.50507	0.44964	5.58005	0.92296	1.12328	0.00000	17.322	3.637	3.920
4	0.960	0.43631	0.45364	5.54460	0.91638	0.96179	0.00000	17.414	4.248	3.940
5	0.980	0.44004	0.45761	5.51033	0.91019	0.96161	0.00000	17.506	4.248	3.960
6	1.000	0.44370	0.46134	5.47724	0.90457	0.96176	0.00000	17.598	4.248	3.980
7	1.020	0.44773	0.46544	5.43995	0.89987	0.96196	0.00000	17.671	4.248	4.000
8	1.040	0.45287	0.47064	5.38967	0.89642	0.96225	0.00000	17.698	4.248	4.020
9	1.060	0.45793	0.47563	5.34096	0.89306	0.96279	0.00000	17.724	4.248	4.040
10	1.080	0.46292	0.48049	5.29374	0.88975	0.96344	0.00000	17.749	4.248	4.060

Calculated for trim = 0 m ; sea water density = 1,025

Document 4
Courbe des KN.



Document 5 : extrait norme Européenne ISO 12217-2

4. Symboles.

Tableau 1 — Symboles

Symbole	Unité	Signification
Φ	degré (°)	Angle de gîte
Φ_D	degré (°)	Angle effectif d'envahissement
$\Phi_{D(R)}$	degré (°)	Angle d'envahissement requis, voir 6.2.3
Φ_{DC}	degré (°)	Angle d'envahissement du cockpit non rapidement autovideur
Φ_{DA}	degré (°)	Angle d'envahissement jusqu'à une quelconque ouverture d'envahissement
Φ_{DA1}	degré (°)	L'angle de gîte pour lequel les ouvertures qui n'ont pas de moyen de fermeture correspondant au degré d'étanchéité 3 de l'ISO 12216
Φ_{DH}	degré (°)	Angle d'envahissement jusqu'à une quelconque ouverture de descente principale
Φ_{GZmax}	degré (°)	Angle de gîte correspondant au moment ou au bras de levier de redressement maximal
Φ_V	degré (°)	Angle de disparition de stabilité, de chavirement statique
$\Phi_{V(R)}$	degré (°)	Angle de disparition de stabilité requis, voir 6.3
Δ_{GZ}	m.degré	Surface positive sous la courbe des bras de leviers de redressement, voir 6.4.2
A_s	m ²	Surface de voilure nominale au près
m	kg	Masse du bateau dans la condition de chargement appropriée
m_{LCC}	kg	Masse du bateau en condition légère
m_{LDC}	kg	Masse du bateau en charge
m_{MOC}	kg	Masse du bateau en condition minimale de navigation
L_H	m	Longueur de coque conformément à l'ISO 8666
L_{WL}	m	Longueur de flottaison dans la condition de chargement appropriée conformément à l'ISO 8666
B_H	m	Largeur de coque conformément à l'ISO 8666
h_{CE}	m	Hauteur du centre de l'aire A_s au-dessus de la flottaison dans la condition de chargement appropriée
h_{LP}	m	Hauteur de la flottaison dans la condition de chargement appropriée au-dessus du centre des aires du profil immergé incluant la quille et le ou les gouvernails

6.2. Exigence pour les bateaux monocoques.

6.2.2. Hauteur d'envahissement.

En fonction de la catégorie de conception, la hauteur d'envahissement minimale requise est déterminée en utilisant la Figure 2 ci-dessous qui est uniquement basée sur la longueur du bateau.

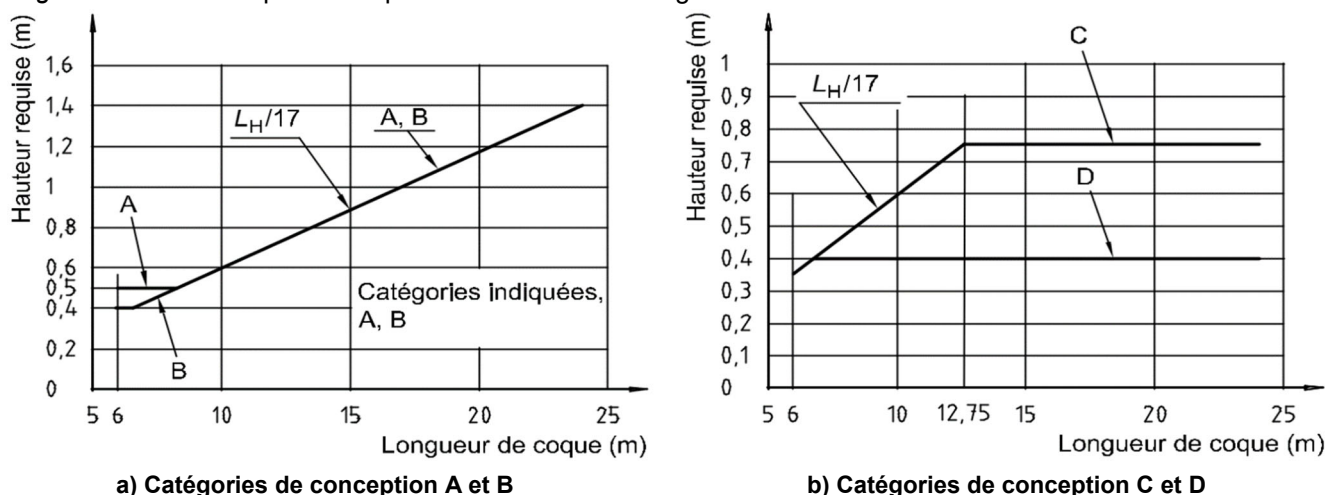


Figure 2 — Hauteur d'envahissement requise

6.2.3. Angle d'envahissement.

Cette exigence a pour but de montrer qu'il y a une marge suffisante sur la gîte avant que des quantités significatives d'eau n'envahissent le bateau.

L'angle d'envahissement jusqu'à l'une quelconque des ouvertures d'envahissement (Φ_{DA}) doit excéder l'angle d'envahissement requis, $\Phi_{D(R)}$, tel qu'indiqué dans le Tableau 3 page 9/13.

Tableau 3 — Angle d'envahissement requis

Catégorie de conception	A et B	C	D
Angle d'envahissement requis $\Phi_{D(R)}$	40°	35°	30°

6.3. Angle de disparition de stabilité.

6.3.1 Exigence normale.

Ces exigences ont pour but de s'assurer d'un minimum absolu de capacité à survivre dans des conditions sévères. Les bateaux aspirant à la catégorie de conception A ou B doivent être conformes aux exigences données dans le *Tableau 4* ci-dessous.

Tableau 4 — Angle de disparition de stabilité requis

Catégorie de conception	Angle de disparition de stabilité requis ($\Phi_{V(R)}$)
A	$m > 3\,000\text{ kg}$, $\Phi_{V(R)} = (130 - 0,002\text{ m})$ mais toujours $\geq 100^\circ$
B	$m > 1\,500\text{ kg}$, $\Phi_{V(R)} = (130 - 0,005\text{ m})$ mais toujours $\geq 95^\circ$
C	$\Phi_{V(R)} = 90^\circ$
D	$\Phi_{V(R)} = 75^\circ$

6.3.2 Exigence alternative pour les catégories de conception A et B.

En alternative à 6.3.1, les bateaux peuvent obtenir la catégorie de conception A ou B à condition que :

- $\Phi_V \geq 90^\circ$ pour la catégorie de conception A, ou $\Phi_V \geq 75^\circ$ pour la catégorie de conception B.
- si le bateau envahi ou retourné est totalement immergé, le volume de flottabilité, exprimé en mètres cubes (m^3), fourni par la structure de la coque, les équipements et les éléments de flottabilité, est supérieur au nombre représenté par $m_{LDC}/850$, garantissant ainsi qu'il est suffisant pour supporter la masse du bateau en charge avec une marge de sécurité. On ne doit pas tenir compte du volume d'air emprisonné (sauf celui des réservoirs d'air et des compartiments étanches prévus à cet effet).

6.4. Indice de stabilité (STIX).

6.4.1 Méthode.

L'indice de stabilité est une méthode pour obtenir une évaluation globale des propriétés de stabilité des voiliers monocoques. L'indice consiste en un facteur de longueur qui peut être modifié par sept facteurs qui prennent en compte différents aspects des propriétés de stabilité et de flottabilité.

Chaque facteur individuel doit être calculé selon les indications données en 6.4.2 à 6.4.8, en utilisant la valeur de chaque paramètre dans la condition de chargement appropriée, ensuite la valeur du STIX et les catégories de conception associées doivent être déterminées conformément à 6.4.9.

Chaque facteur modificatif peut être obtenu de trois manières différentes :

- en prenant les valeurs minimales autorisées, sans calcul supplémentaire ;
- en utilisant des méthodes de calcul approchées ;
- à partir de calculs rigoureux.

On notera que chaque facteur est sujet à la fois à une limite supérieure et inférieure.

Toutes les propriétés du bras de levier de redressement correspondent à celles du bateau dans la condition de déplacement appropriée, modifiées, si nécessaire, pour les bateaux ayant des provisions pour un ballastage ou un lestage asymétrique. La catégorie de conception la plus avantageuse est obtenue si ces propriétés sont déterminées par des calculs rigoureux. L'angle d'envahissement peut être obtenu soit à partir de l'annexe normative B (qui donne une méthode de calcul approchée), soit en prenant la limite inférieure du facteur de STIX. Toute combinaison de calculs rigoureux ou approchés est autorisée.

6.4.2 Facteur de stabilité dynamique (FDS).

Ce facteur représente l'énergie de redressement relative qu'il faut vaincre avant qu'un incident de stabilité ne se produise.

$$\text{FDS} = \left(\frac{A_{GZ}}{15,81 \sqrt{L_H}} \right) \text{ mais FDS ne doit jamais être pris inférieur à } 0,5 \text{ ou supérieur à } 1,5$$

où : A_{GZ} est l'aire positive inscrite sous la courbe des bras de levier de redressement, en mètres degrés, pour la condition de chargement appropriée, comme cela est précisé ci-dessous :

de la position droite jusqu'à Φ_V , si $\Phi_D \geq \Phi_V$;

de la position droite jusqu'à Φ_D , si $\Phi_D < \Phi_V$;

Φ_D sera pris comme Φ_{DC} ou Φ_{DH} , la plus faible valeur étant retenue.

L_H longueur de coque en mètres.

6.4.3 Facteur de récupération après un retournement (FIR).

Ce facteur représente la capacité d'un bateau à récupérer sans aide d'un retournement.

$$FIR = \frac{\Phi_V}{\left(125 - \frac{m}{1600}\right)} \quad \text{si } m < 40\,000$$

$$FIR = \frac{\Phi_V}{100} \quad \text{si } m \geq 40\,000$$

où m est la masse du bateau dans la condition de chargement appropriée, en kilogrammes ;
mais FIR ne doit jamais être pris inférieur à 0,4 ou supérieur à 1,5.

6.4.4 Facteur de récupération du bateau couché (FKR).

Ce facteur représente la capacité du bateau à rejeter l'eau de ses voiles et à se relever après qu'il a été couché.
Calculer :

$$FR = \left(\frac{GZ_{90} \cdot m}{2 \cdot A_S \cdot h_{CE}} \right)$$

où

m est la masse du bateau dans la condition de chargement appropriée, en kilogrammes ;

GZ_{90} est le bras de levier de redressement à 90° de gîte, en mètres, dans la condition de chargement appropriée ;

A_S Surface de voilure nominale en m^2 conformément à l'ISO 8666.

h_{CE} est la hauteur du centre de la surface nominale de voilure (A_S) au-dessus de la flottaison lorsque le bateau est droit, en mètres, pour le bateau de masse m ;

Si $F_R \geq 1,5$ $FKR = 0,875 + 0,0833 \cdot F_R$

Si $F_R < 1,5$ $FKR = 0,5 + 0,333 \cdot F_R$

Si $\Phi_V < 90^\circ$ $FKR = 0,5$

mais FKR ne doit jamais être pris inférieur à 0,5 ou supérieur à 1,5.

6.4.5 Facteur déplacement-longueur (FDL).

Ce facteur rend compte de l'effet favorable d'un déplacement plus lourd à longueur égale, lequel augmente la résistance au chavirage.

$$FDL = \left\{ 0,6 + \left[\frac{15 \cdot m \cdot F_L}{L_{BS}^3 \cdot (333 - 8 \cdot L_{BS})} \right] \right\}^{0,5}$$

mais FDL ne doit jamais être pris inférieur à 0,75 ou supérieur à 1,25 ;

où

L_{BS} est égal à : $(2L_{WL} + L_H)/3$

F_L est égal à : $(L_{BS}/11)^{0,2}$

m est la masse du bateau dans la condition de chargement appropriée, en kilogrammes.

6.4.6 Facteur bau-déplacement (FBD).

Ce facteur rend compte de la vulnérabilité accrue au chavirage par mer de travers des bateaux ayant des murailles fortement évasées et un bau important par rapport à leur déplacement.

Calculer :

$$F_B = \frac{3,3 \cdot B_H}{(0,03 \cdot m)^{\frac{1}{3}}}$$

où m est la masse du bateau dans la condition de chargement appropriée, en kilogrammes ;

$$\text{Si } FB > 2,20 \quad FBD = \left[\frac{13,31 \cdot B_{WL}}{(B_H \cdot F_B^3)} \right]^{0,5}$$

$$\text{Si } FB < 1,45 \quad FBD = \left[\frac{B_{WL} \cdot F_B^2}{(1,682 \cdot B_H)} \right]^{0,5}$$

$$\text{Sinon} \quad FBD = 1,118 \left(\frac{B_{WL}}{B_H} \right)^{0,5}$$

mais FBD ne doit jamais être pris inférieur à 0,75 ni supérieur à 1,25.

6.4.7 Facteur de moment dû au vent (FWM).

Pour les bateaux où Φ_D ou Φ_{DH} est inférieur à 90° , ce facteur représente le risque d'envahissement survenant lorsqu'une rafale de vent couche un bateau dont la voilure n'est pas arisée.

$$\text{Si } \Phi_D \geq 90^\circ \quad FWM = 1$$

$$\text{Si } \Phi_D < 90^\circ \quad FWM = v_{AW} / 17$$

mais FWM ne doit jamais être pris inférieur à 0,5 ni supérieur à 1,0

où v_{AW} est la vitesse moyenne du vent apparent, en mètres par seconde, nécessaire pour faire gîter le bateau à Φ_D lorsqu'il porte toute sa toile (c'est-à-dire avec sa voilure non arisée) ;

$$v_{AW} = \left\{ \frac{13 \cdot m \cdot GZ_D}{[A_S \cdot (h_{CE} + h_{LP}) \cdot |\cos \Phi_D|^{1,3}]} \right\}^{0,5}$$

où

GZ_D est le bras de levier de redressement lorsque l'angle de gîte est égal à Φ_D , en mètres ;

Φ_D est la plus petite des deux valeurs suivantes: Φ_{DC} ou Φ_{DH} ;

$h_{CE} + h_{LP}$ est la distance verticale, en mètres, entre les centres de surface respectifs des profils des œuvres vives et des œuvres mortes, en incluant les voiles, les mâts et la coque, avec les dérives en position basse, le bateau étant en position droite.

6.4.8 Facteur d'envahissement (FDF).

Ce facteur représente le risque d'envahissement d'un bateau lorsqu'il est couché.

$$FDF = \Phi_D / 90 \quad \text{mais FDF ne doit jamais être pris inférieur à 0,5 ou supérieur à 1,25}$$

où Φ_D doit être pris comme la plus faible des valeurs suivantes : Φ_{DC} , Φ_{DH} , et Φ_{DA1} .

Φ_{DA1} est l'angle de gîte pour lequel les ouvertures qui n'ont pas de moyen de fermeture correspondant au degré d'étanchéité 3 de l'ISO 12216 ayant une surface totale combinée, en millimètres carrés, supérieure au nombre $50L_H^2$ commencent à être immergées.

6.4.9 Calcul de l'indice de stabilité (STIX).

L'indice de stabilité (STIX) est déterminé par les formules :

$$STIX = (7 + 2,25 \cdot L_{BS}) \cdot (FDS \cdot FIR \cdot FKR \cdot FDL \cdot FBD \cdot FWM \cdot FDF)^{0,5} + \delta$$

où

$$L_{BS} = (2L_{WL} + L_H) / 3, \text{ en mètres ;}$$

$\delta = 5$ si le bateau a une réserve de flottabilité conforme à 6.3.2 b), et si également $GZ_{90} > 0$ lorsqu'il est entièrement envahi par l'eau ;

$\delta = 0$ dans les autres cas.

L'indice de stabilité STIX doit être supérieur à la valeur exigée pour la catégorie de conception, $STIX_{(R)}$, donnée dans le *Tableau 5*.

Tableau 5 — Exigences pour STIX

Catégorie de conception	A	B	C	D
STIX doit être supérieur à $STIX_{(R)}$ =	32	23	14	5

Document 6 :

Résultats obtenus à partir d'un logiciel de stabilité du voilier chargé dans les conditions minimales de navigation.

Stability Forms Coque | Voilier-65-pieds, Loading Condition: Current Load
Variable | Real FSM, Heel on PS, K Point at: 0.000 m, Water Density: 1.0250, Length in m, Weights in t

Status:	Heel:	AP Height	FP Height:	TCB:	VCB:	LCB:	KN:	MS:	GZ:	Area:
	-20.000	0.809	0.906	-0.646	0.637	8.143	-0.825	0.013	-0.491	0.0897
	-17.500	0.848	0.911	-0.570	0.611	8.142	-0.728	0.009	-0.436	0.0695
	-15.000	0.881	0.915	-0.493	0.589	8.141	-0.628	0.006	-0.379	0.0518
	-12.500	0.909	0.919	-0.413	0.569	8.140	-0.527	0.003	-0.320	0.0365
	-10.000	0.932	0.921	-0.332	0.553	8.140	-0.423	0.002	-0.261	0.0238
	-7.500	0.949	0.923	-0.250	0.540	8.139	-0.319	0.001	-0.200	0.0138
	-5.000	0.962	0.924	-0.168	0.531	8.139	-0.213	0.000	-0.138	0.0064
	-2.500	0.969	0.925	-0.084	0.526	8.139	-0.107	0.000	-0.076	0.0018
	0.000	0.972	0.925	0.000	0.524	8.139	0.000	0.000	-0.013	-0.0002
Ship Balance	0.519	0.971	0.925	0.017	0.524	8.139	0.022	0.000	0.000	0.0000
	2.500	0.969	0.925	0.084	0.526	8.139	0.107	0.000	0.050	0.0006
	5.000	0.962	0.924	0.168	0.531	8.139	0.213	0.000	0.112	0.0042
	7.500	0.949	0.923	0.250	0.540	8.139	0.319	-0.001	0.174	0.0104
	10.000	0.932	0.921	0.332	0.553	8.140	0.423	-0.002	0.235	0.0193
	12.500	0.909	0.919	0.413	0.569	8.140	0.527	-0.003	0.295	0.0309
	15.000	0.881	0.915	0.493	0.589	8.141	0.628	-0.006	0.354	0.0450
	17.500	0.848	0.911	0.570	0.611	8.142	0.728	-0.009	0.411	0.0617
	20.000	0.809	0.906	0.646	0.637	8.143	0.825	-0.013	0.466	0.0808
	22.500	0.764	0.900	0.720	0.666	8.144	0.920	-0.017	0.520	0.1024
	25.000	0.711	0.892	0.791	0.697	8.146	1.012	-0.023	0.572	0.1262
	27.500	0.652	0.883	0.861	0.731	8.147	1.101	-0.029	0.623	0.1523
	30.000	0.585	0.872	0.928	0.769	8.149	1.188	-0.036	0.671	0.1805
	32.500	0.508	0.859	0.994	0.808	8.152	1.273	-0.043	0.718	0.2108
	35.000	0.422	0.844	1.058	0.851	8.154	1.354	-0.050	0.763	0.2431
	37.500	0.325	0.825	1.120	0.896	8.157	1.434	-0.057	0.807	0.2774
	40.000	0.216	0.803	1.180	0.945	8.160	1.511	-0.062	0.851	0.3136
	42.500	0.092	0.776	1.239	0.997	8.164	1.586	-0.068	0.893	0.3516
	45.000	-0.045	0.745	1.293	1.049	8.168	1.656	-0.075	0.932	0.3914
	47.500	-0.199	0.709	1.344	1.102	8.172	1.720	-0.085	0.965	0.4328
	50.000	-0.370	0.668	1.390	1.154	8.177	1.778	-0.098	0.994	0.4755
	52.500	-0.562	0.619	1.431	1.207	8.181	1.829	-0.114	1.018	0.5194
	55.000	-0.778	0.562	1.469	1.259	8.186	1.874	-0.132	1.037	0.5643
	57.500	-1.025	0.496	1.503	1.309	8.191	1.911	-0.154	1.051	0.6098
	60.000	-1.310	0.416	1.532	1.358	8.196	1.943	-0.178	1.060	0.6559
	62.500	-1.641	0.319	1.558	1.406	8.201	1.967	-0.205	1.063	0.7022
	65.000	-2.032	0.197	1.581	1.453	8.206	1.985	-0.234	1.062	0.7486
	67.500	-2.502	0.044	1.602	1.501	8.211	1.999	-0.263	1.059	0.7949
	70.000	-3.079	-0.140	1.623	1.558	8.220	2.019	-0.282	1.063	0.8412
	72.500	-3.808	-0.382	1.644	1.621	8.225	2.040	-0.295	1.071	0.8877
	75.000	-4.766	-0.718	1.664	1.686	8.225	2.059	-0.306	1.078	0.9346
GZ Max	76.524	-5.579	-1.004	1.673	1.724	8.227	2.066	-0.314	1.079	0.9633
	77.500	-6.100	-1.187	1.679	1.749	8.229	2.070	-0.320	1.080	0.9817
	80.000	-8.094	-1.906	1.689	1.803	8.232	2.069	-0.342	1.070	1.0286
	82.500	-11.415	-3.132	1.695	1.844	8.236	2.049	-0.378	1.044	1.0747
	85.000	-18.041	-5.609	1.699	1.879	8.239	2.020	-0.419	1.011	1.1196
	87.500	-37.873	-13.066	1.701	1.914	8.241	1.986	-0.460	0.974	1.1629
	89.900	-988.83	-371.51	1.701	1.945	8.243	1.948	-0.500	0.936	1.2029
	92.500	41.329	16.828	1.700	1.979	8.245	1.903	-0.543	0.892	1.2444
	95.000	21.498	9.371	1.698	2.010	8.246	1.854	-0.585	0.847	1.2823
	97.500	14.874	6.892	1.695	2.040	8.247	1.802	-0.626	0.800	1.3183
	100.000	11.553	5.657	1.690	2.070	8.247	1.745	-0.666	0.751	1.3521
	102.500	9.553	4.920	1.684	2.099	8.246	1.685	-0.706	0.699	1.3837

Coque | Current Load | Current Damage:

MAAT Hydro Turbo++ Rev. 9.0.0

Stability Forms Coque | Voilier-65-pieds, Loading Condition: Current Load
 Variable | Real FSM, Heel on PS, K Point at: 0.000 m, Water Density: 1.0250, Length in m, Weights in t

Status:	Heel:	AP Height	FP Height:	TCB:	VCB:	LCB:	KN:	MS:	GZ:	Area:
	105.000	8.214	4.432	1.677	2.127	8.245	1.620	-0.744	0.646	1.4131
	107.500	7.252	4.086	1.669	2.155	8.244	1.553	-0.782	0.592	1.4401
	110.000	6.526	3.829	1.660	2.182	8.242	1.482	-0.818	0.536	1.4647
	112.500	5.958	3.631	1.650	2.208	8.240	1.409	-0.853	0.479	1.4868
	115.000	5.501	3.474	1.638	2.234	8.237	1.333	-0.886	0.421	1.5065
	117.500	5.124	3.347	1.626	2.260	8.234	1.254	-0.917	0.363	1.5236
	120.000	4.807	3.243	1.612	2.286	8.230	1.174	-0.947	0.304	1.5381
	122.500	4.537	3.156	1.597	2.311	8.226	1.091	-0.974	0.245	1.5501
	125.000	4.303	3.083	1.580	2.336	8.221	1.007	-0.998	0.186	1.5595
	127.500	4.100	3.021	1.562	2.361	8.217	0.922	-1.020	0.127	1.5663
	130.000	3.921	2.967	1.542	2.386	8.212	0.836	-1.039	0.069	1.5706
	132.500	3.762	2.920	1.520	2.410	8.206	0.750	-1.055	0.012	1.5724
	135.000	3.620	2.879	1.497	2.435	8.201	0.663	-1.068	-0.043	1.5717
	137.500	3.493	2.843	1.471	2.460	8.196	0.577	-1.077	-0.097	1.5687
	140.000	3.379	2.811	1.443	2.485	8.190	0.492	-1.082	-0.149	1.5633
	142.500	3.275	2.784	1.412	2.510	8.185	0.408	-1.083	-0.198	1.5557
	145.000	3.181	2.759	1.378	2.535	8.180	0.325	-1.079	-0.244	1.5461
	147.500	3.096	2.738	1.340	2.560	8.175	0.246	-1.070	-0.287	1.5345
	150.000	3.019	2.720	1.298	2.586	8.169	0.169	-1.055	-0.326	1.5211
	152.500	2.948	2.704	1.251	2.611	8.165	0.096	-1.034	-0.360	1.5061
	155.000	2.885	2.690	1.198	2.637	8.160	0.028	-1.006	-0.387	1.4899
	157.500	2.828	2.679	1.139	2.663	8.155	-0.033	-0.970	-0.409	1.4725
	160.000	2.777	2.670	1.072	2.689	8.151	-0.088	-0.925	-0.422	1.4544
	162.500	2.732	2.664	0.995	2.715	8.147	-0.133	-0.869	-0.425	1.4359
	165.000	2.693	2.660	0.907	2.741	8.144	-0.167	-0.801	-0.416	1.4176
	167.500	2.661	2.657	0.805	2.765	8.140	-0.188	-0.718	-0.394	1.3999
	170.000	2.635	2.657	0.687	2.789	8.138	-0.192	-0.617	-0.355	1.3835
	172.500	2.615	2.659	0.548	2.810	8.135	-0.177	-0.496	-0.296	1.3693
	175.000	2.603	2.661	0.386	2.828	8.134	-0.139	-0.352	-0.214	1.3582
	177.500	2.600	2.662	0.200	2.840	8.133	-0.076	-0.183	-0.107	1.3512
	179.994	2.600	2.663	0.000	2.844	8.133	0.000	0.000	0.013	1.3491

Coque | Current Load | Current Damage:

MAAT Hydro Turbo++ Rev. 9.0.0