

**BREVET DE TECHNICIEN  
SUPÉRIEUR**

**CONSTRUCTION NAVALE**

SESSION 2013

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.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il(elle) le signale très lisiblement sur la copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il est demandé de la(les) mentionner explicitement.*

Composition du sujet :

	<u>Format</u>	
Présentation et mise en situation	A4	Pages 1/2 à 2/2
Texte du sujet	A4	Pages 1/3 à 3/3

Documents techniques :

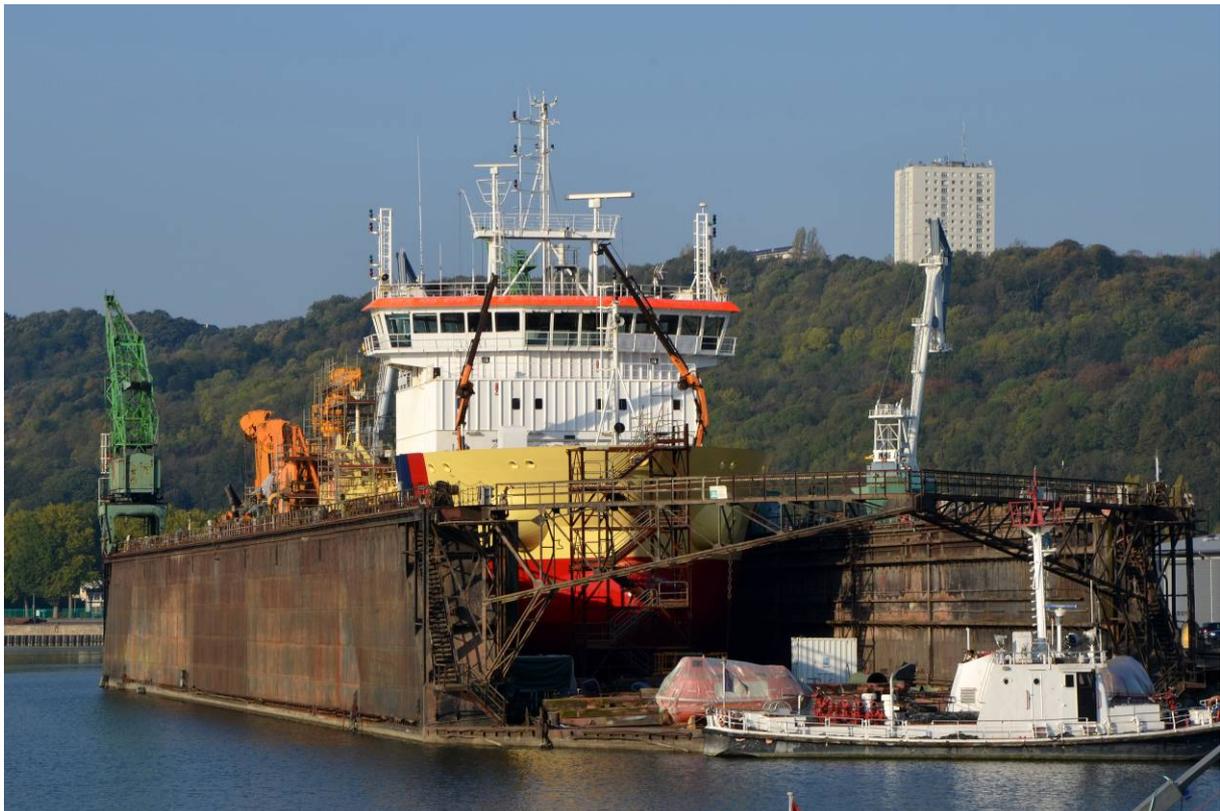
- |   |    |                              |
|---|----|------------------------------|
| ▪ Eléments hydrostatiques de la barge.    | A4 | Document 1 – pages 1/2 à 2/2 |
| ▪ Extraits du règlement du Bureau Veritas | A4 | Document 2 – pages 1/2 à 2/2 |

Le sujet comporte 3 **parties indépendantes** :

**Partie I :** Etude hydrostatique du dock 7 points

**Partie II :** Etude du dock pendant la mise au sec de la drague 26 points

**Partie III :** Vérification de la structure du dock aux efforts d'ensemble 7 points



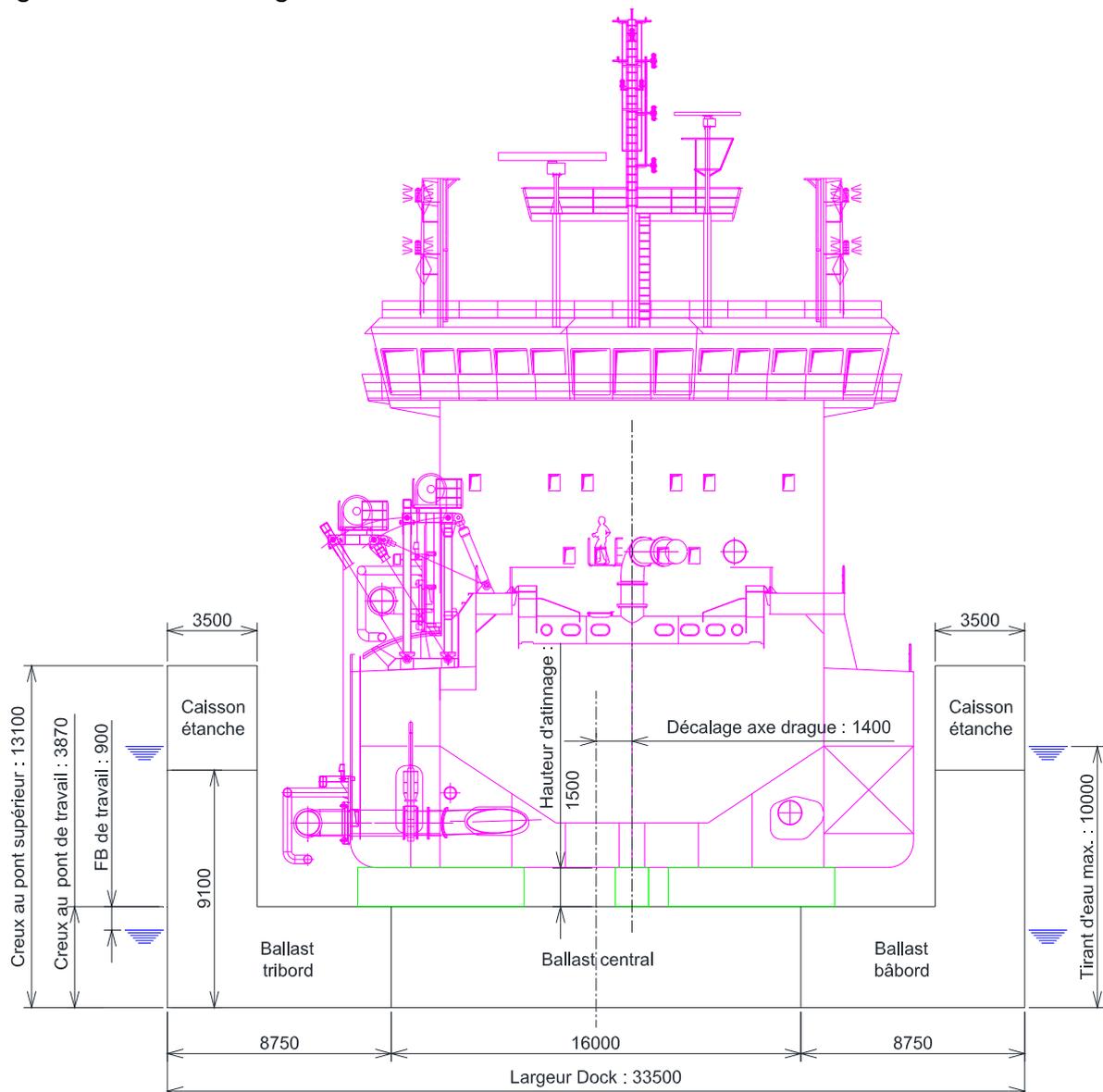
Auteur "Pline" - licence [Creative Commons](#) (libre de partager, de copier, distribuer et transmettre cette œuvre)

## Etude de la mise au sec de la drague "Daniel Laval" sur le dock flottant de Rouen

### Présentation et mise en situation :

La drague "Daniel Laval" est mise régulièrement au sec pour la réalisation de l'entretien de la carène. Lors de cette mise au sec, l'armateur souhaite également réaliser des vérifications sur l'élinde (bras latéral servant au dragage) et sa connexion au navire. Ces travaux nécessitent la dépose de l'élinde sur le coté du navire.

La mise au sec est prévue sur le dock flottant du Grand Port Maritime de Rouen ce qui, étant donné ses caractéristiques dimensionnelles, impose de positionner la drague avec un décalage latéral de 1m40 / axe du dock.



Le dock flottant est une structure qui est immergée pour la mise en place des navires. Le système repose sur l'utilisation de ballasts, remplis pour l'immersion du dock et vidés pour la mise au sec du navire.

La drague est mise au sec sur le dock flottant avec les conditions d'attinage suivantes :

- Les tins ont une hauteur de 1,50 m. On négligera dans l'étude demandée leur masse et leur volume.
- La drague est désaxée de 1,40 m par rapport à l'axe du dock coté bâbord afin de permettre de poser sur le dock l'élinde pendant les opérations de maintenance.
- La drague est centrée longitudinalement par rapport à l'axe du dock.

Les caractéristiques principales du dock flottant sont les suivantes :

- Longueur : 180,00 m
- Largeur : 33,50 m
- Largeur du radier : 26,50 m
- Creux au pont supérieur : 13,10 m
- Creux au pont de travail : 3,87 m
- Déplacement lège armé : 7 760,00 t
- Tirant d'eau maxi : 10,00 m
- Position du CdG / PPAR<sub>Dock</sub> : 90,00 m
- Position du CdG / axe central<sub>Dock</sub> : 0,00 m
- Position du CdG / OH<sub>Dock</sub> : 5,38 m

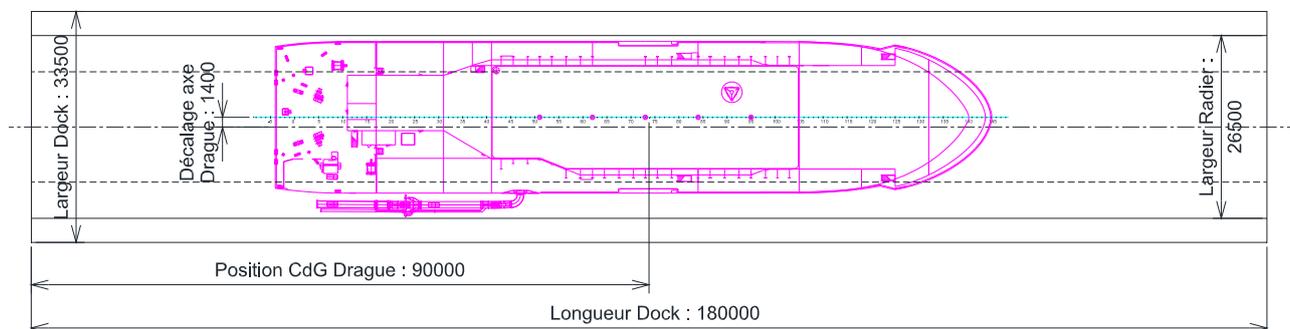
La drague est un navire ayant les caractéristiques principales suivantes :

- Longueur à la flottaison: 104,50 m
- Largeur à la flottaison: 22,00 m
- Creux au pont principal : 7,50 m

Lors de l'opération de mise au sec, la drague est dans la configuration suivante :

- Déplacement Drague : 4 925,00 t
- Position du CdG / PPAR<sub>Drague</sub> : 51,65 m
- Position du CdG / axe central<sub>Drague</sub> : 0,00 m
- Position du CdG / OH<sub>Drague</sub> : 6,20 m
- Tirant d'eau moyen / OH<sub>Drague</sub> : 2,94 m

La masse volumique de l'eau de mer est considérée comme étant égale à 1,025 t/m<sup>3</sup>.  
Le dock est compartimenté en trois grands ballasts : un axial, un bâbord et un tribord.  
Les ballasts sont remplis avec de l'eau de mer.



## **PARTIE I : Etude hydrostatique du dock**

Objectif : Définir les caractéristiques hydrostatiques principales du dock.

**Question I-1 :** Le dock est conçu pour mettre au sec des navires avec, au final, un franc-bord résiduel du pont de travail du dock de 0,9 m.  
Calculer la capacité maximale de levage du dock et vérifier qu'elle est compatible avec le déplacement de la drague.

**Question I-2 :** Définir le tirant d'eau d'immersion du dock dans les configurations suivantes :

- Au moment de l'approche de la drague au-dessus du radier du dock : il est nécessaire de conserver une marge de 900 mm entre le fond de la drague et le haut des tins.
- Au moment où la drague touche la ligne de tins
- Au moment où la drague est complètement sortie de l'eau (niveau haut des tins)
- Au moment final de l'opération (franc bord de travail du dock).

**Question I-3 :** A votre avis, lors de la mise à sec de la drague avec le dock, à quel moment la stabilité transversale du dock sera-t-elle la plus faible ?  
Argumenter votre réponse sans faire de calcul.

## **PARTIE II : Etude du dock pendant la mise au sec de la drague**

Objectif : Vérifier la stabilité transversale du dock pendant la mise au sec de la drague.

Après positionnement de la drague dans le radier, le dock est déballasté. Cette opération est réalisée d'une façon symétrique sur les deux soutes abords jusqu'au moment où la drague touche les tins, puis lorsque la drague commence à sortir de l'eau, il est nécessaire de compenser le désaxage de la drague par une dissymétrie dans les soutes abords.

Afin d'appréhender la stabilité dans cette phase, nous allons calculer le ballastage du dock correspondant à un tirant d'eau intermédiaire de 7,50 m.

**Question II-1 :** Déterminer le tirant d'eau (T) correspondant pour la drague et retrouver à l'aide des tables hydrostatiques de la drague les données suivantes correspondantes (par interpolation linéaire):

- Volume immergé de la carène (VOLT)
- Position verticale du centre de carène (VCB)
- Position verticale du métacentre transversal (KMT)
- Inertie de la surface de flottaison de la drague / axe longitudinal (IX)
- Coefficient de remplissage de la flottaison (CW)

- Question II-2 :** Calculer le volume de carène à ce tirant d'eau en considérant un ensemble solidaire "drague – dock".
- Question II-3 :** Calculer le volume total d'eau de ballastage du dock à ce tirant d'eau.
- Question II-4 :** Calculer le moment inclinant dû au désaxage de la drague sur le dock pour ce tirant d'eau.
- Question II-5 :** Pour la suite du calcul, le moment inclinant dû au décalage de la drague est pris égal à 2000 t.m (valeur arrondie). Définir le volume de remplissage des différents ballasts du dock, en considérant le ballast central rempli complètement, à partir du volume total d'eau calculé à la question II.3 et du moment inclinant à compenser pour conserver le dock sans gîte.
- Question II-6 :** Calculer les hauteurs de remplissage correspondantes pour les trois ballasts.
- Question II-7 :** Définir la position du centre de gravité de la drague dans le référentiel du dock lorsque celle-ci est posée sur les tins (dans la configuration du plan présenté et avec une assiette nulle pour l'ensemble drague-dock en phase finale de mise au sec).
- Question II-8 :** Calculer la position verticale du centre de gravité de l'ensemble solidaire "drague – dock" sans, puis avec l'effet des carènes liquides. Pour cela, vous présenterez sur votre copie vos calculs de la façon suivante :

	Masse (t)	CdG / $0H_{\text{Dock}}$ (m)	Moment / $0H$ (t.m)	Moment dû aux carènes liquides (t.m)
Dock léger armé				
Drague				
Ballast axial				
Ballast bâbord				
Ballast tribord				
<b>TOTAL</b>				

- Question II-9 :** Calculer la position verticale du centre de carène de l'ensemble solidaire "drague – dock".
- Question II-10 :** Calculer l'inertie de flottaison du dock ainsi que sa surface de flottaison.
- Question II-11 :** Calculer la surface de flottaison de la drague à partir du coefficient de remplissage à la flottaison.

- Question II-12 :** Calculer le décalage du barycentre de la surface de flottaison de l'ensemble "drague – dock" vis-à-vis de l'axe du dock.
- Question II-13 :** En déduire le décalage du barycentre de la surface de flottaison de l'ensemble "drague – dock" vis-à-vis de l'axe de la drague.
- Question II-14 :** Calculer l'inertie de la surface de flottaison de l'ensemble drague – dock vis-à-vis de l'axe longitudinal passant par le barycentre de ces deux surfaces.
- Question II-15 :** Calculer le rayon métacentrique transversal de l'ensemble "drague – dock".
- Question II-16 :** En déduire le GMT (avec correction de l'effet des carènes liquides) de l'ensemble solidaire "drague – dock".

### **PARTIE III : Vérification de la structure du dock**

**Objectif :** Vérification à l'aide du règlement du Bureau Veritas des contraintes maximales dues aux efforts de poutre navire.

La structure du dock est réalisée en acier de qualité marine avec une résistance élastique  $R_{eH} = 235 \text{ Mpa}$ .

Le moment d'inertie de la section transversale du dock autour de son axe horizontal neutre,  $I_Y$ , est de  $29,5 \text{ m}^4$  et la position de la fibre neutre est à une distance verticale de  $4,2 \text{ m} / 0H$ .

Le déplacement considéré correspond à celui du tirant d'eau maximum du dock ballasté (pour  $T_{\max} = 10 \text{ m}$ ). Dans cette configuration, la déformation d'ensemble du dock est de type "Contre-arc".

La capacité maximale de levage du dock est considérée égale à  $10\,000 \text{ t}$ .

- Question III-1 :** Calculer le module minimal de résistance de la section de la coupe au maître.
- Question III-2 :** Calculer le moment de flexion sur houle.
- Question III-3 :** Calculer le moment de flexion en eau calme.
- Question III-4 :** Calculer les contraintes d'ensemble au pont supérieur et au fond.
- Question III-5 :** Les contraintes d'ensemble sont-elles acceptables vis-à-vis des exigences réglementaires ?

# CARACTERISTIQUES HYDROSTATIQUES DE LA DRAGUE "DANIEL LAVAL"

## EXPLANATIONS OF SYMBOLS

T	draught	m
VOLT	total volume	m <sup>3</sup>
DISP	total displacement	t
KMT	transversal metac. height	m
LCB	longitudinal centre of buoyancy	m
LCA	longitudinal centre of flotation	m
MCT	moment to change trim	tm/cm
TCP	change of displacement/change of draught	t/cm
VOLM	volume moulded	m <sup>3</sup>
VCB	vertical center of buoyancy	m
KML	longitudinal metac. height	m
TRFA	trim factor aft	
TRFF	trim factor fore	
WSA	wetted surface area	m <sup>2</sup>
CB	block coefficient	
CP	prismatic coefficient	
CW	waterplane coefficient	
CM	midship section coefficient	
IY	transv. moment of inertia of waterline area	m <sup>4</sup>
IX	long. moment of inertia of waterline area	1000*m <sup>4</sup>

T	VOLT	DISP	KMT	LCB	LCA	MCT	TCP
m	m <sup>3</sup>	t	m	m	m	tm/cm	t/cm
2.000	3165.2	3244.3	19.63	52.03	51.37	98.9	17.5
2.050	3250.6	3331.9	19.20	52.01	51.26	100.0	17.6
2.100	3336.4	3419.8	18.87	51.99	51.29	100.5	17.6
2.150	3422.4	3508.0	18.48	51.98	51.27	100.9	17.6
2.200	3508.6	3596.3	18.10	51.96	51.21	101.6	17.7
2.250	3594.9	3684.8	17.75	51.94	51.19	102.0	17.7
2.300	3681.4	3773.4	17.41	51.92	51.17	102.3	17.7
2.350	3768.1	3862.3	17.09	51.90	51.06	103.4	17.8
2.400	3854.9	3951.3	16.87	51.88	50.98	104.1	17.9
2.450	3942.1	4040.7	16.57	51.86	50.90	104.9	17.9
2.500	4029.5	4130.2	16.28	51.84	50.89	105.2	17.9
2.550	4116.9	4219.9	16.01	51.82	50.87	105.5	17.9
2.600	4204.5	4309.6	15.75	51.80	50.85	105.8	18.0
2.650	4292.3	4399.6	15.51	51.78	50.69	107.3	18.0
2.700	4380.3	4489.9	15.28	51.76	50.66	107.6	18.1
2.750	4468.5	4580.3	15.06	51.74	50.63	108.1	18.1
2.800	4556.9	4670.8	14.86	51.72	50.58	108.6	18.1
2.850	4645.5	4761.6	14.67	51.69	50.45	109.8	18.2
2.900	4734.3	4852.6	14.49	51.67	50.39	110.4	18.2
2.950	4823.3	4943.8	14.32	51.65	50.34	110.9	18.3

T m	VOLM m3	VCB m	KML m	TRFA	TRFF	WSA m2
2.000	3144.7	1.032	299.811	0.172	0.156	2042
2.050	3230.1	1.058	295.074	0.174	0.159	2058
2.100	3315.7	1.084	289.150	0.178	0.162	2074
2.150	3401.6	1.110	282.956	0.182	0.166	2085
2.200	3487.6	1.137	278.034	0.185	0.169	2099
2.250	3573.8	1.163	272.354	0.189	0.173	2111
2.300	3660.1	1.189	266.880	0.193	0.176	2123
2.350	3746.7	1.215	263.665	0.195	0.179	2139
2.400	3833.4	1.241	259.384	0.197	0.182	2155
2.450	3920.4	1.267	255.583	0.200	0.185	2169
2.500	4007.7	1.293	250.818	0.204	0.189	2181
2.550	4095.0	1.320	246.249	0.208	0.192	2192
2.600	4182.5	1.346	241.866	0.211	0.196	2204
2.650	4270.1	1.372	240.304	0.212	0.198	2222
2.700	4358.0	1.398	236.352	0.216	0.201	2234
2.750	4446.1	1.424	232.654	0.219	0.205	2247
2.800	4534.3	1.450	229.247	0.222	0.208	2261
2.850	4622.7	1.477	227.421	0.223	0.210	2279
2.900	4711.4	1.503	224.359	0.226	0.214	2293
2.950	4800.2	1.529	221.381	0.229	0.217	2308

T m	CB	CP	CW	CM	IX m4	IY 1000*m4
2.000	0.7293	0.7365	0.7918	0.990	58864	946
2.050	0.7308	0.7379	0.7946	0.990	58968	956
2.100	0.7323	0.7392	0.7973	0.991	59348	961
2.150	0.7338	0.7406	0.7983	0.991	59440	965
2.200	0.7353	0.7419	0.8003	0.991	59533	972
2.250	0.7367	0.7432	0.8013	0.991	59621	975
2.300	0.7381	0.7444	0.8023	0.991	59707	978
2.350	0.7395	0.7457	0.8052	0.992	59800	989
2.400	0.7408	0.7469	0.8080	0.992	60230	995
2.450	0.7422	0.7482	0.8100	0.992	60317	1003
2.500	0.7435	0.7494	0.8108	0.992	60399	1005
2.550	0.7449	0.7506	0.8117	0.992	60480	1008
2.600	0.7461	0.7518	0.8126	0.992	60564	1011
2.650	0.7474	0.7529	0.8162	0.993	60682	1026
2.700	0.7486	0.7541	0.8173	0.993	60806	1029
2.750	0.7499	0.7553	0.8186	0.993	60949	1033
2.800	0.7511	0.7564	0.8200	0.993	61124	1038
2.850	0.7523	0.7575	0.8230	0.993	61301	1050
2.900	0.7535	0.7586	0.8246	0.993	61481	1055
2.950	0.7547	0.7598	0.8261	0.993	61672	1060

**Extrait du Règlement du Bureau Veritas « FLOATING DOCK »**  
(Rule Note NR 475 DTM R00 E – October 2001)

**Symboles**

- L : Longueur du dock, en m  
B : Largeur hors membre du dock, en m  
D : Creux au pont supérieur, en m  
T : Tirant d'eau au déplacement en charge, en m  
Δ : Déplacement en charge, en t, en eau de mer (masse volumique  $\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$ )  
C<sub>B</sub> : Coefficient de bloc : 
$$C_B = \frac{\Delta}{1,025LBT}$$
  
P : Capacité de levage du dock, en t  
k : Coefficient du matériau (k = 1 pour un acier avec R<sub>eH</sub> = 235 N/mm<sup>2</sup>)

**5 Contrainte d'ensemble**

**5.1 Conditions de chargement réglementaire**

**5.1.1** Les conditions de chargement suivantes sont à considérer :

- dock léger
- dock en pleine charge, avec ballastage inégalement réparti dans le cas où le ballastage est contrôlable
- dock dans les conditions de remorquage

....

**5.3 Calcul du module de résistance**

**5.3.1** Pour le calcul du module de résistance, l'ensemble des éléments longitudinaux continus doivent être pris en considération.

**5.3.2** Dans le cas d'un dock modulable, certains éléments de pontons transversaux peuvent également être pris en compte, soit partiellement, soit totalement, en fonction du type et de l'échantillonnage des assemblages (boulonné, riveté ou soudé).

**5.3.3** Les modules de résistance au niveau du fond et du pont supérieur sont obtenus, en m<sup>3</sup>, à partir des formules suivantes :

- Au fond :  $Z_{AB} = I_Y / N$
- Au pont supérieur :  $Z_{AD} = I_Y / (z_D - N)$

Avec :

- I<sub>Y</sub> : Moment d'inertie, en m<sup>4</sup>, de la section transversale du dock autour de son axe horizontal neutre  
N : Distance verticale, en m, entre la ligne de base et le centre de gravité de la section transversale du dock  
z<sub>D</sub> : Distance verticale, en m, entre la ligne de base et le pont supérieur

**5.4 Critère de résistance longitudinale pour P ≤ 40000 t**

**5.4.1** Les contraintes de flexion d'ensemble, au fond et au pont supérieur, en condition de déformation en arc ou en contre-arc, sont données, en N/mm<sup>2</sup>, par la formule :

$$\sigma_B = \frac{M_{SW} + 0,1 M_{WV}}{Z_{AB}} 10^{-3}$$

$$\sigma_D = \frac{M_{SW} + 0,1 M_{WV}}{Z_{AD}} 10^{-3}$$

$M_{SW}$  : Moment de flexion maximale en eau calme, en kN.m, en condition arc ou contre-arc, déduit des cas de chargement du dock en utilisation, pour lequel la structure longitudinale est calculée.

$M_{WV}$  : Moment de flexion sur vague de hauteur réglementaire, en kN.m, donné par :  
 $M_{WV} = C_V F L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3}$

avec :

$C_V = 58,5$  pour une déformation en arc

$C_V = 65,0$  pour une déformation en contre-arc

$$F = \left(109,5 - \frac{L}{3}\right) \frac{L}{1000} \quad \text{if } L \leq 120$$

$$F = 10,75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{3/2} \quad \text{if } 120 < L \leq 300$$

$$F = 10,75 \quad \text{if } 300 < L \leq 350$$

$$F = 10,75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^{3/2} \quad \text{if } 350 < L \leq 500$$

**5.4.2** Dans des conditions normales de chargement, les contraintes combinées dans la structure du dock ne doivent pas dépasser :  $\sigma_C = 175 / k$  en N/mm<sup>2</sup>

Pour les docks sans dispositif de ballastage contrôlable, le cas de chargement avec remplissage complet des ballasts, uniformément réparti et non drainé, est considéré comme cas de chargement normal. La même condition est considérée comme exceptionnelle pour les docks avec dispositif de ballastage contrôlable.

**5.4.3** En outre, les contraintes combinées ne doivent pas dépasser :

- dans les conditions exceptionnelles de chargement :  $\sigma_C = 210 / k$  en N/mm<sup>2</sup>
- dans les conditions de remorquage du dock :  $\sigma_C = 190 / k$  en N/mm<sup>2</sup>

.....

**5.5.2** Le module minimal de résistance de la section de la coupe au maître, en m<sup>3</sup>, est égal à la plus élevée des valeurs suivantes :

$$Z_{R,MIN} = P(0,0058L - 0,034\sqrt[3]{P}) 10^{-3}$$

$$Z_{R,MIN} = P|0,0058L - 0,043\sqrt[3]{P}| 10^{-3}$$

$$Z_{R,MIN} = P(0,0043L - 0,023\sqrt[3]{P}) 10^{-3}$$

$$Z_{R,MIN} = P(0,0029L - 0,013\sqrt[3]{P}) 10^{-3}$$

.....

**5.5.4** Si la valeur de  $M_{SW}$  n'est pas disponible, le moment de flexion en eau calme à prendre en considération, en kN.m, pour calculer la structure longitudinale doit être prise égale à :

$$M_{SW0} = 150 Z_{R,MIN} 10^3 - 0,1 M_{WV}$$

Par ailleurs, le calcul de  $M_{SW}$  doit être soumis à approbation. Lorsque ce calcul montre une valeur plus élevée de  $Z_R$ , l'échantillonnage de la structure du dock doit être majoré en conséquence.