

<p style="text-align: center;">BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR</p> <p style="text-align: center;">CONSTRUCTION NAVALE</p>
--

SESSION 2015

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 :

La feuille de papier millimétré est à rendre même si elle n'est pas complétée.

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

Le sujet se compose de 10 pages numérotées de 1 / 10 à 10 / 10.

BTS Construction Navale		Session 2015
Sous-épreuve U 41 Étude du navire	CNE4EN	Page 1 / 10

Composition du sujet :

Présentation et mise en situation :

Texte du sujet :

Annexe : Tables des hydrostatiques et des pantocarènes

Format

A4 Page 3/10

A4 Pages 4/10 à 9/10

A4 Page 10/10

Le sujet comporte 3 **parties indépendantes** :

- | | | |
|------|--|--------|
| I. | Calcul du moment fléchissant avec un chargement central | 14 pts |
| II. | Calcul des contraintes d'ensemble et définition de la zone en acier HR | 10 pts |
| III. | Etude de la stabilité pour la barge en configuration pleine charge | 16 pts |

Documents à rendre :

La feuille de papier millimétré est à rendre même si elle n'est pas complétée.

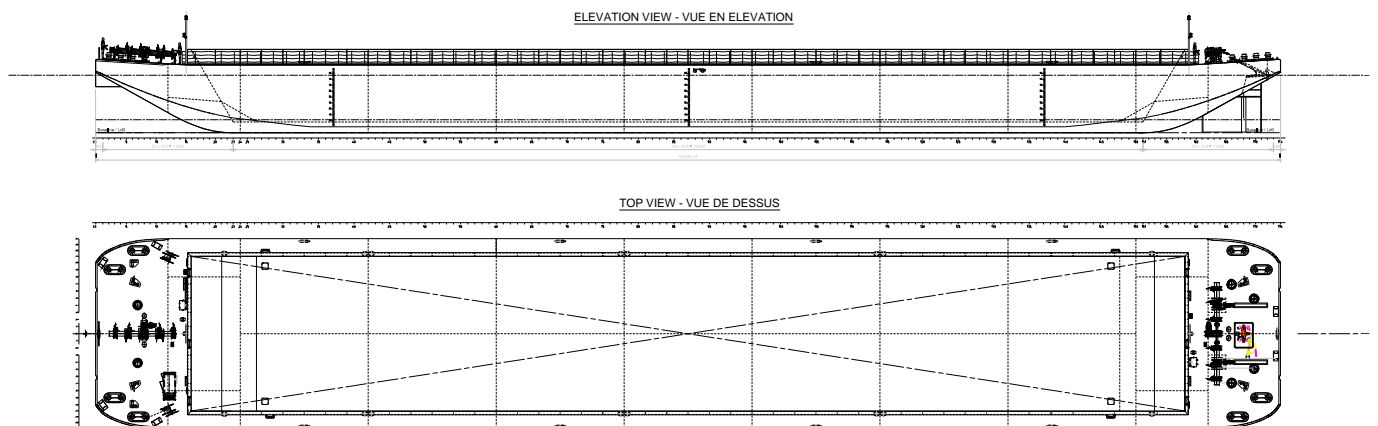
ETUDE D'UNE BARGE CHARBON DE 100 M



Présentation et mise en situation :

La barge à charbon "Ligérienne IV" est une barge d'une longueur de 100 m, pour une largeur de 16 m avec une capacité de chargement de 6140 t. Elle navigue bréée à un pousseur sur la Loire entre Saint-Nazaire et la centrale électrique de Cordemais.

Le sujet porte sur l'étude de la poutre navire et l'analyse réglementaire des calculs de stabilité.



Cette barge a les caractéristiques principales suivantes :

- Longueur de coque : 100,0 m
- Longueur entre perpendiculaires : 100,0 m
- Largeur hors membre : 16,0 m
- Creux : 5,7 m
- Tirant d'eau d'échantillonnage : 4,9 m
- Longueur de la cale : 83,9 m
- Largeur de la cale : 13,1 m
- Port en lourd : 6140 t

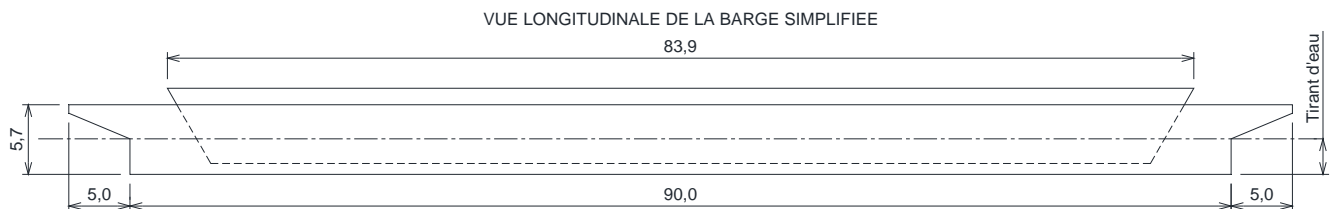
Pour la réalisation des différents calculs, nous considérons :

- la barge en navigation maritime sur l'estuaire de la Loire avec une masse volumique de l'eau de mer = 1025 kg/m^3
- l'accélération de la pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

PARTIE I : Calcul du moment fléchissant avec un chargement central

Objectif : Le but du calcul est de définir le moment fléchissant de la barge en eau calme dans le cas d'un chargement central de la barge.

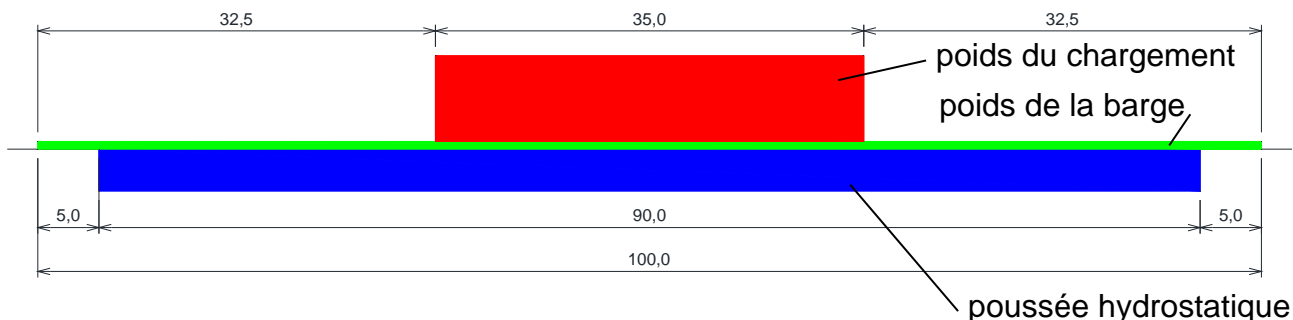
Pour cela, afin de simplifier les calculs, nous allons considérer la partie immergée de la barge comme un parallélépipède rectangle d'une longueur de 90 m et d'une largeur de 16 m.



Le chargement est pris égal à 3000 t de charbon réparti uniformément sur 35 m de la zone centrale de la cale.

La masse lège de la barge est de 985 t et est considérée répartie uniformément sur la longueur de la barge, soit 100 m.

Dans cette configuration, les courbes de répartition longitudinale des poussées hydrostatiques et des poids sont de la forme suivante :



Question I-1 : A votre avis, la déformation d'ensemble de la barge sera-elle de type "en arc" ou en "contre-arc" ? Argumenter votre réponse (sans réaliser de calcul).

Question I-2 : Définir le volume de carène de la barge ainsi chargée et en déduire le tirant d'eau de la barge, et ce en considérant la partie immergée de la barge comme un parallélépipède rectangle de longueur de 90 m et de largeur de 16 m.

Question I-3 : Définir la valeur de " h ", la répartition longitudinale de la poussée hydrostatique en kN/m le long de la partie immergée de la barge (arrondir au $10^{\text{ème}}$).

Question I-4 : Définir la valeur de " p_1 ", la répartition longitudinale du poids de barge lège en kN/m le long de la coque de la barge (arrondir au $10^{\text{ème}}$).

Question I-5 : Définir la valeur de " p_2 ", la répartition longitudinale du poids du chargement de la barge en kN/m sur les 35 m de la zone de chargement (arrondir au $10^{\text{ème}}$).

Rappel de la formulation générale de l'effort tranchant et du moment fléchissant le long de la coque :

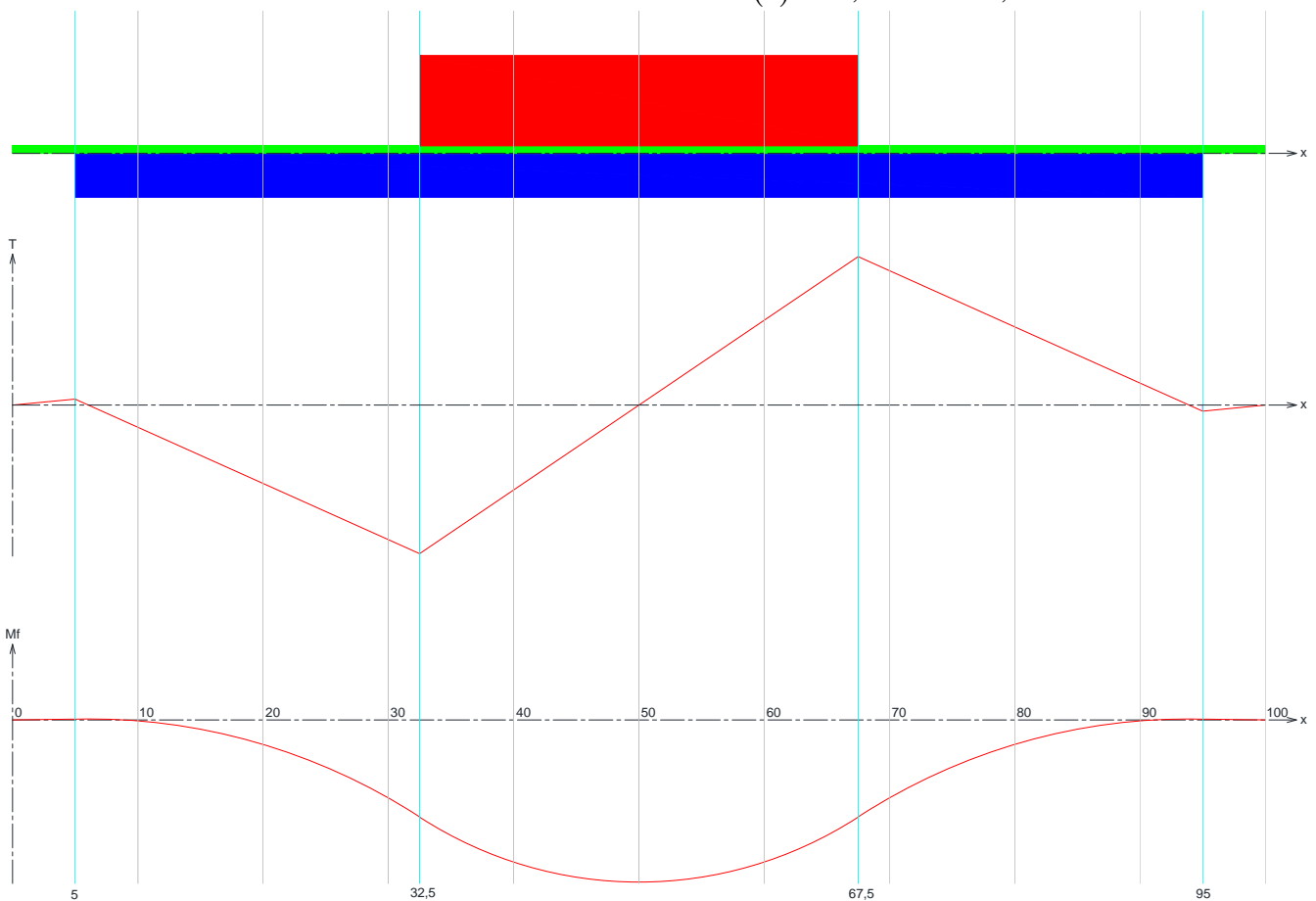
- Effort tranchant : $T(x) = -\int [h(x) - p(x)] dx$ avec pour la barge dans la zone centrale $h(x) = h$ et $p(x) = p_1 + p_2$
- Moment fléchissant : $Mf_y(x) = \int T(x) dx$

Rappel des formules d'intégration : $\int (a) dx = a \cdot x + b$ et $\int (a \cdot x + b) dx = \frac{a}{2} \cdot x^2 + b \cdot x + c$

(a, b et c étant des constantes)

Question I-6 : Compléter la définition de la répartition de l'effort tranchant (en kN) :

- intervalle 1 : $x = 0$ à $x = 5$: $T(x) = ?$
- intervalle 2 : $x = 5$ à $x = 32,5$: $T(x) = ?$
- intervalle 3 : $x = 32,5$ à $x = 67,5$: $T(x) = ?$
- intervalle 4 : $x = 67,5$ à $x = 95$: $T(x) = -337,7 \cdot x + 31601,8$
- intervalle 5 : $x = 95$ à $x = 100$: $T(x) = 96,6 \cdot x - 9662,8$



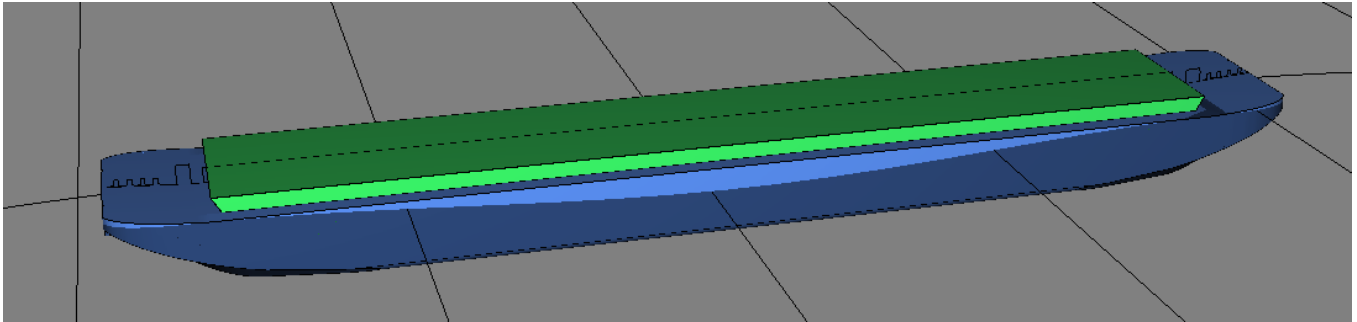
Question I-7 : Compléter la définition de la répartition du moment fléchissant (en kN.m) :

- intervalle 1 $x = 0$ à $x = 5$: $Mf_y(x) = ?$
- intervalle 2 $x = 5$ à $x = 32,5$: $Mf_y(x) = ?$
- intervalle 3 $x = 32,5$ à $x = 67,5$: $Mf_y(x) = ?$
- intervalle 4 $x = 67,5$ à $x = 95$: $Mf_y(x) = -168,9 \cdot x^2 + 31601,8 \cdot x - 1476929,6$
- intervalle 5 $x = 95$ à $x = 100$: $Mf_y(x) = 48,3 \cdot x^2 - 9662,8 \cdot x + 483142,5$

Question I-8 : Calculer la valeur du moment fléchissant maximum en prenant comme équation : $Mf_y(x) = 251,6 \cdot x^2 - 25156 \cdot x + 438648,1$ (en kN.m arrondi au 10^{ème})

PARTIE II : Calcul des contraintes d'ensemble et définition de la zone en acier HR

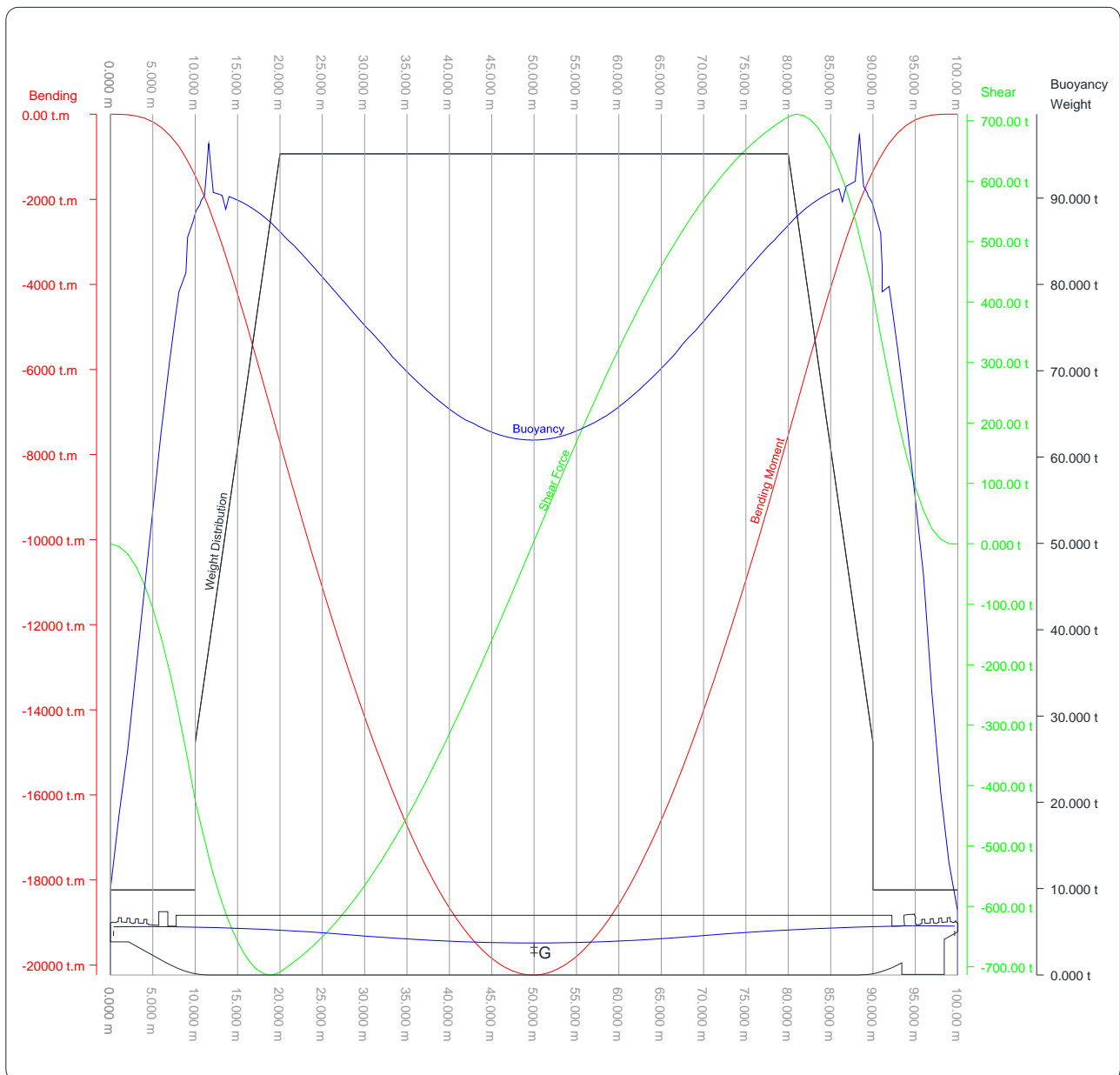
Objectif : Le but du calcul est de vérifier la structure de la barge aux contraintes dues aux efforts d'ensemble.



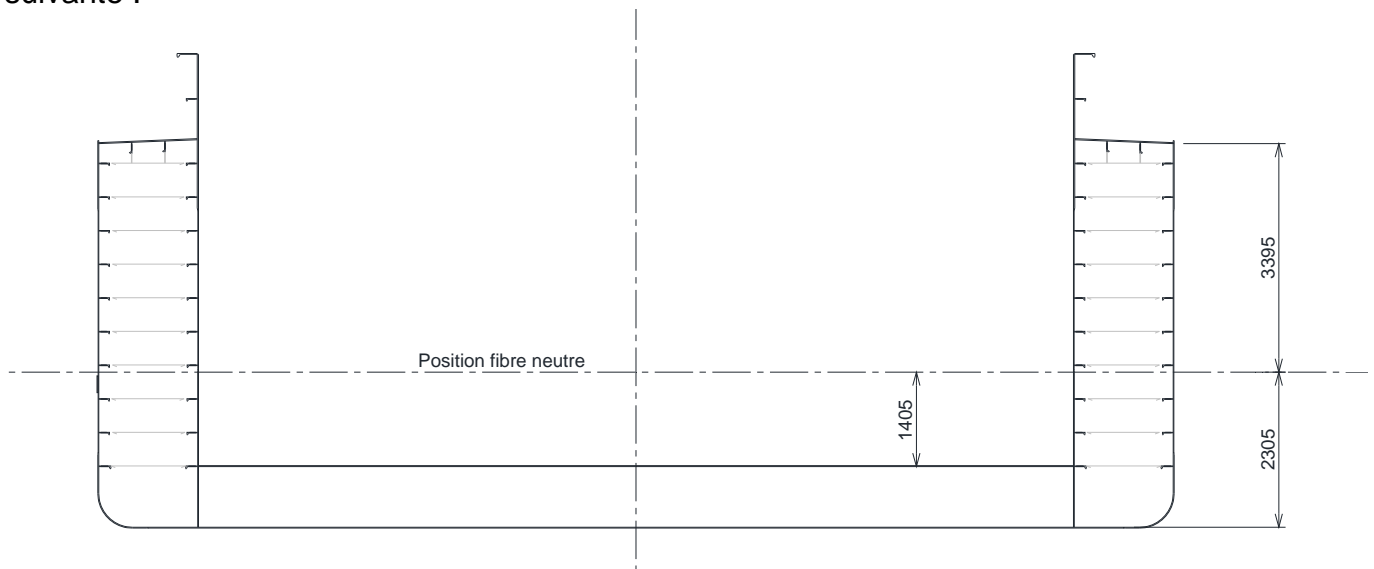
Le moment fléchissant maximum a été calculé avec le logiciel Maat Hydro+ dans la configuration de la barge au déplacement pleine charge et avec une houle ayant les caractéristiques suivantes : longueur d'onde 90 m et distance verticale entre crête et creux de 2 m.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Effort tranchant maximum : $T_{\max} = - 713,44 \text{ t}$ pour $x = 19,075 \text{ m}$
- Moment fléchissant maximum : $M_{\max} = - 20233 \text{ t.m}$ pour $x = 49,570 \text{ m}$



La structure de la barge est en acier S235JR ($R_e = 235 \text{ Mpa}$) pour la partie basse et en acier haute résistance S355JR ($R_e = 355 \text{ Mpa}$) pour la partie haute. La coupe au maître est la suivante :



L'inertie de la section vis-à-vis de l'axe neutre est : $4,2932 \text{ m}^4$.

Question II-1 : Décrire quels sont les éléments de structure pris en compte pour le calcul de l'inertie de la section de la poutre navire ?

Question II-2 : Calculer la contrainte (en MPa) due aux efforts d'ensemble pour les éléments suivants :

- tôle de pont (au niveau du passavant)
- tôle de double fond
- tôle de bordé de fond

Question II-3 : Pour la partie haute de la muraille et pour le pont, la structure est en acier haute résistance (HR). La zone en acier HR est réalisée à partir du point où la contrainte due aux efforts d'ensemble est supérieure à 50% de la résistance élastique de l'acier courant (S235JR).

Définir la position vis-à-vis de la quille à partir de laquelle le bordé de muraille est réalisé en acier haute résistance.

Pour les tôles du bordé de fond, il est nécessaire de tenir compte de la combinaison des contraintes d'ensemble avec les contraintes dues aux efforts locaux. La contrainte totale obtenue est comparée à la contrainte admissible égale aux $2/3$ de la résistance élastique de l'acier considéré.

La contrainte due aux efforts locaux (σ_{locale}) peut être approchée avec la formulation suivante :

$$\sigma_{locale} = \frac{6}{10} \cdot \frac{p_B \cdot l^2}{t^2} \quad \text{avec} \quad p_B : \text{pression sur le fond de la barge en Mpa}$$

l : écartement des couples en mm, on prendra $l = 600 \text{ mm}$

t : épaisseur de la tôle de fond en mm

et la pression sur le fond de la barge peut être approchée (en kN/m^2) avec la formulation suivante :

$$p_B = 7,5 \cdot C + 3,25 \cdot T \quad \text{avec} \quad C : \text{creux de la barge en m}$$

T : tirant d'eau d'échantillonnage de la barge en m

Question II-4 : Calculer la contrainte (en MPa) due aux efforts locaux pour une tôle de fond en 14 mm.

- Question II-5 :** Calculer la contrainte totale sur la tôle de fond et la comparer avec la contrainte admissible prise égale à $\frac{2}{3}$ de R_e pour un acier courant (S235JR).
 Que pouvez-vous conclure ?
 Que préconisez-vous de faire (proposer au moins 2 solutions) ?

PARTIE III : Etude de la stabilité pour la barge en configuration pleine charge

Objectif : Le but du calcul est de vérifier la stabilité de la barge vis-à-vis des critères réglementaires.

Dans la configuration pleine charge, la masse de la barge se décompose de la façon suivante :

	Masse (t)	CdG / PPAR (m)	CdG / axe (m)	CdG / OH (m)
Barge lège	985,0	50,983	0,000	2,387
Chargement en charbon	6140,0	50,000	0,000	3,934

Etant donné que la réglementation n'a pas d'exigences spécifiques en terme de stabilité pour ce type de barge, il a été convenu avec la Société de Classification de s'appuyer sur la réglementation applicable aux pontons (Part D - Chap. 19 de la NR467 du Bureau Veritas) dont les critères de stabilité à respecter sont les suivants :

- L'aire sous-tendue par la courbe des bras de levier de redressement jusqu'à l'angle du bras de levier de redressement maximal ne doit pas être inférieure à 0,08 m.rad.
- L'angle d'inclinaison statique dû à la pression du vent répartie uniformément égale à 0,54 kPa (vitesse du vent 30 m/s) ne doit pas être supérieur à l'angle correspondant à la moitié du franc-bord, pour la condition de chargement correspondante, le levier du moment d'inclinaison dû au vent étant mesuré à partir du centre de la surface exposée au vent jusqu'à la moitié du tirant d'eau.
- La valeur de l'arc minimal de stabilité doit être supérieure à 15°.

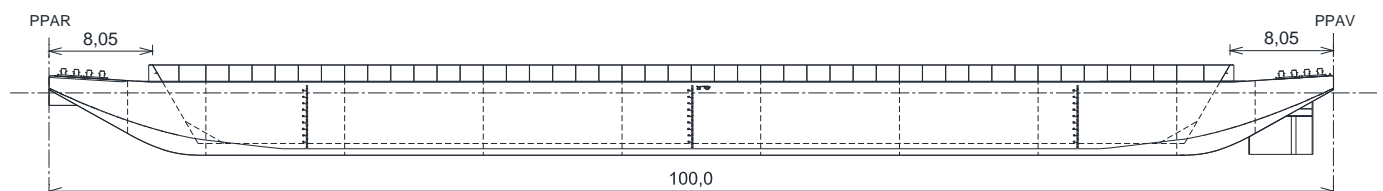
Pour tenir compte de la configuration de la barge avec une cale ouverte, les critères de stabilité devront être vérifiés pour l'angle correspondant à l'envahissement de la cale.

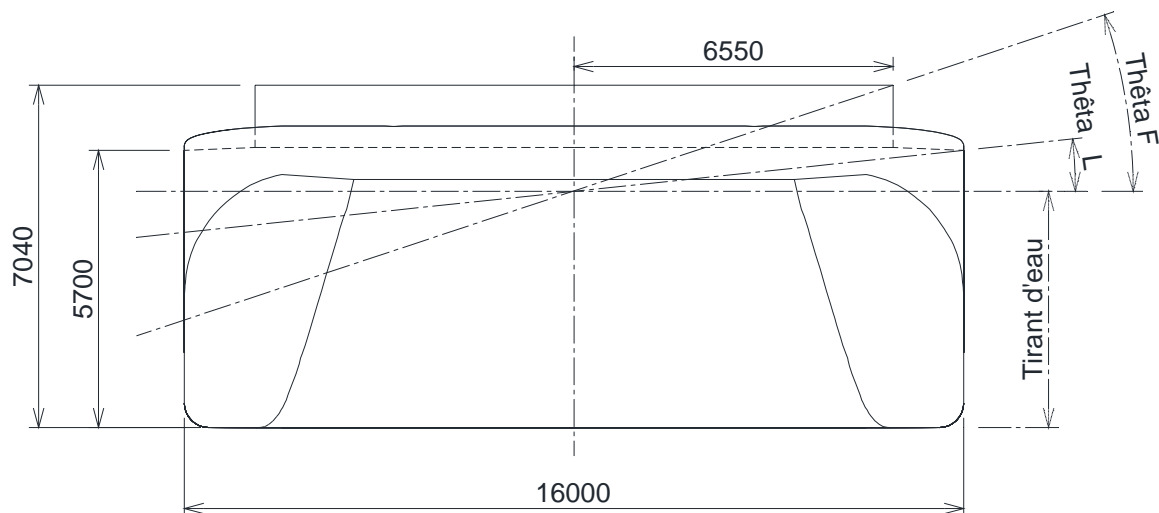
- Question III-1 :** A votre avis, pour quelle raison l'administration a-t-elle demandé la vérification des critères avant l'envahissement de la cale ?

- Question III-2 :** Définir la masse et la position du centre de gravité en configuration pleine charge.

- Question III-3 :** A partir des tables hydrostatiques fournies en annexe, calculer les données hydrostatiques pour la barge au déplacement pleine charge :
- tirant d'eau moyen (MP Height) ,
 - position du centre de carène (LCB et VCB) ,
 - position du centre de la surface de flottaison (LCF) ,
 - rayons métacentriques transversal et longitudinal (BMT et BML).

- Question III-4 :** Pour définir l'angle d'envahissement de la cale, calculer le tirant d'eau aux deux extrémités de la cale (pour $x = 8,05$ et $x = 100 - 8,05$) et ce en considérant que la barge tourne autour du point F.





- Question III-5 :** Avec le plus grand tirant d'eau obtenu dans la zone de la cale, calculer l'angle d'immersion du franc-bord (θ_L) et l'angle d'envahissement de la cale (θ_F), et ce en considérant que la barge tourne autour du point F (sans évolution de la position du point F).
- Question III-6 :** A partir de la table des pantocarènes, calculer pour ce cas de chargement la valeur des KN par interpolation linéaire puis la valeur des bras de levier, et ce pour les angles de gîte de 0° à 50° .
- Question III-7 :** Tracer la courbe des bras de levier de redressement sur papier millimétré format A4 horizontal. On prendra pour échelle :
- abscisses : 4 cm pour 10 degrés
 - ordonnées : 1 cm pour 0,1 m
- Question III-8 :** Vérifier le premier critère avec le calcul de l'aire sous-tendue de la courbe des GZ jusqu'à l'angle d'envahissement de la cale.
- Question III-9 :** Vérifier le deuxième critère en considérant que le moment inclinant dû au vent est de 239,15 t.m.
- Question III-10 :** Vérifier le troisième critère avec l'angle d'envahissement de la cale.
- Question III-11 :** Conclure sur la stabilité de la barge.

EXTRAIT DE LA TABLE DES HYDROSTATIQUES DE LA BARGE EN ASSIETTE NULLE

Hydrostatic Curves Forms: Barge 100 m
AP @ 0.000, FP @ 100.00, VCG: 0.000, Density: 1.025, Trim: 0.000, Heel: 0.000°

	MP Height (m)	AP Height (m)	FP Height (m)	DSPL (t)	VOL (m3)	LCB (m)	TCB (m)	VCB (m)	LCB/F(%)	W.S. Area (m²)
191	4.800	4.800	4.800	7033.5	6862.0	49.896	0.000	2.491	49.83	2406.2
192	4.820	4.820	4.820	7065.6	6893.2	49.894	0.000	2.501	49.85	2411.3
193	4.840	4.840	4.840	7097.7	6924.6	49.892	0.000	2.512	49.87	2417.2
194	4.860	4.860	4.860	7129.8	6955.9	49.890	0.000	2.522	49.89	2423.4
195	4.880	4.880	4.880	7162.0	6987.3	49.889	0.000	2.533	49.91	2429.6
196	4.900	4.900	4.900	7194.2	7018.7	49.888	0.000	2.543	49.93	2435.8
197	4.920	4.920	4.920	7226.4	7050.2	49.887	0.000	2.554	49.95	2442.0
198	4.940	4.940	4.940	7258.7	7081.7	49.886	0.000	2.564	49.97	2447.3
199	4.960	4.960	4.960	7291.0	7113.2	49.885	0.000	2.575	49.99	2452.4
200	4.980	4.980	4.980	7323.3	7144.7	49.884	0.000	2.586	50.01	2457.5

	MP Height (m)	B² area (m²)	WPA (m²)	LCF (m)	TPC (t/cm)	MCT (t.m)	BMT (m)	BML (m)	T Inertia (m4)	L Inertia (m4)
191	4.800	80.548	1561.5	49.511	16.00512	0.00	4.836	180.84	33181.463	1240901.667
192	4.820	80.867	1562.2	49.510	16.01219	0.00	4.816	180.26	33195.133	1242575.598
193	4.840	81.188	1563.6	49.533	16.02738	0.00	4.796	179.95	33213.348	1246052.670
194	4.860	81.508	1565.5	49.568	16.04671	0.00	4.778	179.77	33234.151	1250466.762
195	4.880	81.829	1567.4	49.604	16.06611	0.00	4.759	179.60	33255.015	1254923.019
196	4.900	82.150	1569.3	49.640	16.08540	0.00	4.741	179.43	33275.454	1259371.541
197	4.920	82.470	1571.2	49.676	16.10470	0.00	4.723	179.27	33295.975	1263848.793
198	4.940	82.791	1572.2	49.686	16.11535	0.00	4.704	178.82	33310.527	1266358.536
199	4.960	83.112	1573.0	49.687	16.12291	0.00	4.685	178.28	33322.987	1268159.047
200	4.980	83.433	1573.7	49.688	16.13050	0.00	4.666	177.75	33335.371	1269973.175

EXTRAIT DE LA TABLE DES PANTOCARENES DE LA BARGE EN ASSIETTE NULLE

Cross Curves Barge 100 m (PS Heel - Initial Trim: 0.000) page 2/2
AP @ 0.000, FP @ 100.00, K point @ 0.000, Add. Thickness: 0.009, Density: 1.0250, Length in m, Weight in t
Min Displacement: 6500.0, Max Displacement: 7500.0

Displ.Mtd	HAP	HFP	HMP	KN 5°	KN 10°	KN 15°	KN 20°	KN 25°	KN 30°	KN 40°	KN 50°	KN 60°
6500.0	4.466	4.466	4.466	0.653	1.303	1.853	2.387	2.877	3.274	3.827	4.100	4.176
6600.0	4.529	4.529	4.529	0.650	1.290	1.832	2.362	2.839	3.227	3.777	4.057	4.142
6700.0	4.591	4.591	4.591	0.647	1.275	1.811	2.339	2.801	3.179	3.726	4.013	4.107
6800.0	4.654	4.654	4.654	0.644	1.259	1.792	2.314	2.764	3.132	3.675	3.970	4.073
6900.0	4.717	4.717	4.717	0.641	1.244	1.772	2.289	2.726	3.086	3.625	3.926	4.039
7000.0	4.779	4.779	4.779	0.639	1.228	1.753	2.264	2.689	3.040	3.574	3.882	4.004
7100.0	4.841	4.841	4.841	0.636	1.213	1.735	2.238	2.651	2.994	3.523	3.837	3.970
7200.0	4.904	4.904	4.904	0.634	1.198	1.717	2.211	2.613	2.949	3.472	3.793	3.935
7300.0	4.966	4.966	4.966	0.631	1.184	1.699	2.184	2.576	2.904	3.422	3.748	3.900
7400.0	5.027	5.027	5.027	0.629	1.169	1.682	2.156	2.538	2.860	3.371	3.704	3.865
7500.0	5.089	5.089	5.089	0.624	1.154	1.666	2.127	2.500	2.816	3.321	3.660	3.830