

fiche N° 17 :
Théorie du navire.

Fiche 17.11 Poids suspendus, transport ou addition de poids, carène liquide et. Chargement semi-liquide, embarquement d'eau lors d'un sinistre, embarquement de colis lourds, utilisation des ballasts (calculs pratiques simples).

Conseil : apprendre les formules par cœur, les écrire au brouillon dès le début de l'épreuve et comme une recette de cuisine, utiliser quand il faut. Bien « digérer » les exercices et tout ira bien...après tout ça ne sert plus à rien, à part, le MTC (par exemple, imposer à un manutentionnaire une cadence de déchargement afin de s'assurer qu'un navire un peu juste en TE sera bien dans la souille)

Transport vertical ou poids suspendu.

Lorsqu'un poids est déplacé à bord, vers le haut ou vers le bas tout en restant sur la même verticale :

- l'équilibre du navire n'est pas modifié
- P n'est pas modifié pas modifiés
- la stabilité change puisque le centre de gravité s'est déplacé.
- Calculer :

nouveau MSIT avec:

$$\text{MSIT}' = \text{MSIT} + \text{ou} - p * z$$

ou

$$P * \text{GMT}' = P * \text{GMT} + \text{ou} - p * z$$

- p poids déplacé
- z distance
- + p * z si le poids est descendu.
- - p * z si le poids est élevé.

Nouveau GMT' avec :

$$\text{GMT}' = \text{MSIT}' / P$$

Comparer GMT avec GMT' diminution ou augmentation conclure sur l'évolution de la stabilité :

$$\text{GMT}' > 0 \text{ tend vers ou s'éloigne de } 0$$

$$\text{GMT}' = 0$$

$$\text{GMT}' < 0$$

Transport horizontal transversal.

Lorsque le poids p est transporté transversalement sur une distance y :

- le centre de gravité du navire se déplace horizontalement seulement.
- le navire s'incline d'un angle θ .
- Calculer θ :

Sous grand angle $\theta > \text{à } 10^\circ$:

$$\text{Tan } \theta = (p * y) / P * (h - a)$$

Si $\theta < \text{à } 10^\circ$:

$$\theta = 57.3 (p * y) / \text{MSIT}$$

Transport horizontal longitudinal.

Lorsque le poids est transporté longitudinalement sur une distance x :

- Déplacement du centre de gravité.
- Inclinaison du navire sur l'avant ou l'arrière d'un angle θ .
- Variation des tirants d'eau.
- Calculer θ :

Sous grand angle $\theta > \text{à } 10^\circ$:

$$\text{Tan } \theta = (p * y) / \text{MSIL}$$

Si $\theta < \text{à } 10^\circ$:

$$\theta = 57.3 (p * y) / \text{MSIL}$$

- Calculer selon les éléments fournis :
 - $\Delta \text{diff.}$: Différence des différence de tirants d'eau.
 - $T'_{ar} = T_{ar} + \text{ou} - (\Delta \text{diff.} / L) * \text{LCF}$
 - $T'_{av} = T_{av} + \text{ou} - (D_{\text{diff}} / L) * (L - \text{LCF})$

- Autres calculs utiles ou possibles:
 - T_m : tirant d'eau moyen : $T_m = (T_{ar} + T_{av}) / 2$
 - Différence des tirants d'eau : $Diff. = T_{ar} - T_{av}$
 - T_f : Tirant d'eau à la flottaison (F), c'est avec ce tirant d'eau qu'il est conseillé d'extrapoler toutes les autres valeurs nécessaires dans le tableau des éléments hydrostatiques :
 $T_f = T_{ar} + ou - (Diff / L) * LCF$
 - $T_{ar} = T_f + ou - (Diff / L) * LCF$
 - $T_{av} = T_f + ou - (Diff. / L) * (L - LCF)$
 (les signes + ou - sont à considérer si le déplacement est vers l'avant ou l'arrière)
 - Le MTC : moment pour faire varier la DiFF de 1 cm : $MTC = MSIL / (100 * L)$

Embarquement de poids.

Lorsqu'un poids est embarqué le déplacement devient : $P' = P + p$

Avec $p = v . d$ ou $p = S . t . d$ (avec $V = S . t$)

Nouveau module de stabilité : $MSIT' = MSIT + p * z$ z : distance verticale de transport

Débarquement de poids

Lorsqu'on débarque un poids le déplacement diminue : $P' = P - p$

Avec $p = v . d$ ou $p = S . t . d$ (avec $V = S . t$)

Nouveau module de stabilité : $MSIT' = MSIT - p . z$ z : distance verticale de transport

Transport dans une direction quelconque

Les calculs à faire dans l'ordre :

Calcul du module de stabilité : MSIT

Calcul de déplacement dans le sens verticale embarquement ou débarquement :

z : déplacement vertical en mètres

$$MSIT' = MSIT + ou - p . z$$

Calcul dans le sens transversal (gîte) :

y : déplacement transversal en mètres

$$\Phi = 57,3 p . y / MSIT'$$

Ou (grand angles) gîte Φ : $Tan \Phi = p . y / MSIT'$

Calcul dans le sens longitudinal (nouveaux tirants d'eau):

x : déplacement longitudinal en mètres

$$\Delta Diff = \frac{p \cdot x}{MSIL} L$$

$$T'_{ar} = T_{ar} + \frac{\Delta Diff}{L} LCF$$

$$T'_{av} = T_{av} - \frac{\Delta Diff}{L} (L - LCF)$$

Assiette: $Tan \theta = (p * y) / MSIL$

Si $\theta < à 10d°$:

$$\theta = 57.3 (p * y) / MSIL$$

Carènes liquides.

On appelle "carène intérieure" ou "carène liquide" un compartiment partiellement rempli de liquide (eau, gasole, fuel, ...). Ce liquide a une surface libre et se porte d'un bord ou de l'autre quand le navire s'incline.

Il en résulte une perte de stabilité par fluidité.

La perte de stabilité se traduit par : $\omega \times i$

ω : densité du fluide, donnée.

i : moment quadratique, donnée ou calculée en fonction de :

$$i = \frac{L \times l^3}{12}$$

L longueur de la citerne, soute ou cale
l largeur de la citerne, soute ou cale

Calcul du nouveau MSIT appelé MSIT_{CCL} : $MSIT_{CCL} = MSIT - \sum \omega \times i$

Effet de cloisonnement pour les ballasts.

On retient qu'en partageant un ballast en n compartiments, on divise la perte de stabilité par n²

Formules initiales compte tenu des carènes liquides :

ω : poids volumique du liquide contenu dans la capacité

i : moment quadratique :

$$i = (L \times l^3) / 12$$

L: longueur de la capacité
l : largeur de la capacité

calculer :

$\omega \times i$ pour chaque capacité

calculer :

$\sum \omega \times i$ somme de toutes les capacités, appelée aussi perte de stabilité

on a alors :

le centre de gravité fluide :

$$KG_f = KG + (\sum \omega i / KG)$$

La hauteur métacentrique transversale avec carènes liquides :

$$G_f M_T = K M_T - K G_f$$

Le bras de levier du couple de redressement :

$$G_f Z = G_f M_T \times \sin \theta$$

Le module de stabilité:

$$MSIT_{CCL} = P \times G_f M_T \quad \text{ou} \quad MSIT_{CCL} = MSIT - \sum \omega i$$

Mouvement de poids transversal :

$$Gîte \theta : \tan \theta = (p \times y) / MSIT_{CCL}$$

ou

$$Gîte \theta : (57,3 \times ((p \times y) / MSIT_{CCL}))$$

Mouvement quelconque :

La gîte sera calculée avec le MSIT_{CCL}'

Embarquement de poids.

Construire un tableau :

Poids	Kg	Mts / Kg	LCg	Mts / LCg
P_0	KG_0	$P_0 * KG_0$	LCG_0	$P_0 * LCG_0$
p_1	Kg_1	$P_1 * Kg_1$	LCg_1	$P_1 * LCg_1$
p_2	Kg_2			
p_3	Kg_3			
p_n	Kg_n	$P_n * Kg_n$	LCg_n	$P_n * LCg_n$
$P = \sum P + p_1 + \dots$		$\sum Mts / Kg$		$\sum Mts / LCg$

- P_0 : poids du navire lège ou initial avant mouvement.
- p_n : poids d'une marchandise embarquée.
- P : poids total du navire, somme de tous les poids
- KG_0 : coordonnée de G navire lège ou initiale avant mouvement.
- Kg_n : coordonnée du centre de gravité de chaque marchandise.
- Mts / Kg : moment du couple par marchandise avec Kg.
- $\sum Mts / Kg$: somme des moments avec Kg
- LCG : coordonnée de G navire lège ou initiale avant mouvement.
- LCg_n : coordonnée du centre de gravité de chaque marchandise.
- Mts / LCg_n : moment du couple par marchandise avec LCg.
- $\sum Mts / LCg$: somme des moments avec LCg.

Appliquer le théorème des moments :

Calculer :

$$P * KG = \sum Mts / Kg$$

$$KG = (\sum Mts / Kg) / P$$

calculer le nouveau MSIT

Calculer :

$$P * LCG = \sum Mts / LCg$$

$$LCG = (\sum Mts / LCg) / P$$

calculer le nouveau MSIL

Exercice pratique (cahier INFOMER).

Un navire hydrographique de longueur entre perpendiculaires $L = 128,00$ m, se trouve sans gîte en eau de mer de densité $1,025$.

Le répartition des poids à bord est donnée dans le tableau ci-dessous.

	Poids	Kg	LCg	densité	i
Navire lège	14 500	8,45	64,10		
Fioul	425	4,05	24,00	0,98	473
diesel	44	6,15	38,47	0,85	11
Eau douce	36	7,28	31,75	1	9
Peak avant	85	6,85	119,35	1,025	44
Peak arrière	32	6,65	8,64	1,025	51

Tableau des éléments hydrostatiques :

T	P	LCB	KM _T	KM _L	LCF
6,90	14 850	63,13	9,35	144,6	61,81
7,00	15623	63,01	9,31	144,0	61,42
7,10	16004	62,95	9,27	143,4	61,29

Calculer :

- le déplacement P,
- la position du centre de gravité (KG et LCG),
- les tirants d'eau,
- la distance métacentrique initiale transversale compte tenu des carènes liquides (KGf).

Construire le tableau de chargement.

Tableau de chargement					Carènes liquide			
	Poids	Kg	Mts / Kg	Lcg	Mts / Lcg	ω	i	$\omega * i$
P	14500,000	8,450	122525,000	64,180	930610,000			
p1	425,000	4,050	1721,250	24,000	10200,000	0,980	473,000	463,540
p2	44,000	6,150	270,600	38,470	1692,680	0,850	11,000	9,350
p3	36,000	7,280	262,080	31,750	1143,000	1,000	9,000	9,000
p4	85,000	6,850	582,250	119,350	10144,750	1,025	44,000	45,100
p5	32,000	6,650	212,800	8,640	276,480	1,025	51,000	52,275
p6			0,000		0,000			0,000
p7			0,000		0,000			0,000
p8			0,000		0,000			0,000
p9			0,000		0,000			0,000
p10			0,000		0,000			0,000
p11			0,000		0,000			0,000
p12			0,000		0,000			0,000
Totaux	15122,000		125573,980		954066,910			579,265

Réponse à la a) $P = 15\ 122$ t.

Pour répondre à la b), exploiter les chiffres issus du tableau de chargement :

Application du théorème de la somme des moments définir KG et LCG après chargement

$$KG = \frac{\sum mts(Kg)}{P} \quad 8,304$$

$$LCG = \frac{\sum mts(Lcg)}{P} \quad 63,091$$

Pour répondre à la c), déduire les valeurs du tableau hydrostatique en fonction de $P = 15\,122\,t$.

Données d'entrée	P	T	LCB	LCF	KMT	KML
14850,000	14850,000	6,900	63,130	61,810	9,350	144,600
15122,000	15122,000	6,935	63,088	61,673	9,336	144,389
15623,000	15623,000	7,000	63,010	61,420	9,310	144,000

Puis

LCB, LCF et KML sont tirés du tableau hydrostatique,
LCG et KG sont tirés du tableau de chargement.

Tirants d'eau

$$TAV = TF - (Diff / L) * (L - LCF)$$

$$TAR = TF - (Diff / L) * LCF$$

Diff calculée à partir du plan de chargement pour calculer les nouveaux tirants d'e

	LCB	LCG	KML	KG	L	Diff
	63,088	63,091	144,389	8,304	128,000	-0,003
TF	Diff	L	LCF	TAV	TAR	
6,935	-0,003	128,000	61,673	6,937	6,934	

Enfin, répondre à la d) avec :

KG, P et $\sum W * i$, sont tirés du tableau de chargement.

Centre de gravité fluide

$$Kgf = KG + (\sum W * i / P)$$

KG	$\sum W * i$	P	Kgf
8,304	579,265	15122,000	8,342

KMT est tiré du tableau hydrostatique.

Hauteur métacentrique transversale avec carènes liquides

$$GfMT = KMT - Kgf$$

KMT	Kgf	GfMT
9,336	8,342	0,994

Une première opération nécessite le remplissage en eau de mer d'un bassin intérieur dont les dimensions sont : L 10,00 m, l 6,00 m.

La longueur est parallèle à l'axe longitudinal du navire et le centre de volume du bassin a pour position : x = 45,00 m, y = 0,00 m et z = 12,00 m.

A la fin du remplissage, 120 tonnes d'eau de mer sont présentes dans le bassin et la surface de l'eau est libre de s'incliner à la gîte.

Calculer :

e) La nouvelle distance métacentrique initiale transversale compte tenu des carènes liquides (GfMT).

f) les nouveau tirants d'eau.

Pour répondre à la e) dans un premier temps prendre en compte l'embarquement des 120 tonnes, dans le tableau de chargement.

Tableau de chargement		Carènes liquide							
	Poids	Kg	Mts / Kg	Lcg	Mts / Lcg	ω	i	$\Sigma * i$	
P	14500,000	8,450	122525,000	64,180	930610,000				
p1	425,000	4,050	1721,250	24,000	10200,000	0,980	473,000	463,540	
p2	44,000	6,150	270,600	38,470	1692,680	0,850	11,000	9,350	
p3	36,000	7,280	262,080	31,750	1143,000	1,000	9,000	9,000	
p4	85,000	6,850	582,250	119,350	10144,750	1,025	44,000	45,100	
p5	32,000	6,650	212,800	8,640	276,480	1,025	51,000	52,275	
p6			0,000		0,000			0,000	
p7	120,000	12,000	1440,000	45,000	5400,000	1,025	180,000	184,500	
Totaux	15242,000		127013,980		959466,910			763,765	

Prendre en compte le nouveau P, dans le tableau des éléments hydrostatiques, extraire les nouveaux éléments.

Données d'entrée	P	T	LCB	LCF	KMT	KML
14850,000	14850,000	6,900	63,130	61,810	9,350	144,600
	15242,000	6,951	63,069	61,612	9,330	144,296
15623,000	15623,000	7,000	63,010	61,420	9,310	144,000

Calculer le GfMT et les tirants d'eau comme proposé ci-dessous.

Application du théorème de la somme des moments définir KG et LCG après chargement

$$KG = \frac{\sum mts(Kg)}{P} = \frac{8,333}{15242,000}$$

$$LCG = \frac{\sum mts(Lcg)}{P} = \frac{62,949}{15242,000}$$

Centre de gravité fluide

$$Kgf = KG + \frac{\sum \omega * i}{P}$$

KG	$\Sigma \omega * i$	P	Kgf
8,333	763,765	15242,000	8,383

Hauteur métacentrique transversale avec carènes liquides

$$GfMT = KMT - Kgf$$

KMT	Kgf	GfMT
9,330	8,383	0,946

Tirants d'eau

Diff calculée à partir du plan de chargement pour calculer les nouveaux tirants d'eau

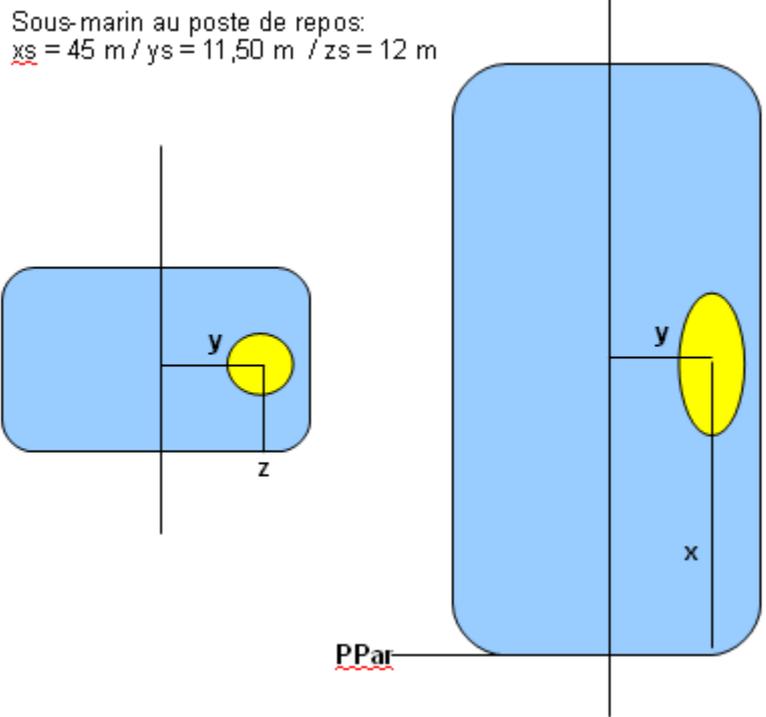
	LCB	LCG	KML	KG	L	Diff
	63,069	62,949	144,296	8,333	128,000	0,113

$$TAV = TF - (Diff / L) * (L - LCF)$$

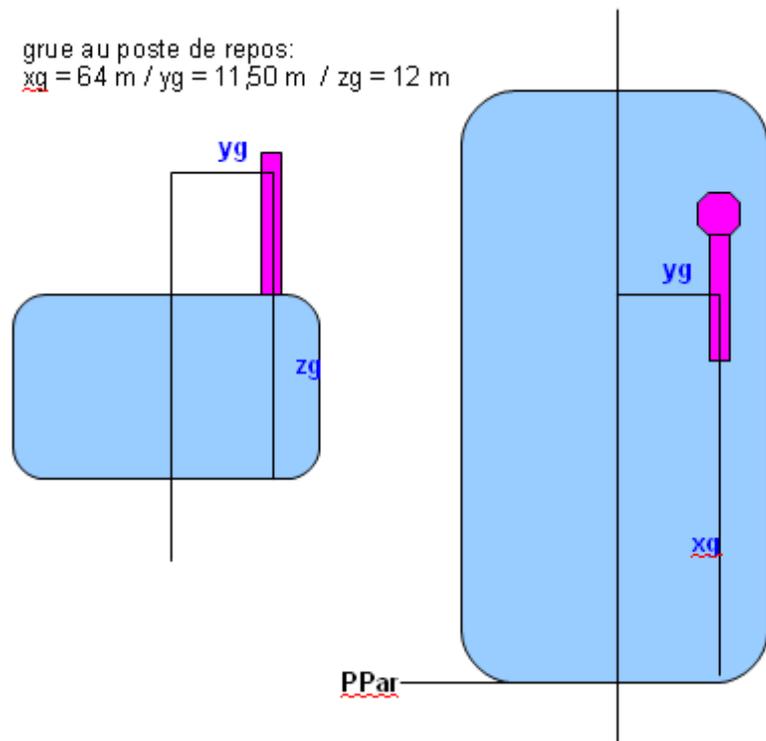
$$TAR = TF - (Diff / L) * LCF$$

TF	Diff	L	LCF	TAV	TAR
6,951	0,113	128,000	61,612	6,892	7,005

**Le navire est replacé dans les conditions initiales de la 1 ère question.
Une nouvelle mission impose la mise à l'eau d'un sous-marin d'un poids $p = 42,5$ tonnes à l'aide de la grue du bord, poids de la flèche $8,5$ tonnes.
Le sous marin à son poste de repos est :**

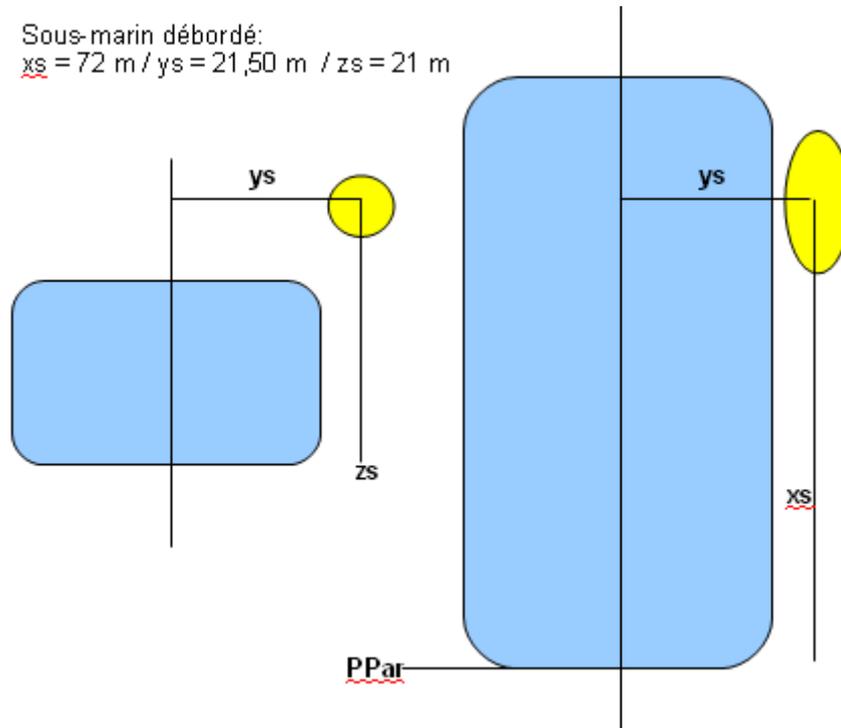


La grue du bord :



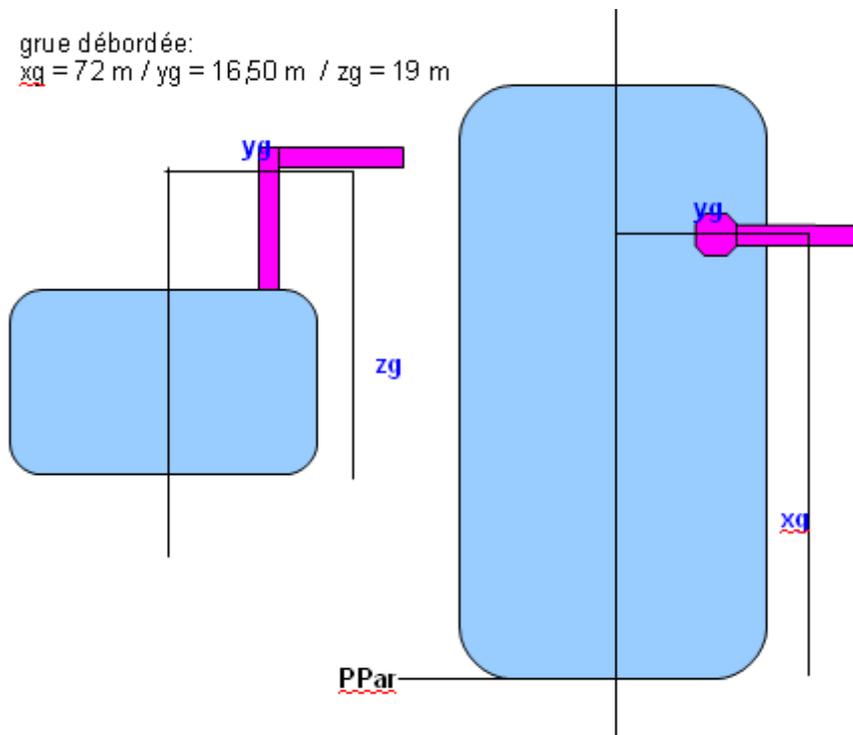
A la fin des opérations de débordement :

Sous-marin débordé:
 $\underline{x_s} = 72 \text{ m} / y_s = 21,50 \text{ m} / z_s = 21 \text{ m}$



La grue du bord :

grue débordée:
 $\underline{x_g} = 72 \text{ m} / y_g = 16,50 \text{ m} / z_g = 19 \text{ m}$



Calculer la gîte prise par le navire.

Prendre en compte le sous-marins, renseigner le tableau de chargement.

Tableau de chargement					Carènes liquide				
	Poids	Kg	Mts / Kg	Lcg	Mts / Lcg	Ψ	i	$\Psi * i$	
P		14500,000	8,450	122525,000	64,180	930610,000			
p1		425,000	4,050	1721,250	24,000	10200,000	0,980	473,000	
p2		44,000	6,150	270,600	38,470	1692,680	0,850	11,000	
p3		36,000	7,280	262,080	31,750	1143,000	1,000	9,000	
p4		85,000	6,850	582,250	119,350	10144,750	1,025	44,000	
p5		32,000	6,650	212,800	8,640	276,480	1,025	51,000	
p8		42,000	15,000	630,000	57,000	2394,000			
Totaux		15164,000		126203,980		956460,910			

Compléter le tableau hydrostatique.

Données d'entrée	P	T	LCB	LCF	KMT	KML
14850,000	14850,000	6,900	63,130	61,810	9,350	144,600
15164,000	15164,000	6,941	63,081	61,652	9,334	144,356
15623,000	15623,000	7,000	63,010	61,420	9,310	144,000

Calcul de la gîte avec :

$$\text{Gîte } \theta : \tan \theta = (p * y) / MSIT_{CCL}$$

ou

$$\text{Gîte } \theta : (53,7 * ((p * y) / MSIT_{CCL}))$$

Calcul de (p * y)

On calculera (p * y) pour le sous-marin soit : 425 t.m

On calculera (p * y) pour la flèche de grue soit : 42,5 t.m

(p * y) total: 467,5 t.m

Calcul de $MSIT_{CCL}$

Centre de gravité fluide

$Kg_f = KG \sum \Psi * I / P$	KG	$\sum \Psi * i$	P	Kgf
	8,323	579,265	15164,000	8,361

KG extrait du tableau de chargement

Hauteur métacentrique transversale avec carènes liquides

$GfMT = KMT - Kg_f$	KMT	Kgf	GfMT
	9,334	8,361	0,973

KMT extrait du tableau des éléments hydrostatiques

Module de stabilité initiale transversale avec carènes liquides

$MSIT_{CCL} = P * GfMT$	P	GfMT	$MSIT_{CCL}$
	15164,000	0,973	14753,765

Dernier calcul pour la gîte :

$$\text{Gîte } \theta : \tan \theta = (p * y) / MSIT_{CCL}$$

$$\text{Gîte } \theta : \tan \theta = 467,5 / 14753,756$$

$$\text{Gîte } \theta : \tan \theta = 0,032 \text{ un angle compris entre } 1^\circ \text{ et } 2^\circ$$

ou

$$\text{Gîte } \theta : (57,3 * ((p * y) / MSIT_{CCL}))$$

$$\text{Gîte } \theta : (57,3 * ((467,5) / 14753,756))$$

$$\text{Gîte } \theta : (57,3 * (0,032)) = 1,8^\circ$$

Conseil.

Avant de se lancer dans les calculs, établissez votre liste de formules.

En fonction de la situation, choisir la formule, puis rechercher les inconnues soit dans le tableau de chargement, soit dans celui des éléments hydrostatiques.