

EXERCICES DE CHARGEMENTS

Exercice 1CH

Un navire sans gîte, à murailles droites, flotte en eau de mer de densité 1,025. Ses tirants d'eau sont de 5,80m à l'avant et de 6,70m à l'arrière.

On donne les renseignements suivants pour le navire dans les conditions ci-dessus :

déplacement 14540 tonnes

moment pour faire varier la différence d'un centimètre : 165 tm

variation de déplacement par centimètre d'immersion : 20 t/cm

centre de gravité de la flottaison sur la perpendiculaire milieu.

- 1) Quels seront les nouveaux tirants d'eau après l'ensemble des opérations suivantes :
 - 2) vidange d'un ballast, soit 290 tonnes, dont le centre de volume est à 36m sur l'arrière de la PPM dans le plan longitudinal de symétrie ;
 - 3) chargement de 150 tonnes en un point situé à 2m du longitudinal, sur tribord, et à 30m sur l'avant de la PPM ;
 - 4) chargement de 200 tonnes à 56m sur l'arrière de la PPM et à 4m sur babord du longitudinal.
- 2) A la fin des manutentions ci-dessus, le navire a exactement 2 degrés de gîte sur babord :
 - 3) calculer le module de stabilité initial transversal ;
 - 4) en déduire le (r-a) sachant que les pertes de stabilité par carènes liquides sont de 270tm
- 3) Les opérations du 1 ayant été effectuées, calculer l'épaisseur de la tranche de surimmersion qui résulterait d'un passage du navire en eau douce.

Exercice 2CH

Un navire de 144,5m de longueur entre perpendiculaires arrive sans gîte dans un port en eau saumâtre de densité 1,010. Les tirants d'eau, relevés à l'arrivée, sont de 6,82m à l'avant et 7,68m à l'arrière. Le total des pertes de stabilité par carènes liquides est estimé à 1400 tm et le centre de gravité du navire se trouve à 7,30m de la ligne d'eau zéro notée OH. On donne les renseignements suivants pour le navire sans différence :

T	V	Z(C)	X(C)	Z(m)	Z(M)	X(F)
m	m ³	m	m	m	m	m
7,30	13 949	3,87	71,51	8,34	169,8	70,52
7,20	13 730	3,82	71,53	8,34	170,9	70,63
6,90	13 078	3,66	71,58	8,35	174,3	70,93
6,80	12 862	3,61	71,59	8,35	175,8	71,00

V volume de carène

Z(C) distance du centre de carène à la ligne d'eau zéro

X(C) distance du centre de carène à la PPAR

Z(m) distance du métacentre transversal à la ligne d'eau zéro

Z(M) distance du métacentre longitudinal à la ligne d'eau zéro

X(F) distance du centre de gravité de la flottaison à la PPAR

- 1) Calculer :
 - 2) le déplacement
 - 3) la distance métacentrique initiale transversale compte tenu des pertes par carènes liquides
 - 4) la distance du centre de gravité général du navire à la PPAR .

2) x, y, z désignant respectivement les distances d'un point à la PPAR, au plan longitudinal de symétrie ($y > 0$ vers babord) et à la ligne d'eau zéro, calculer à la fin des opérations commerciales suivantes :

Opération	p (t)	x (m)	y (m)	z (m)
chargement	200	101,70	+ 4,75	11,08
	300	30,40	-3,55	3,25
déchargement	610	35,25	0,00	7,20
	830	78,50	0,00	3,70

- a) le déplacement et les coordonnées du centre de gravité du navire
- b) le module de stabilité initiale transversale sachant que les pertes par fluidité n'ont pas changé
- c) la gîte éventuelle et les tirants d'eau

Exercice 3CH

Le devis d'armement donne les renseignements ci-après, relatifs au navire sans différence et flottant en eau de mer :

T	P	X(C)	Z(C)	Z(m)	Z(M)	X(F)
5,00	5 798	52,70	2,80	6,24	125,8	47,85
4,80	5 568	52,78	2,69	6,26	126,3	47,70
4,60	5 339	52,86	2,58	6,29	126,9	47,56
4,40	5 112	52,93	2,47	6,33	127,5	47,43
4,20	4 888	53,00	2,36	6,39	128,2	47,30
4,00	4 668	53,07	2,25	6,47	129,0	47,18

T	tirant d'eau en mètres
P	déplacement en tonnes
X(C)	distance du centre de carène à la PPAR en mètres
Z(C)	distance du centre de carène à la ligne d'eau zéro en mètres
Z(m)	distance du métacentre transversal à la ligne d'eau zéro
Z(M)	distance du métacentre longitudinal à la ligne d'eau zéro en mètres
X(F)	distance du centre de flottaison à la PPAR en mètres

Longueur entre perpendiculaires : 108 mètres.

1. Le navire arrive dans un port de mer pour compléter son chargement.

Ses tirants d'eau sont alors : TAV = 3,81m TAR = 4,20m

et la distance du centre de gravité au métacentre transversal est $(r-a) = 0,38$ m.

Quel est le déplacement du navire ?

2. Le navire doit charger 320 tonnes dans la cale 2 (point moyen à 72m de la PPAR et à 6,10m de la ligne d'eau zéro) et 570 tonnes dans la cale 4 (point moyen à 40m de la PPAR et à 5,30m de la ligne d'eau zéro).

Déterminer les distances à

la PPAR et à la ligne d'eau zéro du centre de gravité du navire après chargement.

3. Quelle est la nouvelle valeur du (r-a) et quels sont les tirants d'eau après chargement ?
4. Une fois le chargement précédent effectué, on reçoit l'ordre d'embarquer un chargement supplémentaire de 95 tonnes. Comment répartir ce chargement entre les cales 2 et 4 pour que le navire ait une différence de 20cm sur cul ?
5. Quels sont alors les tirants d'eau ?

Exercice 4CH

Sur un navire en eau de mer de densité 1,026, on mesure, en début de chargement, les tirants d'eau sur les échelles avant, milieu et arrière situées sur les perpendiculaires :

$$TAV = 5,30m \quad TM = 5,90m \quad TAR = 6,80m$$

On les relève à nouveau en cours de manutention :

$$TAV' = 7,65m \quad TM' = 8,15m \quad TAR' = 8,65m$$

1. Calculer le tonnage des marchandises embarquées. (Utiliser, pour effectuer la correction d'arc ou de contre arc, la règle empirique habituelle).
2. On veut alors embarquer un poids supplémentaire p sans modifier le tirant d'eau arrière et en donnant à la différence une valeur positive égale à 0,60m. Quelle doit être la position du centre de gravité de p ? Calculer p.
3. On dispose de deux compartiments dont les centres de gravité sont situés respectivement à 100m et à 70m de la perpendiculaire arrière. Comment répartira-t-on p entre ces deux compartiments ?

Extrait des documents du bord

Tableau établi pour un navire sans différence :

Tirant d'eau	Déplacement (1,026 V)	Distance du c.d.g de la flottaison à PPAR
8,30	17 103	73,87
8,20	16 940	73,89
8,10	16 698	73,92
6,10	11 995	74,36
6,00	11 765	74,38
5,90	11 587	74,40

Longueur entre perpendiculaires : 153 mètres

En fin de chargement, le moment nécessaire pour créer une différence de 1 cm a pour valeur 210 tm par cm.

Exercice 5CH

Un navire à quai dans un port en eau douce a pour tirants d'eau :

sur l'échelle avant 6,30m
 sur l'échelle milieu 6,60m
 sur l'échelle arrière 7,05m

- 1) Calculer son déplacement et la distance XG du centre de gravité à la perpendiculaire AR, sachant que $ZG = 7,55m$
- 2) Quel poids p peut-on encore charger sachant qu'il faut passer sur un seuil en eau saumâtre (densité $d = 1,015$) où la profondeur est de 7,90m ? (On prendra un pied de pilote de 0,50m et on chargera le navire pour avoir une différence de 0,60m au passage du seuil).
- 3) Le poids p doit être réparti entre les compartiments n°2 ($x = 85,37m$; $y = 8,15m$) et n°4 ($x = 67,85m$; $y = 7,25m$). Calculer les poids p2 et p4 à charger dans les deux compartiments.

L'échelle AV est à 2,550m sur l'arrière de la PPAV, l'échelle milieu est sur la perpendiculaire milieu, l'échelle AR est à 4,025m sur l'avant de la PPAR

Longueur entre perpendiculaires 144,5m
 Distance échelle AV à PPAV 2,55m
 échelle AR à PPAR 4,025m
 Déplacement à pleine charge 16431t (en eau de mer de densité 1,025)

Eléments d'assiette et de stabilité (navire sans différence)						
T	V	ZC	XC	Zm	ZM	XF
8,235	16 030	4,377	71,29	8,423	164,2	69,30
8,20	15 952	4,358	71,30	8,419	164,3	69,35
8,10	15 726	4,303	71,33	8,404	164,7	69,48
8,00	15 501	4,248	71,36	8,391	165,1	69,62
7,90	15 277	4,193	71,38	8,378	165,6	69,75
7,80	15 054	4,139	71,41	8,367	166,1	69,89
7,70	14 831	4,086	71,43	8,358	166,7	70,02
7,60	14 610	4,033	71,45	8,350	167,3	70,15
7,50	14 389	3,980	71,47	8,344	168,1	70,28
7,40	14 169	3,927	71,49	8,340	168,9	70,40
7,30	13 949	3,874	71,51	8,337	169,8	70,52
7,20	13 730	3,821	71,53	8,337	171,9	70,63
7,10	13 512	3,768	71,55	8,338	171,9	70,74
7,00	13 294	3,715	71,56	8,341	173,1	70,84
6,90	13 078	3,661	71,58	8,346	174,4	70,93
6,80	12 862	3,607	71,59	8,354	175,8	71,00
6,70	12 646	3,553	71,60	8,364	177,3	71,08
6,60	12 432	3,479	71,61	8,376	178,9	71,15
6,50	12 217	3,445	71,62	8,391	180,6	71,21
6,40	12 004	3,391	71,63	8,408	182,5	71,27
6,30	11 791	3,339	71,64	8,428	184,4	71,33
6,20	11 579	3,287	71,65	8,450	186,5	71,38
6,10	11 367	3,235	71,65	8,475	188,6	71,43
6,00	11 156	3,183	71,66	8,503	191,0	71,47
5,90	10 945	3,130	71,67	8,535	193,4	71,52

5,80	10 735	3,077	71,67	8,569	196,0	71,56
5,70	10 525	3,024	71,67	8,607	198,6	71,60
5,60	10 316	2,971	71,68	8,648	201,5	71,63
5,50	10 107	2,918	71,68	8,692	204,4	71,67
5,40	9 900	2,865	71,68	8,740	207,5	71,70
5,30	9 692	2,812	71,68	8,792	210,7	71,73
5,20	9 484	2,759	71,68	8,848	214,1	71,76
5,10	9 278	2,706	71,68	8,908	217,6	71,79
5,00	9 072	2,653	71,68	8,973	221,3	71,81
4,90	8 866	2,600	71,67	9,043	225,1	71,84
4,80	8 662	2,548	71,67	9,118	229,0	71,86
4,70	8 457	2,496	71,67	9,198	233,2	71,88
4,60	8 252	2,444	71,66	9,283	237,6	71,91
4,50	8 049	2,391	71,66	9,375	242,2	71,92
T	V	ZC	XC	Zm	ZM	XF
4,40	7 846	2,338	71,65	9,472	246,9	71,94
4,30	7 643	2,285	71,65	9,577	252,0	71,96
4,20	7 441	2,233	71,64	9,689	257,2	71,97
4,10	7,239	2,180	71,63	9,809	262,8	71,99
4,00	7 038	2,127	71,62	9,937	268,5	72,00
3,90	6 837	2,074	71,61	10,074	274,7	72,01
3,80	6 637	2,021	71,60	10,221	281,1	72,02
3,70	6 438	1,968	71,59	10,378	287,9	72,03
3,60	6 239	1,915	71,58	10,547	295,0	72,04
3,50	6 041	1,862	71,56	10,727	302,6	72,05
3,40	5 844	1,809	71,55	10,921	310,6	72,06
3,30	5 647	1,756	71,54	11,129	319,1	72,07
3,20	5 451	1,703	71,52	11,352	328,1	72,07
3,18	5 409	1,691	71,51	11,407	330,0	72,07

Exercice 6CH

Votre navire se trouve à quai dans un port en eau de mer de densité 1,026, avec, comme tirants d'eau : TAV = 5,10m TAR = 6,25m

La distance du centre de gravité à la ligne d'eau zéro est égale à 8,00m.

1. Calculez le déplacement, la distance métacentrique initiale transversale (r-a) et la distance du centre de gravité à la perpendiculaire arrière.
2. Vous devez appareiller pour un port de rivière. Lors de la remontée il vous faut franchir un seuil en eau douce, ce qui impose un tirant d'eau maximum de 5,20m. Par ailleurs vous estimez nécessaire d'adopter une différence de 0,40m sur cul pour bien gouverner.
 - a) Que deviendraient les tirants d'eau si le navire allait directement en eau douce ? Quel serait le nouveau (r-a) ?
 - b) Pour réaliser les conditions imposées, vous débarquez 1000 tonnes de marchandises dont le centre de gravité est à 71,70m de la PPAR et à 6,00m de la ligne d'eau zéro ; puis vous effectuez des mouvements de citernes et ballasts à eau de mer dont la situation est donnée en annexe. La consommation en cours de traversée est négligeable.
3. Quel poids d'eau de mer faut-il vidanger ?

Vous vidangez totalement les citernes 1 et 2 et partiellement la citerne 3 ; vous ajustez enfin l'assiette par un transfert du ballast 8 au ballast 1

Quel poids faut-il débarquer de la citerne 3 ?
faut-il transférer ?

Quel poids

4. Quelle sera la valeur de la distance métacentrique initiale transversale au moment du passage du seuil ? Négliger les variations de stabilité dues au transfert et aux carènes liquides apparues à la suite des mouvements.

Extrait du devis d'armement

Longueur entre perpendiculaires 144,50m

Tableau établi pour le navire sans différence (densité 1,026 ; a = 4m)

T	V	P	TPC	ZC	XC	Zm	R	(R-a)	MPC	XF
m	m ³	t	t	m	m	m	m	m	m.t	m
6,00	11 156	11 446	21,6	3,183	71,66	8,503	187,8	183,8	146	71,47
5,90	10 945	11 230	21,6	3,130	71,67	8,535	190,3	186,3	145	71,52
5,80	10 735	11 014	21,5	3,077	71,67	8,569	192,9	188,9	144	71,56
5,70	10 525	10 799	21,5	3,024	71,67	8,607	195,6	191,6	144	71,60
5,60	10 316	10 584	21,4	2,971	71,68	8,648	198,5	194,5	143	71,63
5,50	10 107	10 370	21,3	2,918	71,68	8,692	201,5	197,5	142	71,67
5,40	9 900	10 157	21,3	2,865	71,68	8,740	204,6	200,6	141	71,70
5,30	9 692	9 944	21,3	2,812	71,68	8,792	207,9	203,9	140	71,73
5,20	9 484	9 731	21,2	2,759	71,68	8,848	211,3	207,3	140	71,76
5,10	9 278	9 519	21,1	2,706	71,68	8,908	214,9	210,9	139	71,79
5,00	9 072	9 308		2,653	71,68	8,973	218,6	214,6	138	71,81

Situation des citernes et des ballasts à eau salée

Désignation	Poids t	Zg m	Xg m	Situation
Ballast 1	130	1,05	124,0	vide
Ballast 8	100	0,85	20,0	plein
Citerne 1	272	5,40	73,0	plein
Citerne 2	326	5,40	69,0	plein
Citerne 3	172	2,80	22,5	plein

Exercice 7CH

Votre navire est en cours de chargement dans un port de rivière (densité de l'eau égale à 1). Tirants d'eau : TAV = 8,40 m, TAR = 7,80 m.

Cote du centre de gravité égale à 12,40 m au-dessus de la ligne d'eau zéro.

1) Quel poids p de fret pouvez-vous embarquer pour l'amener à pleine charge ?

2) Comment devez-vous répartir p entre deux tranches dont les centres de gravité respectifs sont situés à 130 mètres et à 50 mètres de la perpendiculaire arrière pour obtenir une différence de 0,75 m sur cul en fin de manutention ?

La cote du centre de gravité de ce chargement supplémentaire peut être estimée à 13,50 m.

3) Vous appareillez, navire chargé conformément aux prévisions. La consommation en cours de traversée sera négligée.

Quel sera le pied de pilote au passage sur un seuil de profondeur égale à 12 mètres, situé à l'embouchure de la rivière, en eau de mer de densité 1,025 ?

4) Le navire étant en mer, un ripage de cargaison se produit par mauvais temps. Vous mesurez une gîte permanente de 25° sur bâbord.

Tracez la courbe des bras de levier de redressement avant et après ripage. La situation vous paraît-elle critique ? Justifiez votre réponse.

Vous envisagez de redresser le navire en ballastant sur tribord. Quel poids approximatif devrez-vous embarquer ? La distance moyenne des centres de gravité des ballasts au plan longitudinal de symétrie est égale à 15 mètres. Quels avantages et quels inconvénients présenterait cette opération ?

Extrait des documents de bord

a. Renseignements généraux

Longueur entre perpendiculaires.....192 m

Navire à pleine charge :

Tirant d'eau sans différence.....10,10 m

Déplacement.....35 473 tonnes

b. Tableau établi pour le navire sans différence

T (m)	V (m ³)	P=1,025V (t)	X(C) (m)	Z(m) (m)	Z(M) (m)	X(γ) (m)
8,00	25 763,5	26 407,6	95,003	13,422	278,793	90,983
8,20	26 566,7	27 230,8	94,877	13,385	276,327	90,667
10,10	34 607,8	35 473,0	93,522	13,323	271,696	87,651
10,20	35 051,2	35 927,5	93,446	13,330	271,368	87,555
10,40	35 945,6	36 844,2	93,297	13,348	270,458	87,410

c. Extrait des courbes pantocarènes

Bras de levier de redressement KN correspondant à une cote nulle du centre de gravité (cas du navire à pleine charge)

θ	25°	45°	60°
KN	5,87m	9,89m	11,58m

L'angle d'envahissement a une valeur de 50° pour le navire à pleine charge.

On donne : $\sin 25^\circ = 0,423$ $\cos 25^\circ = 0,906$.