

ETUDE DE FAISABILITE DE L'IMPLANTATION DU DISPOSITIF DE MOUILLAGE

SOMMAIRE

1	Contexte du projet	Page 2
2	Diagnostic	Page 3
2.1	Zone de projet	Page 3
2.2	Données océaniques et climatiques	Page 4
2.2.1	Niveau d'eau	Page 4
2.2.2	Vent	Page 5
2.2.3	Courant	Page 6
2.2.4	Houle	Page 7
2.3	Reconnaissance des fonds	Page 8
2.3.1	Cartographie bathymétrique	Page 9
2.3.2	Caractéristiques des sédiments	Page 9
2.3.3	Biocénose	Page 11
3	Faisabilité du projet	Page 12
3.1	Caractéristiques du navire de projet	Page 12
3.2	Éléments de prédimensionnement du projet	Page 13
3.2.1	Schéma de principe du dispositif de mouillage	Page 13
3.2.2	Éléments de prédimensionnement du dispositif de mouillage	Page 13
3.3	Estimation du coût des travaux d'implantation	Page 13
3.4	Maintenance du dispositif de mouillage et de sa zone d'évitage	Page 13
3.4.1	Maintenance préventive du dispositif	Page 14
3.4.2	Opérations de maintien du bon état écologique de la zone d'évitage	Page 14
4.	Annexe feuille de calcul des prédimensionnements du projet	

1 Contexte du projet



Ce projet s'inscrit dans le respect des objectifs à long terme de la Stratégie Nationale pour la Mer et le Littoral. En effet, la mise en place d'un dispositif de mouillage à ancrage permanent apporte l'assurance du maintien du bon état écologique du milieu environnant, et favorise le développement de l'Économie Bleue induite par le développement du tourisme côtier et maritime lié à la présence des croisiéristes.

Ce projet applique les objectifs en cours de définition dans le document stratégique de la façade méditerranée (DSF), par la prise de dispositions relatives :

- ✓ Au maintien d'une situation compatible avec le bon état écologique,
- ✓ À la mise en œuvre d'une activité croisière raisonnée (navires d'une capacité moyenne en passagers)
- ✓ Et à la réalisation d'un programme d'opérations de suivi et de maintenance des fonds de l'espace du cercle d'évitement du dispositif de mouillage.

Ce projet s'appuie aussi sur la vocation d'accueillir des navires de croisières au mouillage dans une zone située à l'Est - Sud-Est du port du Lavandou, telle que définie dans le SCoT Provence Méditerranée en cours de validation (S M V M).

Par ailleurs, le préfet maritime de la Méditerranée; par courrier 501534 PREMAR MED/AEM/NP du 30 août 2018 (NAT), informait monsieur le maire du Lavandou, qu'il avait donné les directives au CROSS Méditerranée pour autoriser le mouillage des navires de croisières dans les zones de mouillage identifiées en annexe de l'arrêté n°155/2016 du 24 juin 2018 ou, à défaut, dans les zones dénuées d'herbiers de posidonies, généralement au-delà d'une bathymétrie supérieure à 30 mètres, sous réserve de conditions météorologiques compatibles.

Dans ce même courrier, le préfet maritime de la Méditerranée rappelait que l'autorisation de mouillage n'avait valeur que dans l'aboutissement des procédures d'installation de coffre, et que l'implantation rapide d'un coffre de mouillage demeurerait la solution la plus adaptée pour lever toutes les contraintes liées au mouillage à l'ancre.

C'est dans ce contexte que les actions relatives à l'implantation d'un dispositif de mouillage à ancrage permanent ont débutées par la recherche d'une zone adaptée capable de recevoir l'embase d'un dispositif de mouillage, à proximité du port du Lavandou, mais aussi proche des points habituels de mouillage à l'ancre des navires de croisières.

2 Diagnostic

2.1 Zone de projet

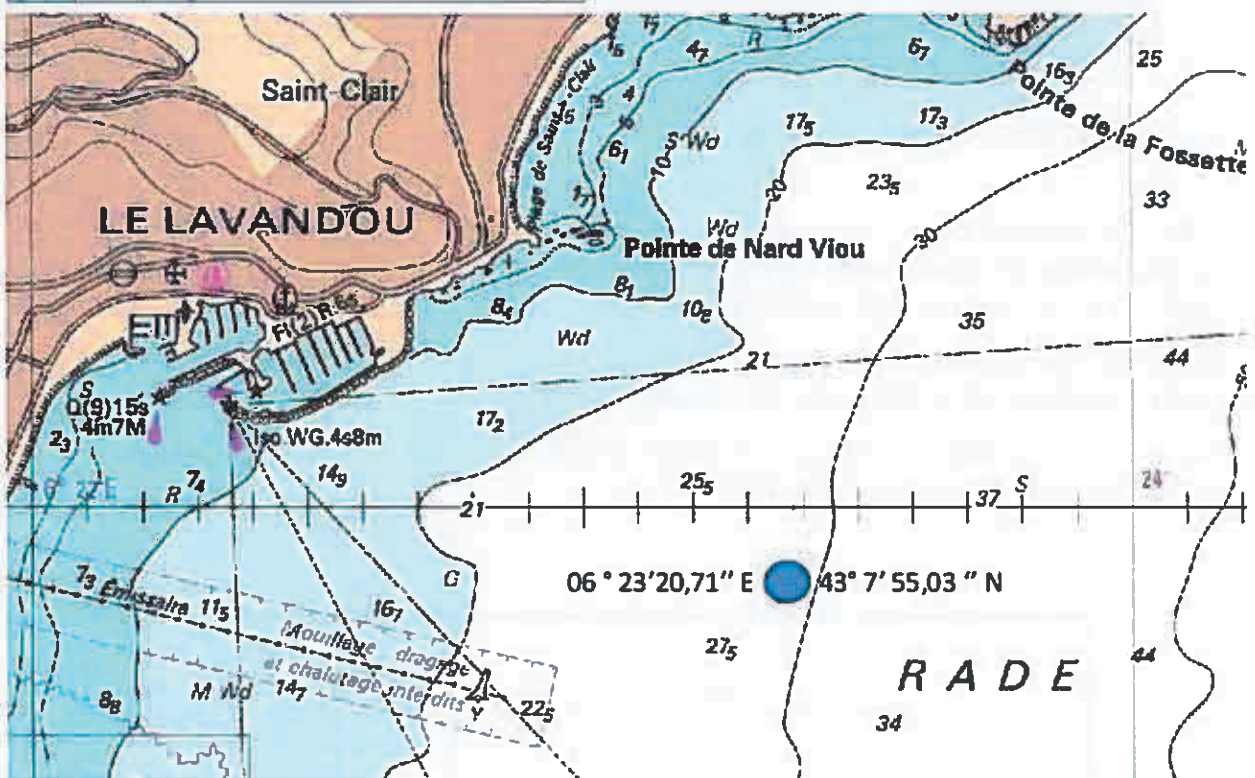


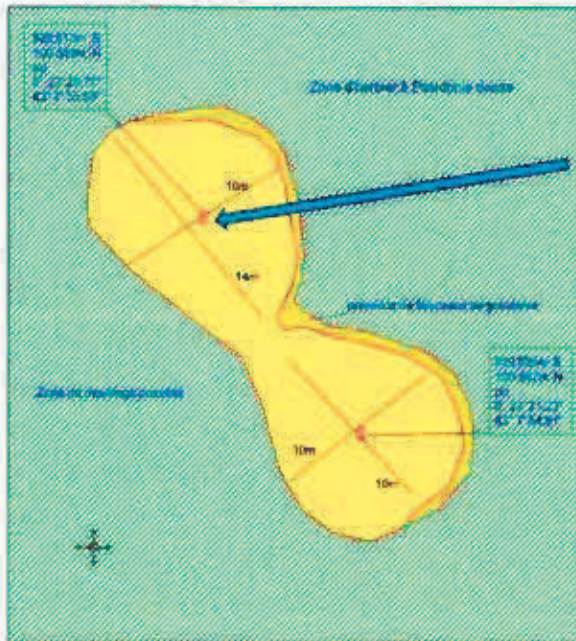
La campagne de recherche et d'analyse d'un fond sans présence d'espèces protégées en Méditerranée pour y mettre en place l'embase d'un dispositif de mouillage à ancrage fixe a été réalisée à la fin du mois de septembre 2018.

Le polygone tracé en vert sur la carte ci-contre représente la surface à traiter avec des moyens de plongée. La bathymétrie de la zone y varie entre 24 mètres et 32 mètres.

Cette campagne fait l'objet d'un compte-rendu et d'une vidéo annexés au présent document

La recherche a permis de trouver une zone claire, sableuse, et relativement grande, en forme de cacahuète.





Les coordonnées du point de référence de la zone sont

Coordonnées Lambert III :

929 613m E 100 565m N

Coordonnées WGS84

6° 23' 20,71 "E 43° 7' 55,03"N

Ce point se situe à une profondeur de 28 mètres CM.

La partie Nord de la zone apparaît comme la mieux adaptée au projet et se situe à environ 1400 mètres de l'entrée du port du Lavandou. Elle a une surface d'approximativement 100 m² pour recevoir l'embase du dispositif de mouillage car dépourvue des espèces protégées présentes en mer Méditerranée.

- Pas de posidonies,
- Pas de cymodocées,
- Pas de grandes nacres

La zone de projet est suffisamment éloignée de la côte et **autorise en toute sécurité** l'accueil des navires de croisières et de grande plaisance (respect d'une distance de sécurité de 500 mètres par rapport à la côte)

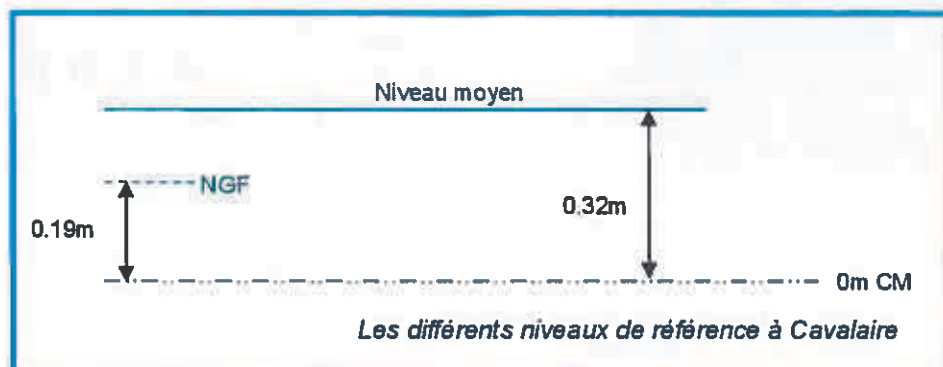
2.2. Les données océaniques et climatiques

2.2.1 Le niveau d'eau

Le phénomène de marée engendre un marnage semi-diurne et diurne de faible amplitude, de 0,20 m à 0,45 m sur les côtes méditerranéennes françaises.

Le niveau moyen entre Toulon et Saint Tropez est compris entre 0.42 m CM et 0.47 m CM (valeur minimum 0.2 m CM, valeur maximum 0.65 m CM).

Par ailleurs, à Cavalaire, les niveaux de marée astronomique sont compris entre 0.09 m CM et 0.55 m CM, pour un niveau moyen à 0.32 m CM.



Il convient également de tenir compte de la montée du niveau général des océans attendue dans les décennies à venir, qui devrait varier de 0.4 m à 1.0 m en hypothèse extrême à l'horizon 2100. Les hypothèses en la matière indiqueraient une valeur de +0.35m à l'horizon 2060 et +0.75m à l'horizon 2100.

Le tableau ci-dessous spécifie, en fonction des périodes de retour, les valeurs de la surcote, du niveau de marée associée ainsi que le niveau d'eau haut qui peuvent être pris en compte dans le projet.

Période de retour	Surcote	Niveau de marée associé	Niveau d'eau haut de projet / Réf 0m CM
1 an	0.31 m	0.55m CM	0.86m CM
5 ans	0.42 m	0.55m CM	0.97m CM
10 ans	0.46 m	0.55m CM	1.01m CM
20 ans	0.49 m	0.55m CM	1.05m CM

Les hypothèses retenues pour le projet sont les suivantes :

Surcote du projet $S = 0,49$ m Niveau d'eau haut du projet, $N_h = 1,05$ m CM

2.2.2 Le vent

La force du vent est définie en faisant référence à l'échelle numérique allant de 0 (calme) à 12 (ouragan), adoptée à l'origine par l'amiral Beaufort et présentée dans le tableau suivant :

	Description	Vitesse du vent(m/s)
0	Calme	< 0.2
1	Très légère brise	0.3 - 1.5
2	Légère brise	1.6 - 3.3
3	Petite brise	3.4 - 5.4
4	Jolie brise	5.5 - 7.8
5	Bonne brise	7.9 - 10.7
6	Vent frais	10.8 - 13.8
7	Grand frais	13.9 - 17.0
8	Coup de vent	17.1 - 20.7
9	Fort coup de vent	20.8 - 24.4
10	Tempête	24.5 - 28.4
11	Violente tempête	28.5 - 32.6
12	Ouragan	> 32.7

Pour l'année 2018, la compilation des résultats des mesures journalières de la valeur de la vitesse du vent permettent d'établir le tableau suivant :

Vv en m/s	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>0,2778	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,8
>1,3889	9,6	8,4	7,8	6,8	10,2	10,9	9,5	10	11,6	13,1	10,3	10,3	118,5
>3,3333	11,8	11,4	13,4	14	14,8	14,9	17,7	18,1	14,1	11,6	11,6	11,7	165,1
>5,7778	6	5,2	5,5	5,3	4,3	2,9	2,7	2,3	3,2	4,2	6,1	5,5	53,2
>7,7778	2,5	1,9	3,2	3	1,3	1	1	0,5	0,9	1,7	1,6	2,4	21
>10,5556	0,8	1,1	0,9	0,9	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,7	5,8
>13,8889	0,1	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0,5
>16,9444	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1

En 2018, la vitesse du vent au Lavandou a été inférieure ou égale à 7,7778 m/s (limite supérieure d'un vent de force 4 Beaufort) pendant 337 jours.

Le domaine d'emploi du dispositif pressenti par l'usage (Force 0 Beaufort (vent calme) et Force 4 Beaufort (Jolie brise) est pleinement justifié. Ces limites serviront de référence pour les calculs des efforts d'amarrage du dispositif.

La limitation d'emploi du dispositif de mouillage (force4 maximum) impose la mise en place de règles particulières d'utilisation et de moyens adaptés d'application.

La vitesse du vent définie par « l'échelle Beaufort » correspond à une moyenne arithmétique des valeurs de la vitesse du vent pendant 10 minutes à une altitude de 10 mètres.

L'hypothèse retenue pour le projet est la suivante :

Vitesse du vent à 10 mn, $Vv_{10mn} = 7,778 \text{ m/s}$

2.2.3 Courant

Le courant géostrophique et permanent (Ligure) est assez lent (0,5 nœud) sauf par vent d'Est. Les courants de marée sont négligés en raison du faible marnage.

Le courant Liguro-Provençal génère une circulation générale des eaux d'Est en Ouest. Situé près des côtes, sa vitesse moyenne est de 0,5 nœud. Il porte de l'Est à l'Ouest et ne se manifeste qu'au large du littoral. Des contre-courants, orientés de l'Ouest vers l'Est, en sens inverse du courant géostrophique permanent, se manifestent en rade de Bormes-les-Mimosas et le long du littoral de la Corniche des Maures Occidentales. Ils sont renforcés par régimes d'Ouest et de Nord-Ouest et leur vitesse de surface peut dépasser 1 nœud [Jean Blanc, 1975].

L'hypothèse retenue pour le projet est la suivante :

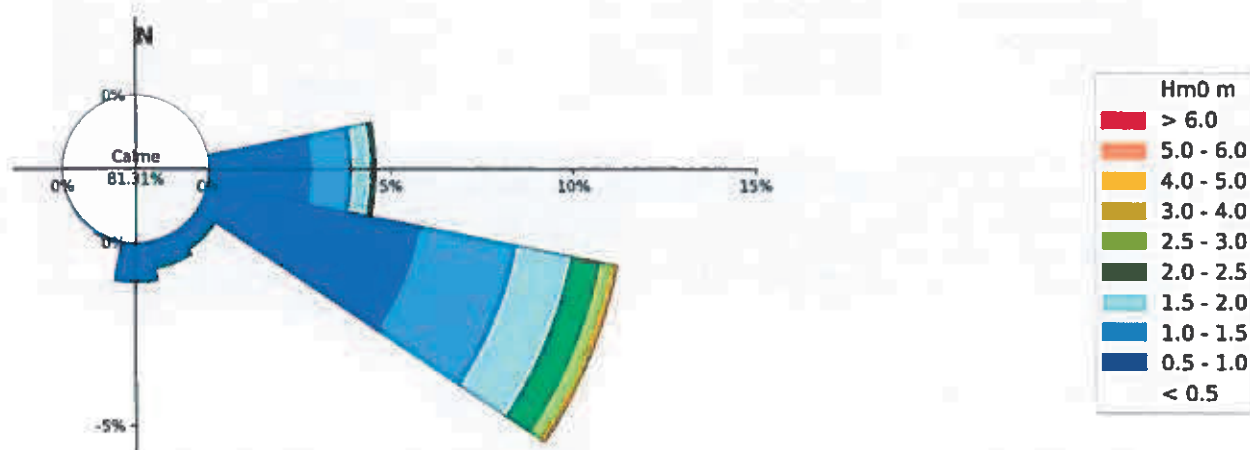
Vitesse du courant $Vc = 0,514444 \text{ m/s}$

2.2.4 Houle



Les données nécessaires à l'établissement des éléments de la houle du projet sont issues d'études réalisées au profit de la commune du Lavandou, et, les valeurs des données relatives au point 05474 CEREMA, point très proche du point de référence du projet et situé à une profondeur de -27 mètres CM ont été utilisées pour calibrer le projet.

La rose des houles, présentation synthétique de ces données, montre une zone de calme importante



En complément, le tableau suivant fait état des caractéristiques des houles les plus fortes rencontrées sur la période allant de 1979 à 2010 au point 05474. Elles permettent de distinguer :

- De très fortes tempêtes venant des secteurs Est à Est-Sud-Est,
- Et celles, beaucoup moins fréquentes, parvenant depuis le secteur Sud-Sud-Est

Date	Hm0	TP	E-ES	Date	Hm0	TP	S-SE
26/10/1979	3.8m	9.5s	N105	03/10/1984	1.8m	5.8s	N162
21/12/1979	3.8m	9.6s	N104	09/10/1987	1.6m	10.2s	N149
06/11/1982	3.9m	8.8s	N105	24/02/1989	1.5m	9.8s	N176
29/01/1986	4.2m	9.2s	N106	05/01/1994	1.7m	8.9s	N158
28/02/1986	3.9m	9.6s	N105	17/01/1995	1.5m	6.5s	N157
21/06/1992	3.6m	8.8s	N104	05/11/1997	1.7m	10.3s	N166
18/10/1994	3.7m	8.0s	N104	19/09/1999	2.1m	5.9s	N165
01/02/1996	3.4m	9.2s	N105	27/12/1999	1.3m	12.1s	N168
08/12/1996	3.6m	9.8s	N107	05/11/2000	1.7m	10.0s	N173
15/12/1997	4.5m	10.3s	N107	26/02/2001	1.5m	5.9s	N145
10/11/2001	3.8m	10.4s	N106	02/03/2001	1.3m	11.3s	N165
03/12/2003	4.6m	10.5s	N107	30/10/2003	1.8m	11.1s	N166
20/02/2004	4.2m	9.9s	N106	01/12/2005	1.5m	10.3s	N174
15/04/2004	3.6m	8.4s	N102	18/02/2006	1.4m	9.0s	N177
25/10/2007	3.9m	9.0s	N106	04/03/2006	1.6m	10.4s	N175
03/01/2008	3.7m	9.2s	N104	28/11/2008	1.6m	11.1s	N166
27/11/2008	3.5m	11.5s	N107	23/12/2009	1.5m	8.2s	N174
25/12/2008	3.8m	10.6s	N107	30/10/2010	1.6m	9.7s	N154
02/03/2010	3.5m	8.3s	N102				

Occurrence	Secteur Est	Secteur SSE
Annuelle	Hm0=3.7m ; TP=8.0s à 10.0s	Hm0=1.2m ; TP=4.0s à 11.0s
Décennale	Hm0=5.0m ; TP=10.0s à 10.5s	Hm0=1.8m ; TP=6.0s à 11.0s
Occurrence	Secteur Est	Secteur SSE
Vingtennale	Hm0=5.4m ; TP=10.5s à 11.0s	Hm0=2.0m ; TP=8.0 à 11.0s
Cinquantennale	Hm0=5.9m ; TP=11.0s	Hm0=2.2m ; TP=9.0s à 11.0s
Centennale	Hm0=6.2m ; TP=11.5s	Hm0=2.4m ; TP=9.0s à 11.0s
Extrême	Hm0=6.6m ; TP=12.0s	Hm0=2.6m ; TP=9.0s à 11.0s

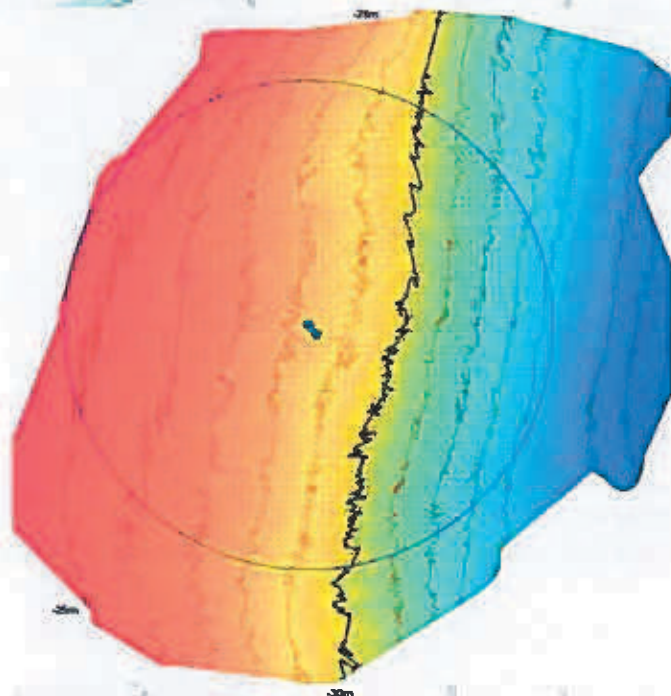
Les hypothèses retenues pour le projet sont les suivantes :

Houle H01 = 5,4 m TP01 = 10,5 s / p= 28 m / N 90
Houle H02 = 2,0 m, TP02 = 8 s / p=28 m / N160

2.3 Reconnaissance des fonds

EOL/SERANTONI a effectué la mesure des fonds marins pour la réalisation de la cartographie bathymétrique et biocénotique au niveau du cercle d'évitage centré sur le point de référence de la zone du projet. Les comptes rendus sont fournis en annexe.

2.3.1 Cartographie bathymétrique



Les valeurs de la bathymétrie des quatre points cardinaux de la zone du cercle d'évitage sont les suivantes

Nord	27,00 m NGF (26,81 m CM)
Est	> 34,00 m NGF, (> 33,81 m CM)
Sud	29,00 m NGF, (28,81 m CM)
Ouest	24,00 m NGF (23,81 m CM)

2.3.2 Caractéristiques des sédiments

Les analyses physico-chimiques des échantillons moyens de sédiments ont été réalisées par le laboratoire d'Eurofins environnement. Le rapport d'analyse est fourni en annexe.

METAUX	Unité	Valeur	N1	N2	
Aluminium	mg/kg M.S	1600			
Arsenic	mg/kg M.S	12,3	25	50	Ok
Cadmium	mg/kg M.S	<0,1	1,2	2,4	Ok
Chrome	mg/kg M.S	575	90	180	Ok
Cuivre	mg/kg M.S	<500	45	90	Ok
Mercure	mg/kg M.S	<0,1	0,4	0,8	Ok
Nickel	mg/kg M.S	2,68	37	74	Ok
Phosphore	mg/kg M.S	123			
Plomb	mg/kg M.S	<5,00	5.52	100	Ok
Zinc	mg/kg M.S	8,46	276	552	Ok
Phosphore total	mg/kg M.S	283			

HAP	Unité	Valeur	N1	N2	
Naphtalène	/kg M.S	0.0062	160	1130	Ok
Acénaphthylène	mg/kg M.S	<0.0022	40	340	Ok
Acénaphène	mg/kg M.S	<2,4	15	260	Ok
Fluorine	mg/kg M.S	0.016	20	280	Ok
Phénanthrène	mg/kg M.S	0.034	240	870	Ok
Anthracène	mg/kg M.S	0.019	85	590	Ok
Fluoranthène	mg/kg M.S	0.0055	600	2850	Ok
Pyrène	mg/kg M.S	0.0065	500	1500	Ok
BENZON-(a)-anthracène	mg/kg M.S	0.0044	260	930	Ok
Chrysène	mg/kg M.S	0.0034	260	1590	Ok
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg M.S	0.0042	380	900	Ok
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg M.S	<0.0022	400	400	Ok
Benzo(a)pyrène	mg/kg M.S	0.005	200	1015	Ok
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg M.S	<0.0022	60	160	Ok
Benzo(ghi)Pérylène	mg/kg M.S	0.0023	1700	5650	Ok
Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	mg/kg M.S	0.0022	1700	5650	Ok
Somme des HAP mg/kg M.S.					
Polychlorobiphényles (PCBs)					

PCB	Unité	Valeur	N1	N2	
PCB 28	mg/kg M.S. *	<0.001	5	10	Ok
PCB 52	mg/kg M.S. *	<0.001	5	10	Ok
PCB 101	mg/kg M.S. *	<0.001	10	20	Ok
PCB 118	mg/kg M.S. *	<0.001	10	20	Ok
PCB 138	mg/kg M.S. *	<0.001	20	40	Ok
PCB 153	mg/kg M.S. *	<0.001	20	40	Ok
PCB 180	mg/kg M.S. *	<0.001	10	20	Ok
SOMME PCB (7)	mg/kg M.S. *	<0.001			

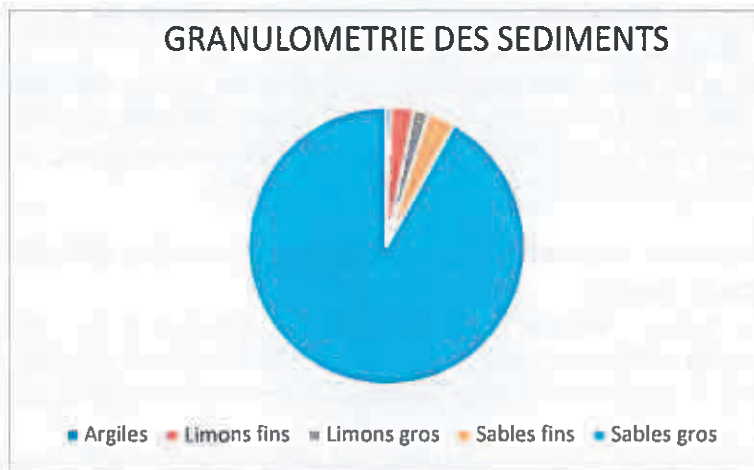
ORGANO ETAIN	Unité	Valeur	N1	N2	
LS2GK : Dibutylétain cation (DBT)	µg/kg M.S.	<2.5			
LS2GL : Tributylétain cation (TBT)	µg/kg M.S.	<2.5	100	400	Ok
LS2IJ : Tétrabutylétain (TeBT)	µg/kg M.S.	<2.5			
LS2IK : Monobutylétain cation	µg/kg M.S.	<2.5			

Les analyses des sédiments montrent :

- Des indices de pollutions satisfaisants
 - Teneur en Carbone Organique Total (1,910 g/kg M.S)
 - Teneur en Azote Kjeldahl (<0,5 g/kg M.S)

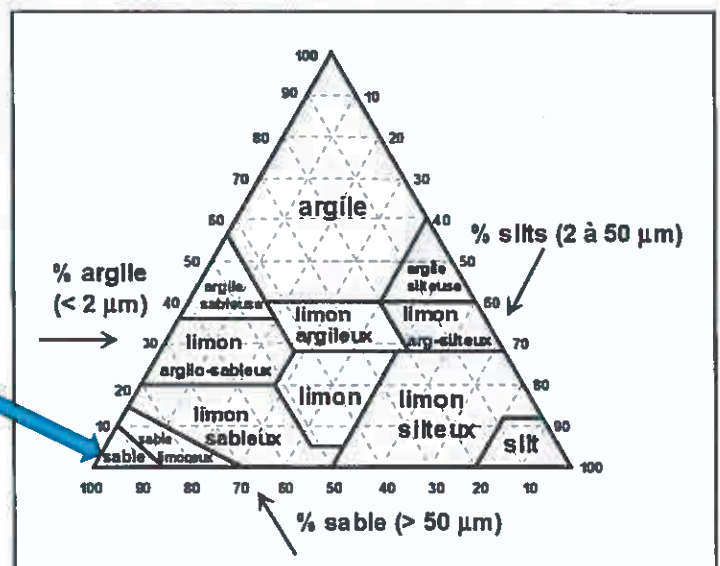
- Des teneurs en Métaux, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, Polychlorobiphényles et Organoétains faibles.

La granulométrie montre l'importance des sables



Pourcentage < 2 μm	Argiles	0,57	%
Pourcentage compris entre 2 et 20 μm	Limons fins	2,58	%
Pourcentage compris entre 20 et 63 μm	Limons gros	1,85	%
Pourcentage compris entre 63 et 200 μm	Sables fins	3,11	%
Pourcentage compris entre 200 et 2000 μm	Sables gros	91,89	%

Le graphique triangulaire de qualification des sols confirme les résultats de l'analyse granulométrique, nous sommes en présence d'un sol qualifié « SABLE »



2.3.3. La biocénose

La zone où sera posée l'embase du dispositif est constituée d'un substrat sableux avec une multitude de petites dépressions remplies de dépôt divers (feuilles et faisceaux de posidonie, tests d'oursins, coquilles de bivalves...). Quelques taches de « caulerpa racemosa » y sont observées.

Sur les bordures de cette zone centrale, à proximité des herbiers la densité des faisceaux de Posidonie isolée augmente ainsi que la présence d'animaux.

Il y a aussi des tests d'oursins de sable (fouisseurs) déposés dans les petites dépressions présentes à la surface du substrat. La visite du site n'a absolument rien révélé de particulier dans le peuplement de cette zone. La densité de colonisation qui augmente quand on s'écarte vers les bordures. Cette disposition laisse un espace de pose suffisant.

Le prélèvement de sédiments pour l'analyse physico-chimique a démontré la difficulté de pénétrer profondément dans le substrat.

Lors de nouvelles plongées, de façon aléatoire, une estimation de l'épaisseur du sédiment a été réalisée. Les cinq essais dans la partie centrale de la partie Nord démontrent que l'épaisseur du sédiment ne dépasse pas les 18 centimètres et que la valeur moyenne de cette épaisseur est de 10 centimètres.

La recherche de la présence d'animaux dans le sédiment fut menée lors des deux plongées. Il n'est trouvé que très peu de vers tubicoles dont la présence est plus marquée en bordure d'herbier.

La conclusion du compte rendu de l'analyse de biocénose fournie en annexe, est la suivante :

« La zone centrale de la partie Nord, intéressée par la pose du corps-mort, ne présente pas un peuplement particulièrement important qui pourrait remettre en cause l'installation de la structure d'ancrage des navires. D'une façon globale il est retrouvé sur et dans le substrat en nombre peu élevé, des vers tubicoles (annélides polychètes *Sabella* sp.), des échinodermes (oursins de sable *Echinocardium*, étoiles de mer *Astropecten bispinosus* et des holothuries), des mollusques gastéropodes (des nudibranches), et des mollusques bivalves.

Les fonds de la zone étudiée, présente bien une certaine présence animale, mais cette dernière n'est pas particulièrement développée dans la zone centrale et ne remet pas en question la possibilité de mettre en place un dispositif d'ancrage. »

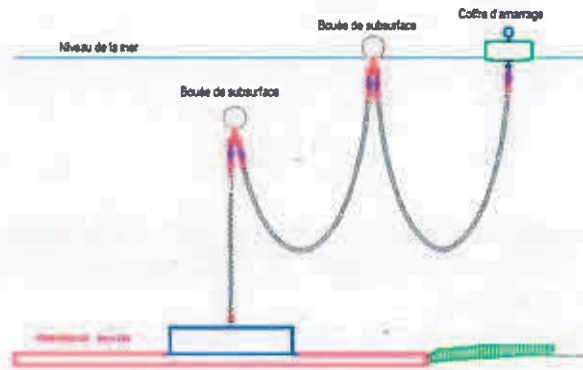
3. Faisabilité du projet

3.1. Données caractéristiques du navire du projet

Longueur du navire	250 m
Longueur LPP	250 m
Maître Bau	32,2 m
Tirant d'air	59 m
Tirant d'eau	8 m

3.2. Eléments de prédimensionnement des équipements du projet

3.2.1. Schéma de principe du dispositif de mouillage



3.2.2 Rappel des résultats majeurs

	Valeur du projet
Distance de sécurité côte – rayon d'évitage	500 mètres
Rayon du cercle d'évitage	335,20 mètres
Largeur de l'embase (corps-mort)	6,69 mètres
Rapport Hauteur de l'embase – largeur de l'embase	0,25
Hauteur de l'embase	1,673 mètres
Densité du béton	2,4 kg/m ³
Masse du corps-mort	179,65 tonnes
Calibre de la chaîne	DN 50
Poids de la chaîne	4576 kg

Ces valeurs seront à confirmer en fonction des spécificités techniques de l'embase du dispositif de mouillage, en particulier s'il y aura ferrailage ou non

3.3. Estimations du coût des travaux

Les travaux de mise en place du dispositif représentent une prévision d'investissement qui se décompose comme suit :

Coût HT des travaux	370 000,00 €
Aléas HT	46 000,00 €
Total HT	416 000,00 €
Total TTC	499 200,00 €

3.4. Prévisions de la maintenance

La maintenance préventive a pour objectifs :

- D'une part de maintenir dans de bonnes conditions de disponibilité les équipements qui composent le dispositif de mouillage à ancrage permanent,
- D'autre part de maintenir le bon état écologique de la zone d'évitage associée

3.4.1. Maintenance préventive du dispositif

Les opérations de mise en service

Ce sont des opérations qui consistent à effectuer les visites de mise en service

Les opérations biannuelles

Inspection visuelle de la partie immergée du coffre d'amarrage et des équipements associés et tests éventuels.

Les opérations annuelles

Inspection visuelle du corps-mort

Inspection visuelle de l'état du dispositif d'attache de la chaîne mère sur le corps-mort

Inspection visuelle de l'état de la chaîne avec vérification de l'épaisseur de 2 maillons définis et repérés lors de la visite avant mise en service,

Vérification des bouées subaquatiques avec échange standard selon état

Vérification de l'intégralité du coffre et nettoyage éventuel

Opérations de maintenance à effectuer tous les 15 ans

Dépose de la chaîne mère, mise à terre pour échange standard et repose

Mise à terre du coffre pour échange standard et repose

Opérations de fin de vie de l'équipement

Dépose pour mise à terre de tous les éléments du dispositif

3.4.2. Opérations de maintien du bon état écologique de la zone d'évitage

Opérations à effectuer avant la pose du dispositif

Réalisation de l'état « zéro » de la zone de pose et de l'herbier environnant

Opérations annuelles

Inspection visuelle de la zone d'évitage et nettoyages éventuels

Relevés des indicateurs mis en place dans la zone d'évitage

Prélèvements de sédiments dans la zone de pose du corps-mort et analyse

Annexe Feuille des calculs de prédimensionnement du projet

1 Les données de base du navire de projet

L	Longueur du bateau	250,00	m
LPP	Longueur entre perpendiculaires	250,00	m
B	Maître Bau	32,20	m
Te	Tirant d'eau	8,00	m
Ta	Tirant d'air	59,00	m
Pb	Poids du bateau	62000,00	T
La	Longueur de l'amarre	5,00	m

Les valeurs suivantes ont été calculées en prenant comme hypothèse de calcul l'assimilation des œuvres vives et des œuvres mortes du navire de projet à des parallélépipèdes superposés :

- Surface des œuvres vives, partie sous la ligne de flottaison soumise au courant ou à la houle
 - Surface longitudinale soumise au courant ou à la houle
 $S_{ct} = L \times T_e = 250 \times 8 = 2000,00 \text{ m}^2$
 - Surface transversale soumise au courant ou à la houle de face
 $S_{cf} = B \times T_e = 32,2 \times 8 = 257,60 \text{ m}^2$
- Surface des œuvres mortes, partie au-dessus de la ligne de flottaison soumise au vent
 - Surface longitudinale, soumise au vent de travers
 $S_{vt} = L \times T_a = 250 \times 59 = 14750,00 \text{ m}^2$
 - Surface transversale, soumise au vent de face
 $S_{vf} = B \times T_a = 32,2 \times 59 = 1899,80 \text{ m}^2$

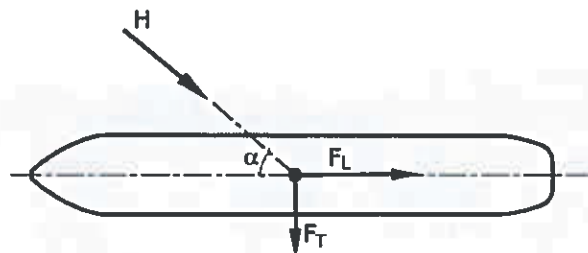
2 Les données géographiques

P	Profondeur fond en CM	28,00	m
S	Surcote par rapport au CM	0,52	m
Nh	Niveau haut des eaux	1,05	m
Alphamax	Angle tension maximale hautes eaux (par rapport à la verticale)	70	Degré

3 Les données climatiques

3.1 Feuille de calcul des efforts de la houle

3.1.1. Généralités



L'action de la houle sur le navire génère des forces de pression sur ce dernier où :

H = la hauteur de la houle incidente

α = l'angle entre la direction de propagation de la houle et l'axe du bateau ;

FT = la composante de la force transversale au navire ;

FL = la composante de la force longitudinale au navire.

Lpp = longueur entre perpendiculaires (avant et arrière du navire) 224 m ou 250 m

L'ordre de grandeur de ces forces de dérive est déterminé par les formules ci-après :

- $FT = \rho_w \cdot g \cdot C_f \cdot C_D \cdot H^2 \cdot D \cdot \sin(\alpha)$
- $FL = \rho_w \cdot g \cdot C_f \cdot C_D \cdot H^2 \cdot D \cdot \cos(\alpha)$

Avec :

ρ_w , masse volumique de l'eau = 1025 kg/m³

g, accélération de la pesanteur = 9,81 m/s²

D, la longueur projetée du navire perpendiculairement à la direction de propagation de la houle, qui peut être approchée par $L_{pp} \cdot \sin \alpha + B \cdot \cos \alpha$,

Cf = un coefficient adimensionnel de flottaison, dépendant du rapport entre la longueur d'onde de la houle (Lh) et le tirant d'eau du navire (Te), variant entre :

- 0,0 pour $2\pi \times Te/Lh = 0,2$
- et 0,064 pour $2\pi \cdot Te/Lh = 1,5$,

Cd = un coefficient adimensionnel de profondeur relative, dépendant du rapport de la longueur d'onde de la houle (Lh) à la hauteur d'eau, variant entre

- 1,1 pour $4\pi \times H/Lh = 6$
- et 2,0 pour $4\pi \times H/Lh = 0$,

1.1.2 Données relatives au navire utilisées pour les calculs relatifs à l'effort de la houle

	Navire de Projet
Longueur entre perpendiculaires	Lpp = L = 250,00 m
Maitre Bau	B = 32,20 m
Tirant d'eau	Te = 8,00 m

1.1.3 Données relatives à la houle

En arrivant près de la côte, la houle atteint des eaux dont la profondeur P est inférieure 50 m.

La relation entre la vitesse de phase et la hauteur d'eau s'écrit alors : $v = \text{racine}(g \times P)$ où P est la profondeur de l'eau en mètre

Données	Houle A	Houle B
Hauteur de la houle	Hm0 = H = 5,4 m	Hm0 = Hs = 2 m
Période de la houle	Tp = 10,5 s	Tp = 8 s
Profondeur d'eau	P = 28 m	P = 28 m
Célérité de la houle	V = 16,5735 m/s ²	V = 16,5735 m/s ²
Longueur d'onde	Lh = 174,0215	Lh = 132,5878 m

3.1.4. Calcul des coefficients Cf et Cd

Profondeur m	TP houle s	V houle m/s	Lh m	Valeur de Cf	Valeur de Cd	Valeur de Cf x CD
28	8	16,5735	132,5878	0,0079	1,6019	0,0126
28	10,5	16,5735	174,0215	0,0037	1,6967	0,0062

3.1.5. Tableau des efforts en fonction de l'incidence de la houle par rapport à l'axe longitudinal du navire

3.1.5.1. Houle H = 2 m TP = 8 s, Direction N 160

Angle degré	Fh Transversale N	Fh Longitudinale N	Fh Totale N	Fh Totale t
0	0,00	16358,05	16358,05	1,668
10	6627,01	37583,67	38163,45	3,892
20	20113,96	55262,65	58809,28	5,997
30	38834,11	67262,65	77668,22	7,920
40	60529,54	72136,30	94167,25	9,602
50	82583,47	69295,76	107805,06	10,993
60	102335,85	59083,63	118167,26	12,050
70	117404,27	42731,66	124939,01	12,740
80	125971,25	22212,13	127914,55	13,044
90	127003,48	0,00	127003,48	12,951
100	125971,25	22212,13	127914,55	13,044
110	117404,27	42731,66	124939,01	12,740
120	102335,85	59083,63	118167,26	12,050
130	82583,47	69295,76	107805,06	10,993
140	60529,54	72136,30	94167,25	9,602
150	38834,11	67262,65	77668,22	7,920
160	20113,96	55262,65	58809,28	5,997
170	6627,01	37583,67	38163,45	3,892
180	0,00	16358,05	16358,05	1,668
190	6627,01	37583,67	38163,45	3,892
200	20113,96	55262,65	58809,28	5,997
210	38834,11	67262,65	77668,22	7,920
220	60529,54	72136,30	94167,25	9,602
230	82583,47	69295,76	107805,06	10,993
240	102335,85	59083,63	118167,26	12,050
250	117404,27	42731,66	124939,01	12,740
260	125971,25	22212,13	127914,55	13,044
270	127003,48	0,00	127003,48	12,951
280	125971,25	22212,13	127914,55	13,044
290	117404,27	42731,66	124939,01	12,740
300	102335,85	59083,63	118167,26	12,050
310	82583,47	69295,76	107805,06	10,993
320	60529,54	72136,30	94167,25	9,602
330	38834,11	67262,65	77668,22	7,920
340	20113,96	55262,65	58809,28	5,997

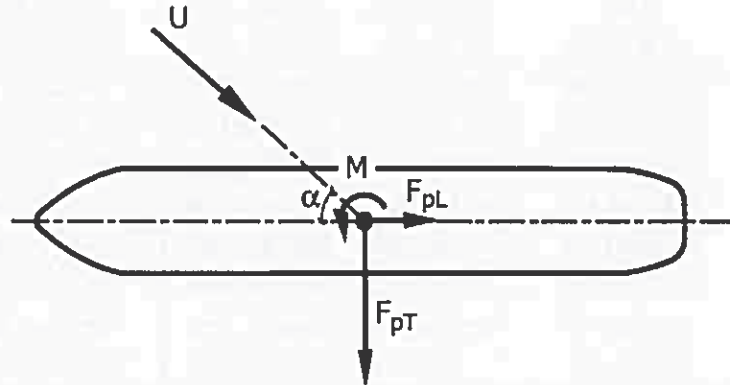
350	6627,01	37583,67	38163,45	3,892
360	0,00	16358,05	16358,05	1,668

3.1.5.2. Houle H = 5,4m TP = 10,5 s, Direction N 90

Angle Degré	Fh Transversale N	Fh Longitudinale N	Fh Totale N	Fh Totale t
0	0,00	58678,35	58678,35	5,984
10	23771,92	134817,27	136897,04	13,960
20	72151,27	198233,98	210956,19	21,512
30	139302,77	241279,48	278605,54	28,410
40	217126,97	258761,85	337789,61	34,445
50	296237,13	248572,46	386710,11	39,433
60	367091,38	211940,31	423880,61	43,224
70	421143,66	153283,76	448171,72	45,701
80	451874,47	79677,66	458845,36	46,789
90	455577,21	0,00	455577,21	46,456
100	451874,47	79677,66	458845,36	46,789
110	421143,66	153283,76	448171,72	45,701
120	367091,38	211940,31	423880,61	43,224
130	296237,13	248572,46	386710,11	39,433
140	217126,97	258761,85	337789,61	34,445
150	139302,77	241279,48	278605,54	28,410
180	0,00	58678,35	58678,35	5,984
190	23771,92	134817,27	136897,04	13,960
200	72151,27	198233,98	210956,19	21,512
210	139302,77	241279,48	278605,54	28,410
220	217126,97	258761,85	337789,61	34,445
230	296237,13	248572,46	386710,11	39,433
240	367091,38	211940,31	423880,61	43,224
250	421143,66	153283,76	448171,72	45,701
260	451874,47	79677,66	458845,36	46,789
270	455577,21	0,00	455577,21	46,456
280	451874,47	79677,66	458845,36	46,789
290	421143,66	153283,76	448171,72	45,701
300	367091,38	211940,31	423880,61	43,224
310	296237,13	248572,46	386710,11	39,433
320	217126,97	258761,85	337789,61	34,445
330	139302,77	241279,48	278605,54	28,410
340	72151,27	198233,98	210956,19	21,512
350	23771,92	134817,27	136897,04	13,960
360	0,00	58678,35	58678,35	5,984

3.2 Feuille de calcul des efforts du courant

3.2.1 Généralités



L'action du courant sur le navire génère des forces de pression sur ce dernier

Où :

- $U = 0,54444 \text{ m/s}^2$
- α = angle entre la direction du courant et l'axe du navire (varie de 0 à 360°)
- F_{pT} = composante de la force transversale au navire ;
- F_{pL} = composante de la force longitudinale au navire ;
- M = moment résultant au centre de gravité du navire.

Ces forces de pression sont déterminées par les formules ci-après :

- $F_{pT} = (\rho_w / 2) \times C_T \times U^2 \times A_L \times \sin(\alpha)$
- $F_{pL} = (\rho_w / 2) \times C_L \times U^2 \times A_T \times \cos(\alpha)$
- $F_c = (\rho_w / 2) \times U \cdot U \cdot (C_T + C_L) / 2 \times ((A_T \times \cos^2(\alpha)) + A_L \times \sin^2(\alpha))$

Avec :

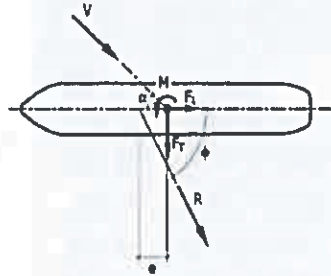
- ρ_w = masse volumique de l'eau ($\rho_w \text{ projet} = 1025 \text{ kg/m}^3$)
- A_L = surface du maître-couple longitudinal du navire (projection transversale c'est-à-dire sur un plan longitudinal) : "la section immergée la plus grande" ($A_L = 250 \times 8 = 2000 \text{ m}^2$)
- A_T = surface du maître-couple transversal du navire (projection longitudinale, c'est-à-dire sur un plan transversal) : "la section immergée la plus petite" ($A_T = 32,2 \times 8 = 254,7 \text{ m}^2$)
- C_T = le coefficient adimensionnel de forme transversale, variant entre 1 pour une grande profondeur d'eau à 7 pour une profondeur d'eau \approx tirant d'eau du navire ; ($C_T \text{ projet} = 2,4$)
- C_L = le coefficient adimensionnel de forme longitudinale, variant entre 0,2 et 0,6 selon les formes géométriques du navire. ($C_L \text{ projet} = 0,6$)

3.2.2 Tableau des efforts en fonction de l'incidence du courant par rapport à l'axe longitudinal du navire

Angle	FPT	FPI	Fc Totale	FC totale
Degré	N	N	N	t
0	0,00	93918,47	54785,776	5,5865932
10	126620,90	92491,64	65959,817	6,7260281
20	249394,48	88254,50	98134,187	10,0069
30	364590,34	81335,78	147428,182	15,033488
40	468708,31	71945,72	207896,218	21,19951
50	558584,81	60369,63	272244,958	27,761254
60	631489,00	46959,24	332712,995	33,927276
70	685205,71	32122,01	382006,989	38,953864
80	718102,79	16308,77	414181,360	42,234736
90	729180,69	0,00	425355,401	43,374171
100	718102,79	0,00	412529,366	42,06628
110	685205,71	32122,01	382006,989	38,953864
120	631489,00	46959,24	332712,995	33,927276
130	558584,81	60369,63	272244,958	27,761254
140	468708,31	71945,72	207896,218	21,19951
150	364590,34	81335,78	147428,182	15,033488
160	249394,48	88254,50	98134,187	10,0069
170	126620,90	92491,64	65959,817	6,7260281
180	0,00	93918,47	54785,776	5,5865932
190	126620,90	92491,64	65959,817	6,7260281
200	249394,48	88254,50	98134,187	10,0069
210	364590,34	81335,78	147428,182	15,033488
220	468708,31	71945,72	207896,218	21,19951
230	558584,81	60369,63	272244,958	27,761254
240	631489,00	46959,24	332712,995	33,927276
250	685205,71	32122,01	382006,989	38,953864
260	718102,79	16308,77	414181,360	42,234736
270	729180,69	0,00	425355,401	43,374171
280	718102,79	16308,77	414181,360	42,234736
290	685205,71	32122,01	382006,989	38,953864
300	631489,00	46959,24	332712,995	33,927276
310	558584,81	60369,63	272244,958	27,761254
320	468708,31	71945,72	207896,218	21,19951
330	364590,34	81335,78	147428,182	15,033488
340	249394,48	88254,50	98134,187	10,0069
350	126620,90	92491,64	65959,817	6,7260281
360	0,00	93918,47	54785,776	5,5865932

3.3 Feuille de calcul des efforts du vent

3.3.1. Généralités



Le vent de projet est celui de la plus grande valeur de l'échelle Beaufort Force 4 (Valeur du vent $V_{10mn} = 7,78 \text{ m/s}$).

Rosa 2000 recommande pour le calcul des efforts d'amarrage une formule qui fait intervenir la vitesse moyenne du vent sur 1 minute. Cette vitesse peut être calculée à partir de la vitesse moyenne calculée sur 10 minutes par la relation donnée dans annexe de Rosa 2000 :

$$V_{1mn} / V_{10mn} = G,$$

où G est le coefficient de rafale, qui s'écrit : $G = 1 + g \cdot I$ avec :

g , le facteur de pointe, qui dépend des durées T_1 et T_2 ,

I , l'intensité de la turbulence (pour la composante longitudinale de la vitesse du vent), analogue à un coefficient de variation puisqu'il est défini comme le rapport entre l'écart-type moyen et la valeur moyenne de la vitesse du vent, qui dépend de la rugosité et de la hauteur au-dessus du sol à laquelle les vitesses sont mesurées.

z , est la hauteur au-dessus du sol à laquelle les vitesses sont mesurées et z_0 la longueur de rugosité, à laquelle les degrés de rugosité sont rattachés.

$$g = \sqrt{2 \ln \left(\frac{T_2}{5T_1} \right)} \quad \text{et} \quad I = \frac{1}{\ln \left(\frac{z}{z_0} \right)}$$

Pour les calculs des efforts du vent sur le navire de projet, la valeur du vent à 1 minute a été calculée : **$V_{1mn} = 9,01219628 \text{ m/s}$** .

Le calcul de l'effort du vent s'appuie sur la formule suivante, préconisée par ROSA 2000 :

$$R = (\rho_{air} / 2) \cdot C_v \cdot V^2 \cdot (AT \cos^2(\alpha) + AL \sin^2(\alpha))$$

Pour l'application de cette formule, nous avons considéré :

- V (vitesse moyenne du vent sur 1 minute) = $9,01219628 \text{ m/s}$
- AT (surface projetée du navire exposée au vent de bout (« petite surface »)) = 1900 m^2
- AL (surface projetée du navire exposée au vent de travers (« grande surface »)) = $14\,150 \text{ m}^2$
- α (l'angle entre la direction du vent et l'axe longitudinal du navire) : °
- C_v (coefficient de forme) = $1,3$

3.3.2. Tableau des efforts en fonction de l'incidence du vent par rapport à l'axe longitudinal du navire

α	surface	FvT	Fv totale
degré	exposée	t	t
0	1900	159720,9794	16,287
10	4432	372630,3052	37,998
20	6830	574217,4477	58,554
30	9020	758357,2836	77,331
40	10936	919454,8173	93,758
50	12520	1052615,182	107,337
60	13724	1153792,366	117,654
70	14510	1219912,154	124,396
80	14856	1248965,528	127,359
90	14750	1240069,716	126,452
100	14856	1248965,528	127,359
110	14510	1219912,154	124,396
120	13724	1153792,366	117,654
130	12520	1052615,182	107,337
140	10936	919454,8173	93,758
150	9020	758357,2836	77,331
160	6830	574217,4477	58,554
170	4432	372630,3052	37,998
180	1900	159720,9794	16,287
190	4432	372630,3052	37,998
200	6830	574217,4477	58,554
210	9020	758357,2836	77,331
220	10936	919454,8173	93,758
230	12520	1052615,182	107,337
240	13724	1153792,366	117,654
250	14510	1219912,154	124,396
260	14856	1248965,528	127,359
270	14750	1240069,716	126,452
280	14856	1248965,528	127,359
290	14510	1219912,154	124,396
300	13724	1153792,366	117,654
310	12520	1052615,182	107,337
320	10936	919454,8173	93,758
330	9020	758357,2836	77,331
340	6830	574217,4477	58,554
350	4432	372630,3052	37,998
360	1900	159720,9794	16,287

3.4. Récapitulatif des efforts climatiques en fonction de leur incidence par rapport au navire

Incidence/ Navire Degré	COURANT Tonnes	VENT Tonnes	HOULE 5,4 m Tonnes	HOULE 2m Tonnes
0	5,5865932004	16,2870038238	5,9835247341	1,6680563187
10	6,7260280866	37,9977084284	13,9596104157	3,8915885528
20	10,0069000818	58,5538718901	21,5115403988	5,9968768380
30	15,0334876028	77,3309055841	28,4098531122	7,9199530550
40	21,1995100101	93,7582788432	34,4449468148	9,6023855061
50	27,7612540005	107,3368542437	39,4334482385	10,9930543327
60	33,9272764078	117,6540536431	43,2237842918	12,0497047661
70	38,9538639288	124,3963941584	45,7007875316	12,7402310176
80	42,2347359240	127,3590131847	46,7891954680	13,0436517966
90	43,3741708102	126,4518930422	46,4559373765	12,9507478161
100	42,0662795267	127,3590131847	46,7891954680	13,0436517966
110	38,9538639288	124,3963941584	45,7007875316	12,7402310176
120	33,9272764078	117,6540536431	43,2237842918	12,0497047661
130	27,7612540005	107,3368542437	39,4334482385	10,9930543327
140	21,1995100101	93,7582788432	34,4449468148	9,6023855061
150	15,0334876028	77,3309055841	28,4098531122	7,9199530550
160	10,0069000818	58,5538718901	21,5115403988	5,9968768380
170	6,7260280866	37,9977084284	13,9596104157	3,8915885528
180	5,5865932004	16,2870038238	5,9835247341	1,6680563187
190	6,7260280866	37,9977084284	13,9596104157	3,8915885528
200	10,0069000818	58,5538718901	21,5115403988	5,9968768380
210	15,0334876028	77,3309055841	28,4098531122	7,9199530550
220	21,1995100101	93,7582788432	34,4449468148	9,6023855061
230	27,7612540005	107,3368542437	39,4334482385	10,9930543327
240	33,9272764078	117,6540536431	43,2237842918	12,0497047661
250	38,9538639288	124,3963941584	45,7007875316	12,7402310176
260	42,2347359240	127,3590131847	46,7891954680	13,0436517966
270	43,3741708102	126,4518930422	46,4559373765	12,9507478161
280	42,2347359240	127,3590131847	46,7891954680	13,0436517966
290	38,9538639288	124,3963941584	45,7007875316	12,7402310176
300	33,9272764078	117,6540536431	43,2237842918	12,0497047661
310	27,7612540005	107,3368542437	39,4334482385	10,9930543327
320	21,1995100101	93,7582788432	34,4449468148	9,6023855061
330	15,0334876028	77,3309055841	28,4098531122	7,9199530550
340	10,0069000818	58,5538718901	21,5115403988	5,9968768380
350	6,7260280866	37,9977084284	13,9596104157	3,8915885528
360	5,5865932004	16,2870038238	5,9835247341	1,6680563187

3.5. Harmonisation par rapport aux directions des efforts

Ef	COURANT	Ef	VENT	Ef	HOULE 5,4 m	Ef	HOULE 2m
à	Tonnes	à	Tonnes	à	Tonnes	à	Tonnes
90	5,5865932004	90	16,2870038238	90	5,9835247341	160	1,6680563187
100	6,7260280866	100	37,9977084284	100	13,9596104157	170	3,8915885528
110	10,0069000818	110	58,5538718901	110	21,5115403988	180	5,9968768380
120	15,0334876028	120	77,3309055841	120	28,4098531122	190	7,9199530550
130	21,1995100101	130	93,7582788432	130	34,4449468148	200	9,6023855061
140	27,7612540005	140	107,3368542437	140	39,4334482385	210	10,9930543327
150	33,9272764078	150	117,6540536431	150	43,2237842918	220	12,0497047661
160	38,9538639288	160	124,3963941584	160	45,7007875316	230	12,7402310176
170	42,2347359240	170	127,3590131847	170	46,7891954680	240	13,0436517966
180	43,3741708102	180	126,4518930422	180	46,4559373765	250	12,9507478161
190	42,0662795267	190	127,3590131847	190	46,7891954680	260	13,0436517966
200	38,9538639288	200	124,3963941584	200	45,7007875316	270	12,7402310176
210	33,9272764078	210	117,6540536431	210	43,2237842918	280	12,0497047661
220	27,7612540005	220	107,3368542437	220	39,4334482385	290	10,9930543327
230	21,1995100101	230	93,7582788432	230	34,4449468148	300	9,6023855061
240	15,0334876028	240	77,3309055841	240	28,4098531122	310	7,9199530550
250	10,0069000818	250	58,5538718901	250	21,5115403988	320	5,9968768380
260	6,7260280866	260	37,9977084284	260	13,9596104157	330	3,8915885528
270	5,5865932004	270	16,2870038238	270	5,9835247341	340	1,6680563187
280	6,7260280866	280	37,9977084284	280	13,9596104157	350	3,8915885528
290	10,0069000818	290	58,5538718901	290	21,5115403988	0	5,9968768380
300	15,0334876028	300	77,3309055841	300	28,4098531122	10	7,9199530550
310	21,1995100101	310	93,7582788432	310	34,4449468148	20	9,6023855061
320	27,7612540005	320	107,3368542437	320	39,4334482385	30	10,9930543327
330	33,9272764078	330	117,6540536431	330	43,2237842918	40	12,0497047661
340	38,9538639288	340	124,3963941584	340	45,7007875316	50	12,7402310176
350	42,2347359240	350	127,3590131847	350	46,7891954680	60	13,0436517966
0	43,3741708102	0	126,4518930422	0	46,4559373765	70	12,9507478161
10	42,2347359240	10	127,3590131847	10	46,7891954680	80	13,0436517966
20	38,9538639288	20	124,3963941584	20	45,7007875316	90	12,7402310176
30	33,9272764078	30	117,6540536431	30	43,2237842918	100	12,0497047661
40	27,7612540005	40	107,3368542437	40	39,4334482385	110	10,9930543327
50	21,1995100101	50	93,7582788432	50	34,4449468148	120	9,6023855061
60	15,0334876028	60	77,3309055841	60	28,4098531122	130	7,9199530550
70	10,0069000818	70	58,5538718901	70	21,5115403988	140	5,9968768380
80	6,7260280866	80	37,9977084284	80	13,9596104157	150	3,8915885528
90	5,5865932004	90	16,2870038238	90	5,9835247341	160	1,6680563187

3.6. Recherche de l'effort minimum global

COURANT	VENT	HOULE 5,4 m	HOULE 2m	Effort total		Pour
				H = 5,4 m	H = 2 m	
43,3741708102	126,4518930422	46,4559374	5,9968768380	216,282001	175,822941	0 N
42,2347359240	127,3590131847	46,7891955	7,9199530550	216,382945	177,513702	10 N
38,9538639288	124,3963941584	45,7007875	9,6023855061	209,051046	172,952644	20 N
33,9272764078	117,6540536431	43,2237843	10,9930543327	194,805114	162,574384	30 N
27,7612540005	107,3368542437	39,4334482	12,0497047661	174,531556	147,147813	40 N
21,1995100101	93,7582788432	34,4449468	12,7402310176	149,402736	127,69802	50 N
15,0334876028	77,3309055841	28,4098531	13,0436517966	120,774246	105,408045	60 N
10,0069000818	58,5538718901	21,5115404	12,9507478161	90,0723124	81,5115198	70 N
6,7260280866	37,9977084284	13,9596104	13,0436517966	58,6833469	57,7673883	80 N
5,5865932004	16,2870038238	5,98352473	12,7402310176	27,8571218	34,613828	90 N
6,7260280866	37,9977084284	13,9596104	12,0497047661	58,6833469	56,7734413	100 N
10,0069000818	58,5538718901	21,5115404	10,9930543327	90,0723124	79,5538263	110 N
15,0334876028	77,3309055841	28,4098531	9,6023855061	120,774246	101,966779	120 N
21,1995100101	93,7582788432	34,4449468	7,9199530550	149,402736	122,877742	130 N
27,7612540005	107,3368542437	39,4334482	5,9968768380	174,531556	141,094985	140 N
33,9272764078	117,6540536431	43,2237843	3,8915885528	194,805114	155,472919	150 N
38,9538639288	124,3963941584	45,7007875	1,6680563187	209,051046	165,018314	160 N
42,2347359240	127,3590131847	46,7891955	3,8915885528	216,382945	173,485338	170 N
43,3741708102	126,4518930422	46,4559374	5,9968768380	216,282001	175,822941	180 N
42,0662795267	127,3590131847	46,7891955	7,9199530550	216,214488	177,345246	190 N
38,9538639288	124,3963941584	45,7007875	9,6023855061	209,051046	172,952644	200 N
33,9272764078	117,6540536431	43,2237843	10,9930543327	194,805114	162,574384	210 N
27,7612540005	107,3368542437	39,4334482	12,0497047661	174,531556	147,147813	220 N
21,1995100101	93,7582788432	34,4449468	12,7402310176	149,402736	127,69802	230 N
15,0334876028	77,3309055841	28,4098531	13,0436517966	120,774246	105,408045	240 N
10,0069000818	58,5538718901	21,5115404	12,9507478161	90,0723124	81,5115198	250 N
6,7260280866	37,9977084284	13,9596104	13,0436517966	58,6833469	57,7673883	260 N
5,5865932004	16,2870038238	5,98352473	12,7402310176	27,8571218	34,613828	270 N
6,7260280866	37,9977084284	13,9596104	12,0497047661	58,6833469	56,7734413	280 N
10,0069000818	58,5538718901	21,5115404	10,9930543327	90,0723124	79,5538263	290 N
15,0334876028	77,3309055841	28,4098531	9,6023855061	120,774246	101,966779	300 N
21,1995100101	93,7582788432	34,4449468	7,9199530550	149,402736	122,877742	310 N
27,7612540005	107,3368542437	39,4334482	5,9968768380	174,531556	141,094985	320 N
33,9272764078	117,6540536431	43,2237843	3,8915885528	194,805114	155,472919	330 N
38,9538639288	124,3963941584	45,7007875	1,6680563187	209,051046	165,018314	340 N
42,2347359240	127,3590131847	46,7891955	3,8915885528	216,382945	173,485338	350 N

Avec une houle de 5,4 m/s, l'effort total le plus faible est de 28,1737312 tonnes
Avec une houle de 2 m/s l'effort total le plus faible est de 34,9304374 tonnes.

3.7. Choix des efforts climatiques pour le prédimensionnement du dispositif

Les valeurs suivantes sont les valeurs choisies pour le projet :

Effort du courant	5,5865932004 t
Effort du vent	16,2870038238 t
Effort de la houle	12,7402310176 t
Effort total	34,613828 t

4 Les données géologiques

Cohésion du sable	2,5 kPa
Angle pour le calcul du coefficient de frottement	30°
Coefficient de frottement tangente (30°)	0,57735027
Densité du béton	2,4 t/m ³
Ratio épaisseur embase	0,25

Ces données seront réajustées par rapport au béton utilisé (densité) et aux caractéristiques de l'échantillon du sable de la partie devant supporter l'embase (nouvelle analyse à réaliser avant le début des travaux).

5 Prédimensionnement des éléments du dispositif de mouillage (chaîne, évitage)

L	Longueur du bateau	250,00	m
P	Profondeur fond en CM	28,00	m
Nh	Niveau haut des eaux	1,05	m
Alpha*	Angle de giration des bouées à l'amarrage par rapport à la verticale	30	°
Alphamax*	Angle de tension maximale hautes eaux par rapport à la verticale	70	°
La	Longueur de l'amarre bouée bateau	5,00	m
Pmax	Hauteur des eaux max	29,05	m
Pmin	Hauteur des eaux min	28,00	m
AlphaR	Angle de giration des bouées à l'amarrage	0,52	radian
AlphamaxR	Angle de tension maximum	1,22	radian
A	Distance horizontale ancrage -bouée	16,77	m
Abis	Distance horizontale ancrage bouée max hautes eaux	79,81	m
Bmax	Longueur maximale ancrage bouée	84,94	m
BétamaxR	Angle tension maximum basses eaux	1,23	radian
Amax	Distance horizontale ancrage bouée max basses eaux	80,19	m
D1	Distance entre ancrage et arrière du bateau en tension maximale hautes eaux	334,81	m
D2	Distance entre ancrage et arrière du bateau en tension maximale basses eaux	335,19	m

Évitage	Rayon du cercle d'évitage (valeur arrondie à D2 car D2>D1)	335,20	m
L Chaîne	Longueur totale de la chaîne (ancrage- bouée de surface)	84,94	m
P Chaîne	Poids total de la chaîne 53,5 kg le ml	4547,5	kg
S évitage max	Surface max du cercle d'évitage	352 986,3346	m ²
S évitage coffre	Surface minimum sans navire amarré	883,7326314	m ²

6. Calcul de l'effort sur l'ancrage et du corps mort

Longueur du navire	25,00	m
Charge de rupture de l'amarre AICPN	650,00	t
Force du vent	16,2870038238	t
Effet de masque	1	
Force du vent totale Fvt	16,2870038238	t
Force du courant Fct	5,5865932004	t
Force de la houle Fht	12,7402310176	t
Effort pondéré sur le navire = Fvt + Fct + Fht	34,61382804	t
Coefficient global d'effort	1,5	
Effort pondéré sur le coffre	51,92074206	t
Angle vertical ancrage - amarre	70	degré
Angle vertical ancrage - amarre	1,221730476	radian
Effort pondéré dans l'axe de la chaîne	55,25289963	t
Effort pondéré sur l'ancrage dans l'axe de la chaîne	55,25289963	t
Effort horizontal sur l'ancrage	51,92074206	t
Effort vertical sur l'ancrage	18,89760465	t
Ration épaisseur/base	0,25	
Cohésion du sol	2,5	
Coefficient de frottement	0,577350269	
Densité du béton	2,4	t/m ³
Densité de l'eau	1,025	t/m ³
Densité du béton déjaugé	1,341463415	t/m ³
Effort horizontal sur le corps-mort	51,92074206	t
Effort vertical sur le corps-mort	18,89760465	t
Coefficient de soulèvement	1,25	
Base minimale au soulèvement	4,25	m
Coefficient de glissement	1,25	
Base minimale au glissement	6,60	m
Coefficient de renversement	1,25	
Base minimale au renversement	4,81	m

Les valeurs suivantes sont les valeurs choisies pour le projet :

Largeur de l'embase	6,69	m
---------------------	------	---

Hauteur de l'embase	1,6725	m
Surface de l'embase	44,7561	m ²
Volume du corps-mort	74,8545773	m ³
Poids hors d'eau	179,650985	t

Ces valeurs devront être réévaluées en fonction des résultats des analyses de sédiments qui seront effectuées lors de la phase des vérifications préalables avant le début des travaux

L'embase devra disposer d'un évidement dans sa partie inférieure pour augmenter la stabilité du dispositif (phénomène de succion).