



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère chargé
de
l'environnement

Annexe n°1 à la demande d'examen au cas par cas préalable à la réalisation d'une étude d'impact

Informations nominatives relatives au maître d'ouvrage ou pétitionnaire À JOINDRE AU FORMULAIRE CERFA N° 14734

**NOTA : CETTE ANNEXE DOIT FAIRE L'OBJET D'UN DOCUMENT NUMÉRISÉ PARTICULIER
LORSQUE LA DEMANDE D'EXAMEN AU CAS PAR CAS EST ADRESSÉE À L'AUTORITÉ ENVIRONNEMENTALE
PAR VOIE ÉLECTRONIQUE**

Personne physique

Adresse

Numéro

Extension

Nom de la voie

Code Postal

Localité

Pays

Tél

Fax

Courriel

@

Personne morale

Adresse du siège social

Numéro

Extensio
n

Nom de la voie

Code postal

Localité

Pays

Tél

Fax

Courriel

@

Personne habilitée à fournir des renseignements sur la présente demande

Nom

Prénom

Qualité

Tél

Fax

Courriel

@

En cas de co-maîtrise d'ouvrage, listez au verso l'ensemble des maîtres d'ouvrage.

Co-maîtrise d'ouvrage

Annexes

Annexe 3 : Plan de situation du projet au 1/25 000
(Source : Géoportail.gouv.fr)



Anse du Rouet

Échelle 1 : 25 000

0 500 m

Annexe 4 : Photographies de la zone d'implantation



(Source : Google Maps - Photo prise en avril 2019)



(Source : Google Maps - photo prise en mai 2016)



(Source : Google Maps - photo prise en avril 2016)

Annexe 5 : Localisation de l'emprise des travaux

PLAN DE REPERAGE



Etude de Maitrise d'œuvre
pour les aménagements limitant
l'ensablement du Port et
de la base nautique du Rouet



La Brogère 2002 - Bâtiment 1 - Zone du
Méditerranée 030
Rue Henri Becquerel - CS79542
34061 MONTPELLIER CEDEX 2 - France

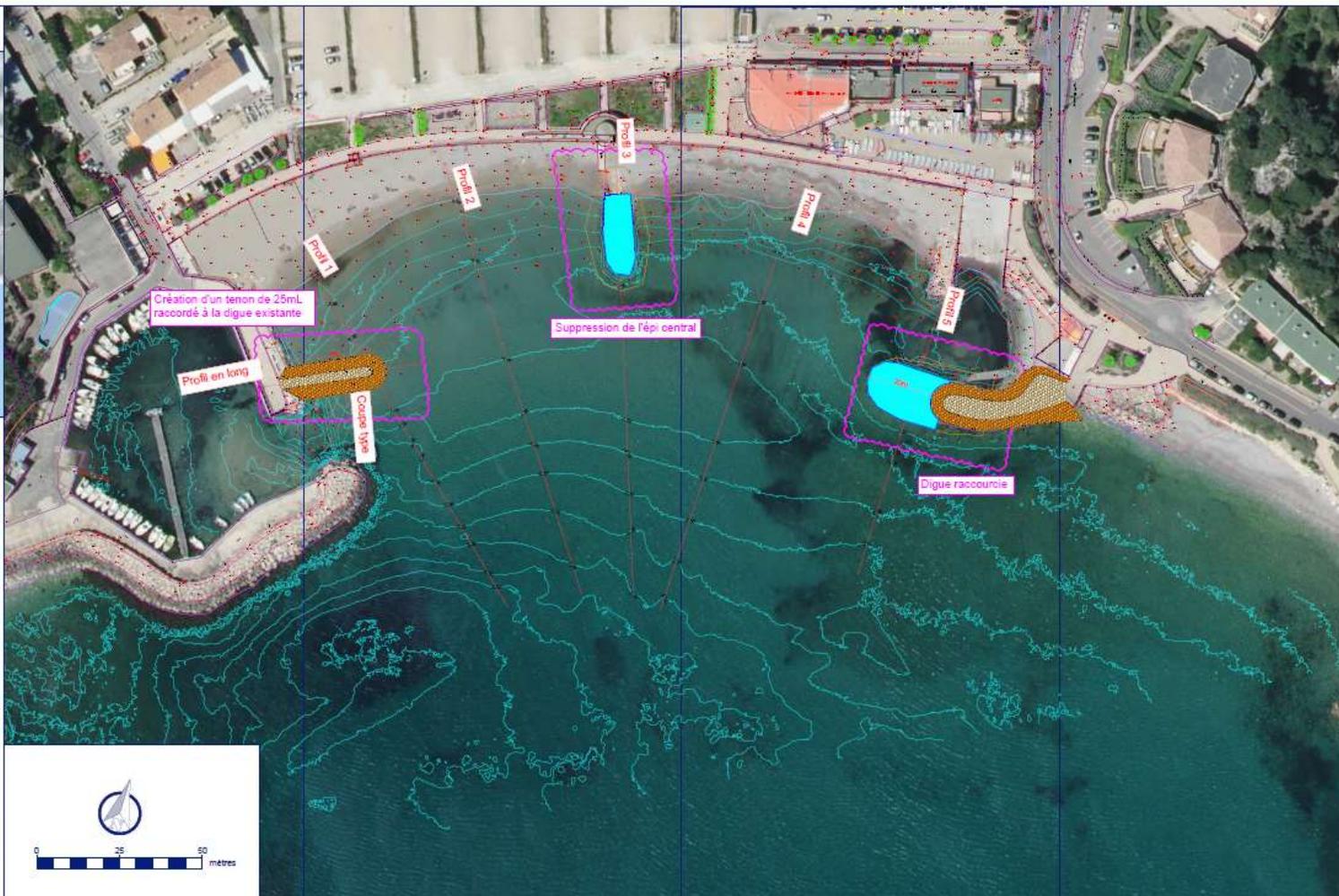
AVANT PROJET SOMMAIRE

PLAN DE MASSE DES AMENAGEMENTS

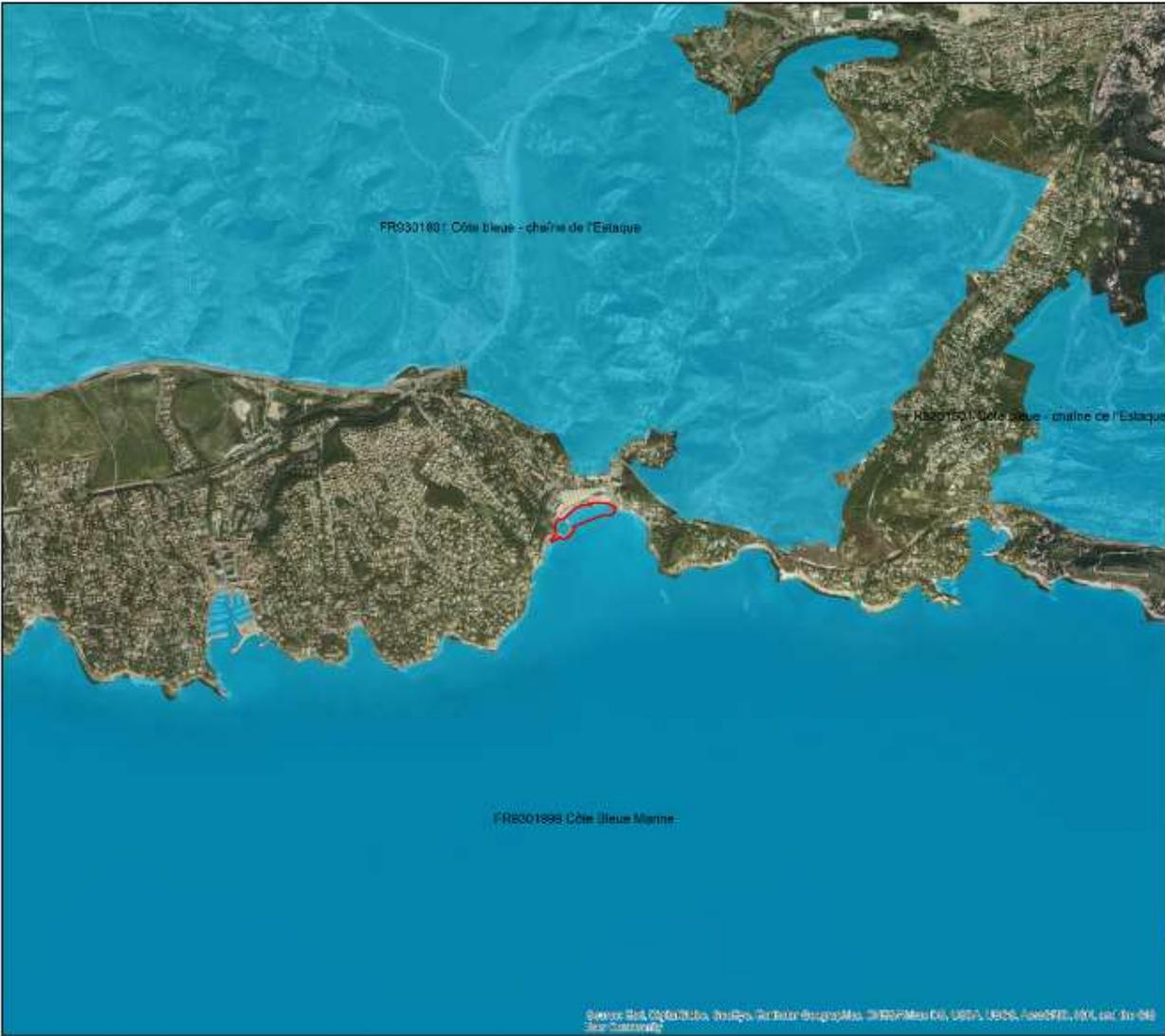
Sc 1 : Tenon 25ml + suppression épi + suppression digue BN eur 20ml

NO	PROJET	DATE	ETAT	APPR	APP
01	0100				
Echelle : 1/500 Fiche : Chef de Projet Front de plan dérivé par :					

2MPL044	APS	-	SUEZ	-	PLAN	1	A	1
---------	-----	---	------	---	------	---	---	---



Annexe 7 : localisation des sites Natura 2000: FR9301999
« Côte Bleue marine » et FR9301601 « Côte Bleue – Chaîne de
l'Estaque »



Légende

- Aire d'étude
- Zones Spéciales de Conservation



Annexe 8 : Description des travaux prévus – Rapport Avant-Projet

Etude de Maitrise d'œuvre pour les aménagements limitant
l'ensablement du Port et de la base nautique du Rouet

Rapport d'Avant-Projet



Version : 2

Date : 25/11/2022

Nom Prénom : V.A



Numéro du projet : 22MPL044

Intitulé du projet : Etude sur l'ensablement du Port et de la base nautique de l'Anse du Rouet

Intitulé du document : Rapport phase 1 : Analyse des documents et propositions d'ouvrage

Version	Rédacteur NOM / Prénom	Vérificateur NOM / Prénom	Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
0	Vasileios Afentoulis		12/07/2022	
1	Vasileios Afentoulis	Sebastien Romeas	29/07/2022	
2	Vasileios Afentoulis	Sebastien Romeas	25/11/2022	Prise en compte des résultats de la modélisation hydro sédimentaire d'ACTIMAR
3				

Sommaire

1..... Introduction	4
2..... Le site	5
2.1 Situation actuelle	5
2.2 Ouvrages existants impactant ou impactés par les aménagements projet	7
2.3 Accès au site	16
2.4 Réseaux	19
2.5 Bathymétrie	20
2.6 Topographie du site.....	22
2.7 Nature des fonds.....	23
3..... Conditions environnementales	34
3.1 Les niveaux d'eau	34
3.2 La houle	34
3.3 Les courants généraux.....	42
4..... Etudes hydrosédimentaires	43
4.1 Les dernières études réalisées	43
5..... Conception du futur ouvrage-tenon	62
6..... Approvisionnement des blocs	69
7..... Travaux de rechargement et stabilité de plage	74
8..... Cout estimatif des travaux	81
9..... Analyse multicritere	84
10 ...Références.....	88

Tables des illustrations

Figure 1 : localisation de l'anse du Rouet, images Géoportail, 17/10/2018	5
Figure 2 Photo SUEZ du 14-06-2022 – Epi de séparation de la plage.....	6
Figure 3 : Zone d'étude avec les structures existantes.....	7
Figure 4 Butée de pied, digue base nautique côté Sud	9
Figure 5 : coupe type de l'ouvrage de protection de la cale de mise à l'eau, Ref [2] 2005, Ref [4] 2006	10
Figure 6 : Plage de la zone d'étude	10
Figure 7 : granulométrie de la Anse, Ref [15], 2012	11
Figure 8 : granulométrie de la plage est, Ref [16], 2020	12
Figure 9 : Analyse morphologique des profils de plage, Ref [16], 2020	14
Figure 10 : Localisation des prélèvements, Analyse granulométrique Ref [19], 2020	15
Figure 11 : Muet en haut de plage dans la zone d'étude	16
Figure 12 : Accès au port.....	17
Figure 13 : Zone d'installation au port	17
Figure 14 : Accès au niveau de la base nautique.	18
Figure 15 : bathymétrie sur la zone à draguer du Port du Rouet, Ref [7], 2018	20
Figure 16: bathymétrie de la zone à draguer au niveau de la base nautique, Ref [6], 2016	20
Figure 17 : bathymétrie de l'anse du Rouet, Ref [13],.....	20
Figure 18 : Zoom - bathymétrie de l'anse du Rouet, Ref [13].....	21
Figure 19 : bathymétrie de l'anse du Rouet, 01/2020, Ref [17],.....	21
Figure 20 : campagne topographique, OPSIA 2019	22
Figure 21 : Habitats marins – GIS Posidonie, 2012	24
Figure 22 : zone de prélèvement des sédiments dans le port et sur la plage, Ref [7], 2018.....	24
Figure 23 : granulométrie de la zone Port + plage est, Ref [7], 2018	25
Figure 24 : Plan d'échantillonnage GALATEA, Ref [6], 2016.....	26
Figure 25 : Granulométrie des sédiments dans la zone de la base nautique, Ref [6], 2016	26
Figure 26 : présence d'herbiers de posidonies en 1991, Ref [10], 1991	30
Figure 27 : Photo aérienne Google Earth 2018	32
Figure 28 : Transects de repérage effectués par plongeurs, Ref [19], 2020.....	32
Figure 29: Cartographie des biocénoses présentes dans l'Anse du Rouet Ref [19], 2020	33
Figure 30 : localisation du point de mesure de Cap Couronne	35
Figure 31 : hauteur (Hs) des vagues extrêmes et périodes pics associées (Tp) pour différents secteurs de provenance, Ref [14]	38
Figure 32 : hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 1, Ref [13], 2018	40
Figure 33 : hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 2, Ref [13], 2018	40
Figure 34 : hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 3, Ref [13], 2018	41
Figure 35 : hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 4, Ref [13], 2020	41
Figure 36 : courantologie engendrée par les courants de houle, Ref [2], 2005	43
Figure 37 : illustration de la grille de calcul et de la bathymétrie sur l'ensemble du domaine de calcul (à gauche) et sur l'anse du Rouet (à droite), Ref [13], 2018.....	45
Figure 38 : Hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 1 (condition extrême annuelle de SE) dans l'état initial (haut) et dans l'état aménagé (bas).....	47
Figure 39: Hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 4 dans l'état aménagé.	48
Figure 40 : Courant (m/s) pour le scénario 1 (condition extrême annuelle de SE) dans l'état initial (haut) et dans l'état aménagé (bas).....	50
Figure 41 : Courant (m/s) pour le scénario 2 (condition extrême annuelle SSO) dans l'état initial (haut) et dans l'état aménagé (bas), Ref [13], 2022.....	52
Figure 42 : Courant (m/s) pour le scénario 4 (condition extrême 25 ans SSO) dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.....	53
Figure 43 : Transport sédimentaire (m ³ /m/s) pour le scénario 1 (condition extrême annuelle de SE) dans l'état initial et dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.....	55
Figure 44: Transport sédimentaire (m ³ /m/s) pour le scénario 2 (condition extrême annuelle de SSO) dans l'état initial et dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.....	57

Figure 45 : Transport sédimentaire ($m^3/m/s$) pour le scénario 3 (condition extrême 25 ans SE) dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.....	58
Figure 46: Transport sédimentaire ($m^3/m/s$) pour le scénario 4 (condition extrême 25 ans SSO) dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.	59
Figure 46 Ouvrage Tenon - scenario retenu – Suez, 2020.....	62
Figure 47 Scenario retenu pour la restructuration d'ouvrages existants – Suez, 2020.....	63
Figure 48 – Section conventionnelle - digue en enrochements (Rock Manual, 2007)	63
Figure 49 – Coupe de principe du tenon	68
Figure 50 – Données Bathymétriques au niveau de l'épi en m NM –(Niveau Moyen (NM) = + 0.49 m CM.).....	69
Figure 51 – Section transversale au centre de l'épi, surface d'environ 12 m2 –(Niveau Moyen (NM) = + 0.49 m CM.).....	70
Figure 52 : coupe type de l'ouvrage de protection de la cale de mise à l'eau, Ref [2] 2005, Ref [4] 2006.....	72
Figure 53 – Données Bathymétriques au niveau de la digue Base nautique en m NM –(Niveau Moyen (NM) = + 0.49 m CM.).....	72
Figure 54 – Sections transversale au centre de la digue et au niveau du musoir, surface Section1 d'environ 32 m2 , surface Section2	73
Figure 55 Angle minimal (critique) de la pente du lit pour les conditions d'auto - accélérations en fonction de la taille du sable et du coefficient de Chézy (van Rijn, 2018).....	75
Figure 56 Image schématique du modèle de transport de sédiments supposé dans la zone de surf pour dériver une forme de profil d'équilibre (qu = écoulement sous-marin, co = concentration de sédiments, x = coordonnée transversale, h = profondeur de l'eau, w = vitesse de chute des sédiments, dx = élément de volume longueur, et μ =coefficient empirique).....	76
Figure 57 Profil d'équilibre du fond marin.....	77
Figure 58 Vue en plan de rechargement.....	77
Figure 59 : Position des murs réfléchif en haut de plage et à l'est du secteur.....	78
Figure 60 : Schéma du mécanisme d'érosion au pied d'une structure côtière réfléchive	78
Figure 61 : Schéma conceptuel du pied en enrochement.....	79
Figure 62 : San Francisco's Great Highway Seawall (California Highway 35, 1991).....	80

Table des tableaux

Tableau 1: résultats des analyses réalisées sur les sédiments présents dans l'anse du Rouet.....	15
Tableau 2 : concentrations en aluminium et en COT dans le port, Ref [7], 2018.....	25
Tableau 3 : valeurs seuils d'appréciation de la qualité des eaux du port, Ref [7], 2018.....	25
Tableau 4 : résultats d'analyses des sédiments de la zone de la base nautique, Ref [6], 2016.....	28
Tableau 5 : les niveaux d'eau dus aux marées, SHOM.....	34
Tableau 6 : statistiques de houles dressées par SOGREAH.....	35
Tableau 7 : caractéristiques de houles selon la fréquence d'occurrence Ref [1].....	36
Tableau 8 : statistiques de houles dressées par ACRI.....	37
Tableau 9 : caractéristiques des houles de tempêtes au large de l'anse du Rouet, Ref [2].....	37
Tableau 10 : liste des scénarios pour l'étude de houle, Ref [11].....	39
Tableau 11 : liste des scénarios retenus pour la modélisation - NM = Niveau Moyen, Ref [13], 2018.....	46
Tableau 12 Caractéristiques des états de mers aux points d'intérêt du projet d'aménagement pour le scénario 4. (ACTIMAR, 2022°).....	48
Tableau 13 Caractéristiques du courant aux points d'intérêt du projet d'aménagement pour le scénario 4. (ACTIMAR, 2022°).....	53
Tableau 15 Récapitulatif des conditions de courant et de vagues en condition de tempête de période de retour 25 ans aux points d'intérêts du projet d'aménagement.	61
Tableau 16 – Caractéristiques d'une houle qui correspond à un évènement dont la période de retour est 25 ans	64

1 INTRODUCTION

Le port du Rouet ainsi que la base nautique située sur la plage du Rouet font l'objet d'un ensablement récurrent.

La Métropole dispose d'une autorisation de désensablement du port depuis 2002 (à renouveler chaque année) et la Ville du Rouet dispose d'une autorisation de désensablement obtenue en 2016 pour une durée de 3 ans.

Pour note : il est dragué entre 800 et 1000m³ de sédiments chaque année.

La DDTM souhaite que les deux collectivités travaillent conjointement pour trouver une solution afin de limiter l'ensablement sur l'ensemble de l'Anse du Rouet et éviter les opérations annuelles de désensablement.

Deux études avaient été menées dans cette optique en 2012-2013 et 2018-2020 pour investiguer l'état du site et proposer les solutions techniques pour limiter l'ensablement dans les petits fonds.

Suez Consulting a ainsi été missionné par la Métropole Aix Marseille Provence afin d'effectuer une mission de maitrise d'œuvre pour la réalisation des travaux des aménagements côtiers nécessaires afin d'altérer les champs du transport solide et rétablir un état d'équilibre morphodynamique dans la zone.

L'objet de ce rapport AVP est de définir le plan des aménagements limitant l'ensablement à considérer pour la réalisation de la modélisation hydro-sédimentaire. Pour cela il est présenté de manière succincte :

- les données d'entrées et hypothèse nécessaires au pré-dimensionnement d'ouvrages ;
- la description des aménagements prévus et les notes de dimensionnement ;
- le coût prévisionnel des travaux
- une analyse multicritère.

2 LE SITE

2.1 Situation actuelle

L'anse du Rouet se situe dans la commune de Carry-le-Rouet (13), à environ 30km l'ouest du port autonome de Marseille.

Le littoral de Carry-le-Rouet est situé dans le périmètre du site Natura 2000, Site d'Importance Communautaire (SIC) « Côte Bleue Marine ».



Figure 1 : localisation de l'anse du Rouet, images Géoportail, 17/10/2018

On trouve au bout de cette anse une plage d'environ 240m de long, séparée en 2 par un épi de 25ml constitué d'enrochements de 0,5 à 2T.



Figure 2 Photo SUEZ du 14-06-2022 – Epi de séparation de la plage

La largeur de la plage est assez variable, elle évolue selon son linéaire de :

- environ 25m à son extrémité Ouest ;
- 7 à 10m vers son centre ;
- environ 15m à son extrémité Est.

La plage est séparée de la zone aménagée en arrière par un muret d'une hauteur qui selon la topographie de la plage dépasse de 1m à plus de 1,5m.

A l'Ouest de cette plage se trouve le petit port de plaisance du Rouet (capacité d'accueil de 97 bateaux).

Ce port composé d'un unique bassin délimité par des quais francs en béton qui présentent un couronnement libre de 4 à 5m de large.

Le port est protégé par une digue principale d'environ 100ml recouverte par une carapace en enrochements ; et par une contre digue d'environ 40ml en enrochements (catégorie étalée - environ 1 à 4T).

A l'Est de cette plage, on retrouve la base nautique du Rouet qui est exclusivement utilisé par l'AVCR dont le centre est présent juste en arrière.

Cette base dispose d'une cale de mise à l'eau et est protégée par une digue en enrochements 2-3T d'environ 55ml. La cale de mise à l'eau est séparée de la plage par un épi d'environ 20ml en enrochements de taille très variable : 0,2 à 3T.

2.2 Ouvrages existants impactant ou impactés par les aménagements projet

La zone d'étude comprend les éléments et structures suivants :

- 1/ Digue Ouest de protection du port
- 2/ Epi central
- 3/ Digue de protection de la base nautique
- 4/ Plage de sable et galet
- 5/ Muret en arrière plage



Figure 3 : Zone d'étude avec les structures existantes

2.2.1 Digue Ouest de protection du port

Cet ouvrage est impacté par les aménagements car il est prévu la mise en place d'un tenon perpendiculaire à cette digue afin de bloquer l'ensablement de l'entrée du port

2.2.1.1 Caractéristiques de la digue :

- Longueur (hors d'eau) : environ 44ml
- Catégorie des enrochements : blocs naturels couleur blanc, forme des cailloux : hétérogène
- Quai : largeur de 4 à 8m selon les sections - altimétrie env +0,9mNGF
- Crête de digue : largeur = 5m - altimétrie env +3mNGF ;
- Talus ext : pente = env 4H/3V

Note : nous ne disposons pas d'information géotechnique au niveau de l'ouvrage, ni de plan d'exécution.

Une visite de terrain a été effectuée par Suez le 14/06/2022 afin d'effectuer des mesures des blocs (10 blocs mesurés) pour définir au mieux la catégorie des enrochements de carapace, et évaluer le taux de blocs présentant un risque de fracturation (cf rapport diagnostique).

Il en ressort :

- Carapace avec des blocs de taille très hétérogène : 100kg à 4,2T
- Moyenne : 1,7T
- Sur environ 50blocs observés, 8 blocs (16%) présentaient visuellement un risque de fracturation et ne sont pas réutilisables.

2.2.2 Epi centre plage

2.2.2.1 Caractéristiques de la structure :

- Longueur (hors d'eau) : environ 37ml
- Altimétrie = +1mNGF
- Largeur de la crête : 4m, largeur totale (hors d'eau) :6,5 m
- Catégorie des enrochements : blocs naturels couleur blanc clair et blocs foncés au niveau du musoir, forme des cailloux : hétérogène
- Une couche de carapace sur une sous-couche

Note : nous ne disposons pas d'information géotechnique au niveau de l'ouvrage, ni de plan d'exécution.

Une visite de terrain a été effectuée par Suez le 14/06/2022 afin d'effectuer des mesures des blocs (10 blocs mesurés) pour définir au mieux la catégorie des enrochements de carapace, et évaluer le taux de blocs présentant un risque de fracturation (cf rapport diagnostique).

Il en ressort :

- Carapace avec des blocs de taille très hétérogène : 200kg à 2,9T
- Moyenne : 1,6T

- Sur environ 50 blocs observés, 12 blocs (24%) présentaient visuellement un risque de fracturation et ne sont pas réutilisables.

2.2.3 Digue de protection de la base nautique

2.2.3.1 Caractéristiques de la structure:

- Longueur (hors d'eau) : environ 56m
- Largeur de la crête : 4m, largeur totale (hors d'eau) : 13 m
- Catégorie des enrochements : blocs naturels couleur blanc clair et blocs foncés au niveau du musoir, forme des cailloux : hétérogène
- Une couche de carapace sur une sous-couche

Note : ils existent quelques blocs à récupérer à moins de 5 m du pied



Figure 4 Butée de pied, digue base nautique côté Sud

Une visite de terrain a été effectuée par Suez le 14/06/2022 afin d'effectuer des mesures des blocs (29 blocs mesurés) pour définir au mieux la catégorie des enrochements de carapace, et évaluer le taux de blocs présentant un risque de fracturation (cf rapport diagnostique).

Il en ressort :

- Carapace avec des blocs de taille très hétérogène : 100kg à 6,1T
- Moyenne : 1,8T
- Sur environ 117 blocs observés, 24 blocs (21%) présentaient visuellement un risque de fracturation et ne sont pas réutilisables.

Par conséquent la taille des blocs ne correspond pas aux indications des plans de l'ouvrage existant (Poids indiqué =2-3 tonnes)

Coupes de la structure



Figure 5 : coupe type de l'ouvrage de protection de la cale de mise à l'eau, Ref [2] 2005, Ref [4] 2006

Note : selon le plan topo (Réf 16), l'altimétrie de digue se trouve plus vers 2,1 à 2,3mNGF.

2.2.4 La plage

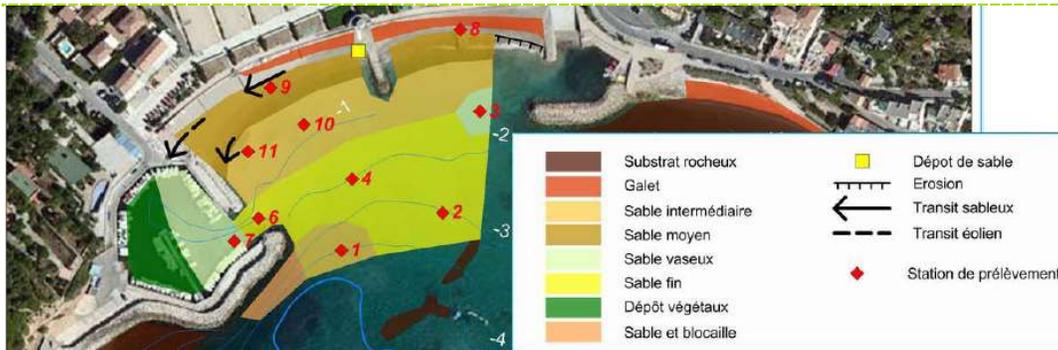
La plage possède une surface sèche d'environ 3600 m² et un linéaire de 500m (trait de côte). Plusieurs opérations de rechargement ont été effectuées afin de maintenir cette surface sèche et contrôler le phénomène d'érosion dans le site.



Figure 6 : Plage de la zone d'étude

2.2.4.1 Analyse granulométrique des sédiments de la baie :

En 2012, la société OTEIS avait effectué dans le cadre de sa note de sédimentologie Ref [15], une campagne d'analyse de prélèvement et analyses.



Echantillon	> 2 mm	< 63 µm	D50 (mm)	D10 (mm)	D90 (mm)
1	1%	2.1%	0.23	0.14	0.45
2	0	4.3%	0.18	0.10	0.32
3	0	13%	0.17	0.05	0.32
4	1%	3.9%	0.17	0.08	0.26
6	0	1.3%	0.19	0.13	0.36
7	1%	14%	0.19	0.05	0.41
8	0	0.2%	0.34	0.19	0.48
9	1%	0.7%	0.29	0.15	0.47
10	0	1.5%	0.22	0.13	0.42
11	0	0.7%	0.20	0.15	0.40

Résultats des analyses granulométriques

Le sable présent sur la zone est un sable fin à moyen : D50 de 0.17 à 0.34 mm. La fraction grossière (> 2 mm) est négligeable, inférieure à 1%. La fraction fine (< 63 µm) est généralement inférieure à 4%, excepté sur les stations 3 et 7 où elle atteint 13 et 14%.

D'une manière générale, on peut distinguer 4 stocks de sables :

- Sable moyen (D50 > 28 mm), sur l'estran (stations 8 et 9) ;
- Sable intermédiaire (20 ≤ D50 < 25 mm), (stations 1, 10 et 11) ;
- Sable fin (D50 < 20 mm), en fond de baie, profondeur < 2 m (station 2, 4 et 6)
- Sable fin vaseux (D50 < 20 mm et fines > 13%), dans le port de plaisance (station 7) et à proximité de la base nautique (station 3).

Figure 7 : granulométrie de la Anse, Ref [15], 2012

2.2.4.2 Analyse granulométrique des sédiments de la plage :

En 11/2019, la société OTEIS a effectué dans le cadre de son rapport Ref [17], une campagne d'analyse de prélèvement et analyses.

Il a ainsi été réalisé 5 sondages à la pelle mécanique (PU1 à PU5) et 15 prélèvements d'échantillon pour des caractérisations granulométriques.



Sondage	Formation sédimentaire		Formation en fond de sondage	Venue d'eau
	Nature	Epaisseur		
PU1	Sable, graviers et galets	2,0 m	Terre sableuse et argiles noires	0.9 m
PU2	Sable, graviers et galets	1,8 m	Argiles gris-beige	0.6 m
PU3	Sable, graviers et galets	1,5 m	Argiles gris-beige	0.9 m
PU4	Galets et sables	1,6 m	Tourbe et argiles noires	0.5 m
PU5	Galets et sables	1,25 m	Argiles beiges	0.5 m

Sondage	Profondeur	< 63 µm	< 2 mm	> 2 mm	Dmax	D50	Sable	Gravier	Galet
PU1	0.5 m	0.9	80.1	19.9	80 mm	0.3 mm	80	1	19
	1.0 m	1.2	49.9	50.1	63 mm	2 mm	50	26	24
	1.5 m	0.9	69.3	30.7	80 mm	0.38 mm	69	17	14
	2.0 m	1.7	68.3	31.7	80 mm	0.4 mm	68	17	15
PU2	0.5 m	1.1	46	54	50 mm	2.5 mm	46	38	16
	1.0 m	0.7	41.8	58.2	80 mm	2.8 mm	42	34	24
	1.5 m	1	44.1	55.9	63 mm	3 mm	44	36	20
PU3	0.5 m	0.8	30.6	69.4	63 mm	5 mm	31	44	25
	1.0 m	1.3	29.7	70.3	80 mm	11 mm	30	33	37
	1.5 m	2.3	28.7	71.3	63 mm	11 mm	29	35	37
PU4	0.5 m	1.5	35.9	64.1	80 mm	4.2 mm	36	36	28
	1.0 m	0.5	16.9	83.1	80 mm	32 mm	17	16	67
	1.5 m	6.8	15.6	84.4	63 mm	40 mm	16	21	64
PU5	0.5 m	3.6	17	83	80 mm	32 mm	17	15	68
	1.0 m	2.7	38.7	61.3	63 mm	13 mm	39	15	46

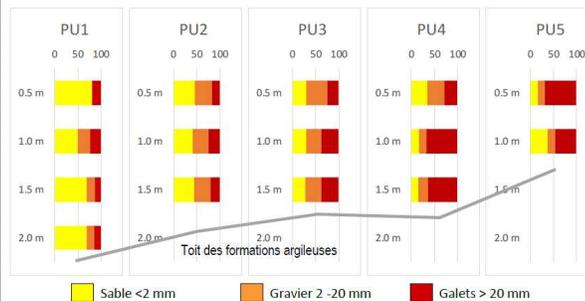


Figure 8 : granulométrie de la plage est, Ref [16], 2020

2.2.4.3 Profil sédimentaire de la plage :

En 03/2020, dans le cadre de son rapport Ref [17] la société OTEIS a fait réaliser par Semantic TS – Creocan, une campagne de reconnaissance du sous-sol dans la baie du Rouet par sismique réflexion afin d'établir les horizons sismiques présents dans la baie.

Les horizons sismiques rencontrés sont :

- l'unité U100 considérée comme le substratum pléistocène et probablement associé à des dépôts relativement grossiers est compactés, voir indurés,

- l'unité U200 considérée comme mise en place au cours de la dernière remontée du niveau marin et constituée de sédiments grossiers à minima à son toit. Cette unité plus ou moins compactée ne peut être considérée comme le disponible sédimentaire,
- l'unité U300 présente essentiellement dans la partie centrale du site est assimilée au disponible sédimentaire sableux (unité récente), son épaisseur apparaît comme relativement faible (0 – 1,6 m).

La figure ci-dessous présente de façon schématique l'organisation du sous-sol sur le site d'étude selon une orientation ouest-est.

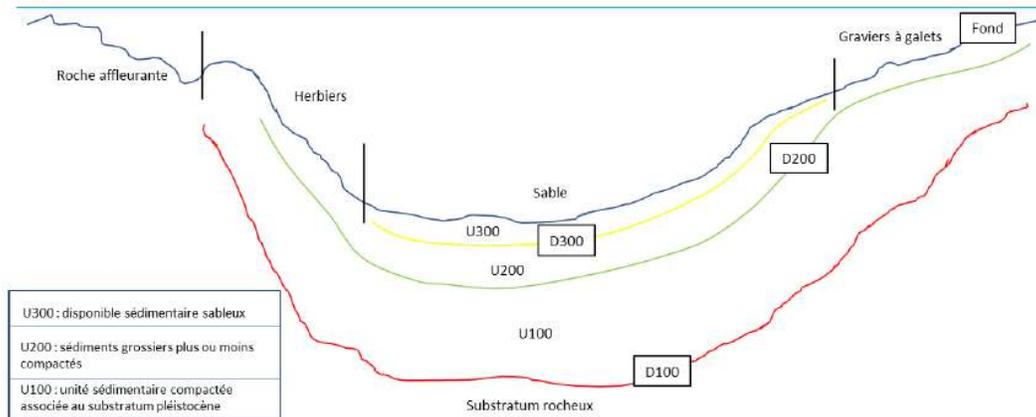
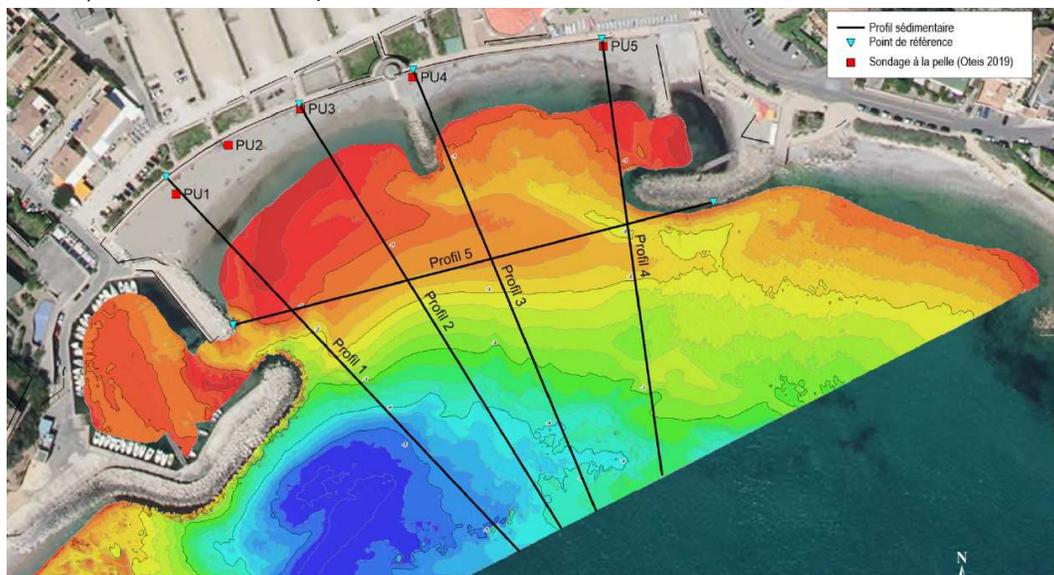


Figure 22. Organisation schématique du sous-sol

Le volume estimé dans cette étude pour le disponible sédimentaire est de 21 000 m³.

A partir de ces données et des coupes issues des sondages réalisés sur le haut de plage (cf ci-dessus), OTEIS a défini les profils suivants.



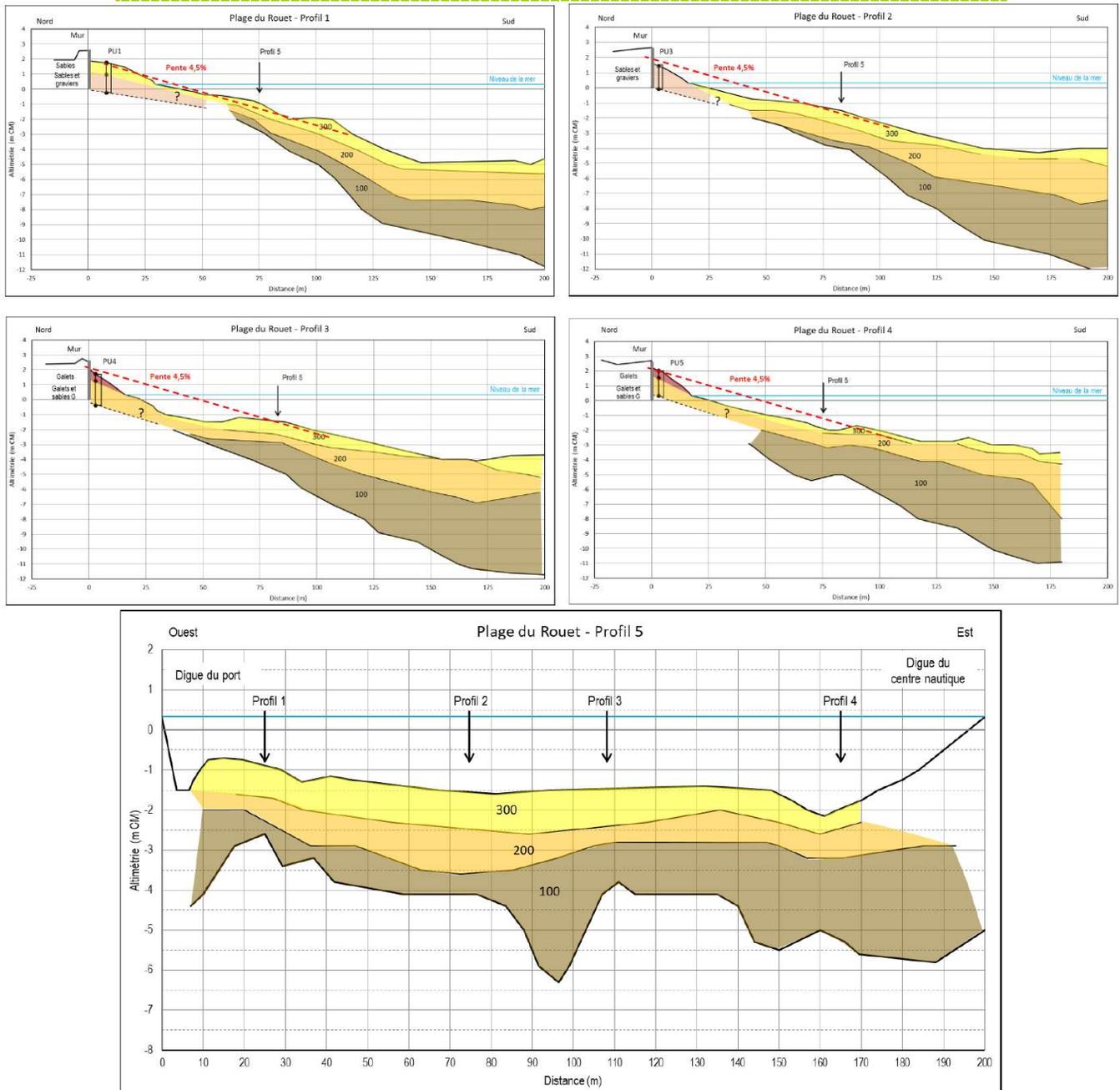


Figure 9 : Analyse morphologique des profils de plage, Ref [16], 2020

Note : OTEIS indique que la continuité des horizons sismiques et des formations sédimentaires présentes sur le haut de plage est interprétée et devra faire l'objet d'une confirmation.

2.2.4.4 Analyse physico-chimique des sédiments :

Une campagne d'analyse de sédiment a été menée par la société Suez Consulting en 2020 dans le cadre de cette étude (cf Réf [19]).

3 prélèvements ont été réalisés et mélangés pour obtenir un échantillon moyen.



	% sur la fraction totale
Argiles	0.58
Limons fins	1.70
Limons grossiers	1.50
Sable fins	21.81
Sable grossier	74.29
Graviers	2.94

Figure 10 : Localisation des prélèvements, Analyse granulométrique Ref [19], 2020

L'échantillon moyen prélevé présente en majorité des sédiments de sable pur (seulement 3.8 % de vase). La zone est constituée à 74 % de sable grossier (200 à 2 000 µm).

Les sédiments prélevés ne présentent pas de pollution au sens de la réglementation (paramètres avec une teneur en polluant inférieure au seuil N1).

Tableau 1: résultats des analyses réalisées sur les sédiments présents dans l'anse du Rouet.

ANALYSE DES DEBLAIS DE DRAGAGE	Unité	Niveaux de référence		Arrêté préfectoral	E1
		N1	N2		
Densité	g/cm³				1.47
Matières sèches	% P.B				80.1
Réfus pondéral à 2 mm	% P.B				2.94
Azote Kjeldahl	g/kg MS				<0.5
Carbone Organique Total	mg/kg MS				3160
Phosphore total	mg/kg MS				233
Composés Organostéarins	TBT	100	400	23/12/2013	<2.0
	Monobutylétain				<2.0
	Dibutylétain				2.2
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Naphtalène	0.16	1.13	08/02/2013	<0.002
	Acenaphthylène	0.04	0.34		<0.002
	Acenaphthène	0.015	0.26		<0.002
	Fluorène	0.02	0.28		0.0026
	Phenanthrène	0.24	0.87		0.012
	Anthracène	0.085	0.59		<0.002
	Fluoranthène	0.6	2.85		0.015
	Pyrène	0.5	1.5		0.01
	Benzo (a) anthracène	0.26	0.93		0.0038
	Chrysène	0.38	1.59		0.0046
	Benzo(b)fluoranthène	0.4	0.9		0.0094
	Benzo(k)fluoranthène	0.2	0.4		0.002
	Benzo(a)pyrène	0.43	1.015		0.0038
	Dibenzo (ah) anthracène	0.06	0.16		0.0022
Benzo(ghi)perylène	1.7	5.65	0.0032		
Indeno (1.2.3-cd) pyrène	1.7	5.65	0.0027		
Polychlorobiphenyles	PCB 028	0.025	0.05	27/09/2006	<0.001
	PCB 052	0.025	0.05		<0.001
	PCB 101	0.05	0.1		<0.001
	PCB 118	0.025	0.05		<0.001
	PCB 138	0.05	0.1		<0.001
	PCB 153	0.05	0.1		<0.001
	PCB 180	0.025	0.05		<0.001
	Somme des PCB	0.5	1		0.004
Métaux	Cadmium	1.2	2.4	27/09/2006	<0.10
	Chrome	90	180		3.36
	Cuivre	45	90		<5.00
	Plomb	100	200		<5.00
	Zinc	276	552		<5.00
	Arsenic	25	50		1.81
	Mercurure	0.4	0.8		<0.10
	Nickel	37	74		1.35
	Aluminium				400
Microbiologie	Echerichia Coli	NPP/g			<56

2.2.5 Muret en haut de plage

Le muret en haut de plage possède un linéaire de 240m, avec une largeur de 0.25m et une hauteur d'environ 1.80 +mCM (1.471 mNGF), qui varie néanmoins le long de la structure.

Ce muret sert à séparer la plage par les aménagements terrestres (parking, chemin piétons) et aussi à protéger la zone en amont contre les franchissements des vagues puissantes.



Figure 11 : Muret en haut de plage dans la zone d'étude

2.3 Accès au site

Concernant l'accès chantier terrestre au port à l'Ouest du secteur deux possibilités ont été étudiées :

- 1) l'accès par la route avoisinante, en passant par le **pont**, situé au nord du port
- 2) l'accès par le rondpoint à l'Est du secteur, en traversant le parking. Ce scénario présente des certaines contraintes concernant le démontage des aménagements au niveau du parking.



Figure 12 : Accès au port

La zone d'installation peut avoir lieu au niveau du port (surface de 600 m²). Les matériaux et équipements de construction peuvent aussi être stockés partiellement sur la plage.

L'entrée de la zone de circulation sur la contre digue possède une largeur de 4m.



Figure 13 : Zone d'installation au port

Pour accéder à la base nautique pendant la phase de chantier, l'entrée à l'est de la zone peut être exploitée.



Figure 14 : Accès au niveau de la base nautique.

2.4 Réseaux

Nous avons effectué un recueil des données concernant les réseaux en présence sur le site d'étude. Une demande DT a été effectuée sur le site DICT.fr afin que les différents exploitants potentiellement concernés par le positionnement des ouvrages nous informent des réseaux présents et des contraintes associées.

1 dossier

DT 22MPL044

Marseille 13620 CARRY LE ROUET

Prévu le: 21/12/2022 Durée: 100 jour(s)

N° consultation: 2022060600911DBA

Envoyé le 06/06/2022

4/8

PMSR

- Listing des exploitants concernés :

1. ENEDIS-DRPADS-PROVENCE ALPES DU SUD
2. Orange J1
3. SOCIETE EAUX DE MARSEILLE METROPOLE (SEMM)
4. METROPOLE AIX MARSEILLE PROVENCE
5. MAIRIE de CARRY LE ROUET - Giustiniani Patrick
6. SOCIETE D'ASSAINISSEMENT OUEST METROPOLE (SAOM)

Nous sommes en attentes des retours des différents gestionnaires.

Documents 4									
VU	ID DOCUMENT	TYPE...	RÉSEAU	DESTINATAIRE	M.	STATUT DOCUMENT +	STATUT RÉPONSE	STATUT RELANCE	
<input type="checkbox"/>	386786900	DT	S	GU ENEDIS-DRPADS-PROVENCE ALPES DU SUD-E		Transmis le 06/06/2022	En attente	▼ À envoyer	
<input type="checkbox"/>	386786903	DT	NS	GU SOCIETE EAUX DE MARSEILLE METROPOLE (SEMM) - A		Transmis le 06/06/2022	En attente	▼ À envoyer	
<input type="checkbox"/>	386786896	DT	S	GU MAIRIE de CARRY LE ROUET - Giustiniani Patrick		Transmis le 06/06/2022	En attente	▼ À envoyer	
<input type="checkbox"/>	386786901	DT	NS	GU SOCIETE D'ASSAINISSEMENT OUEST METROPOLE (SAC)		Transmis le 06/06/2022	En attente	▼ À envoyer	

Les documents fournis par la société des eaux de Marseille et ENEDIS n'indiquent pas la présence de réseaux et canalisations au niveau des ouvrages impactés par les aménagements.

2.5 Bathymétrie

Les données existantes à l'origine de l'étude étaient :

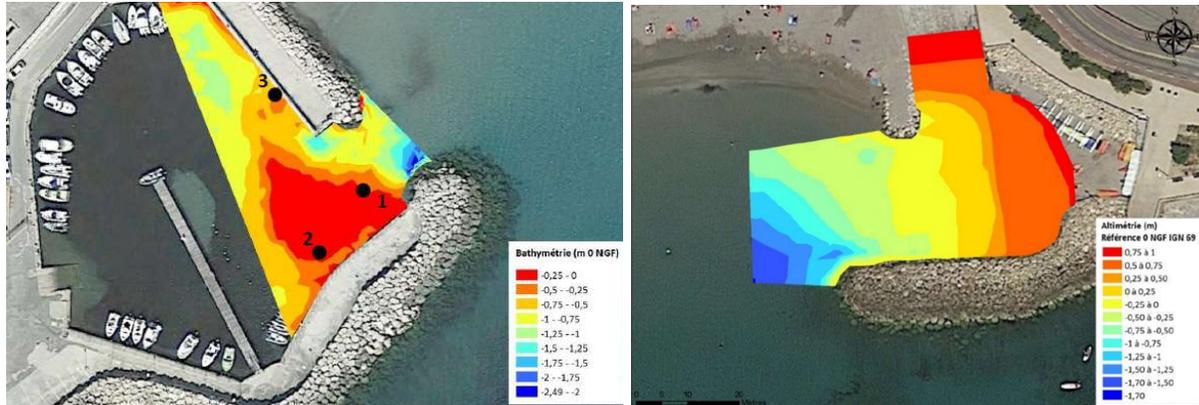


Figure 15 : bathymétrie sur la zone à draguer du Port du Rouet, Ref [7], 2018
 Figure 16: bathymétrie de la zone à draguer au niveau de la base nautique, Ref [6], 2016

Au démarrage de l'étude, la Métropole ne disposant pas de plan bathymétrique précis et récent au niveau de l'Anse du Rouet, ACTIMAR - Ref [13] a utilisé les sources suivantes pour la construction de son MNT :

- Le MNT HOMONIM 2015 du SHOM qui fournit une description complète de la bathymétrie du golfe du Lion et de la côte d'Azur sur une grille de 100 m de résolution.
- Les données à haute-résolution Litto3D « PACA 2015 » du SHOM et de l'IGN ont été utilisées dans l'anse du Rouet dans les zones littorales et portuaires.

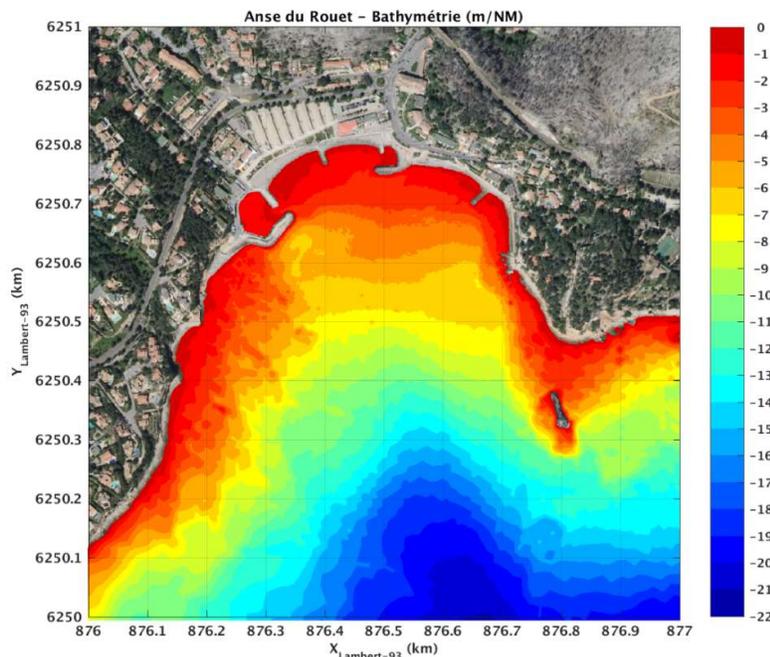


Figure 17 : bathymétrie de l'anse du Rouet, Ref [13],

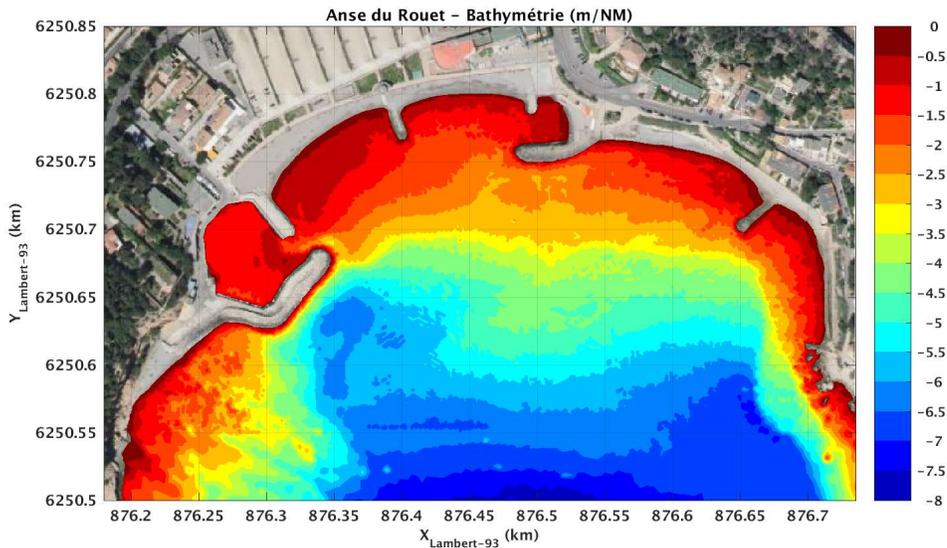


Figure 18 : Zoom - bathymétrie de l'anse du Rouet, Ref [13]

Note : référence verticale : Niveau Moyen (NM) = + 49 cm CM.

En 01/2020, une bathymétrie de la Anse a été réalisée dans le cadre d'une Campagne de mesures dans la baie du Rouet à Carry-le-Rouet visant à définir les Profils sédimentaires de la plage et de la baie du Rouet (Réf 17).

Cette bathymétrie servira aussi pour le dimensionnement des ouvrages.

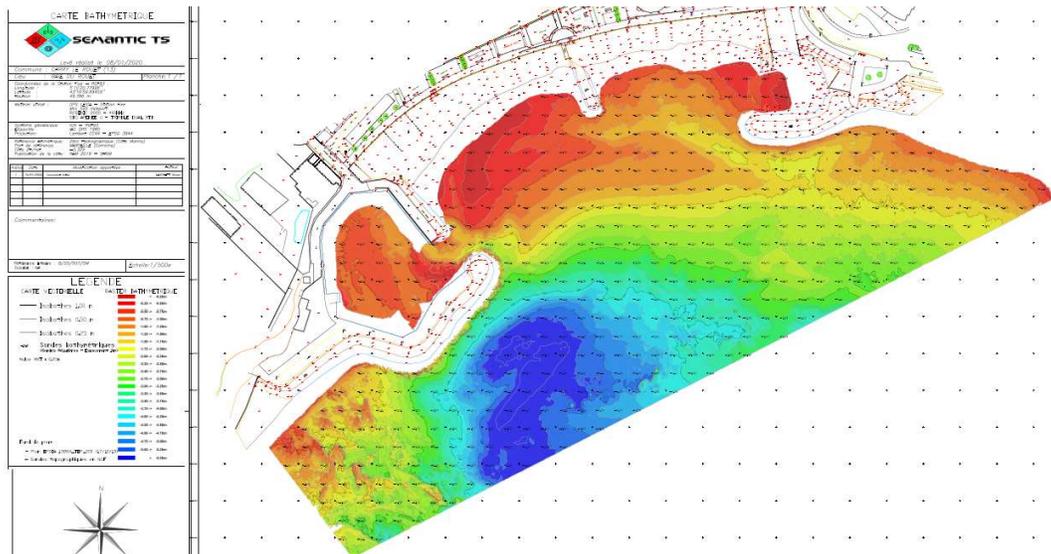


Figure 19 : bathymétrie de l'anse du Rouet, 01/2020, Ref [17],

Une bathymétrie sera réalisée au démarrage des travaux (durant la phase de préparation)

2.6 Topographie du site

La Métropole a fait réaliser un relevé topographique de la plage et des ouvrages par l'entreprise OPSIA en octobre 2019 (Réf 16). Les données topographiques seront à actualiser pour la phase travaux (durant la phase préparatoire).

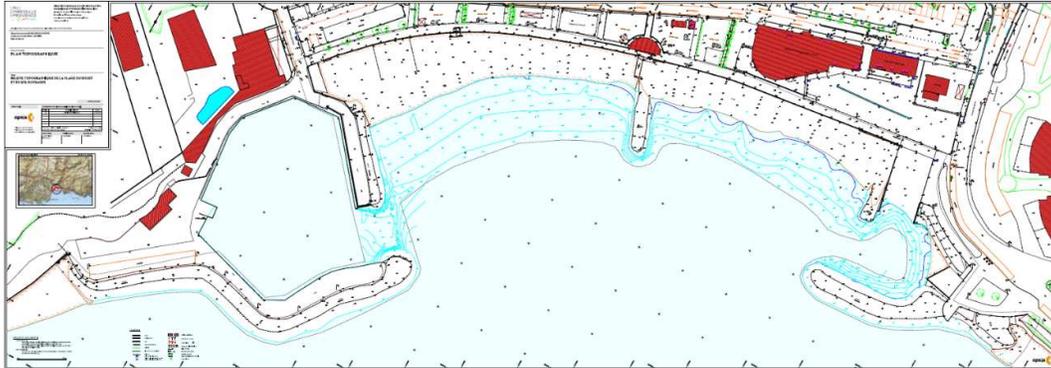
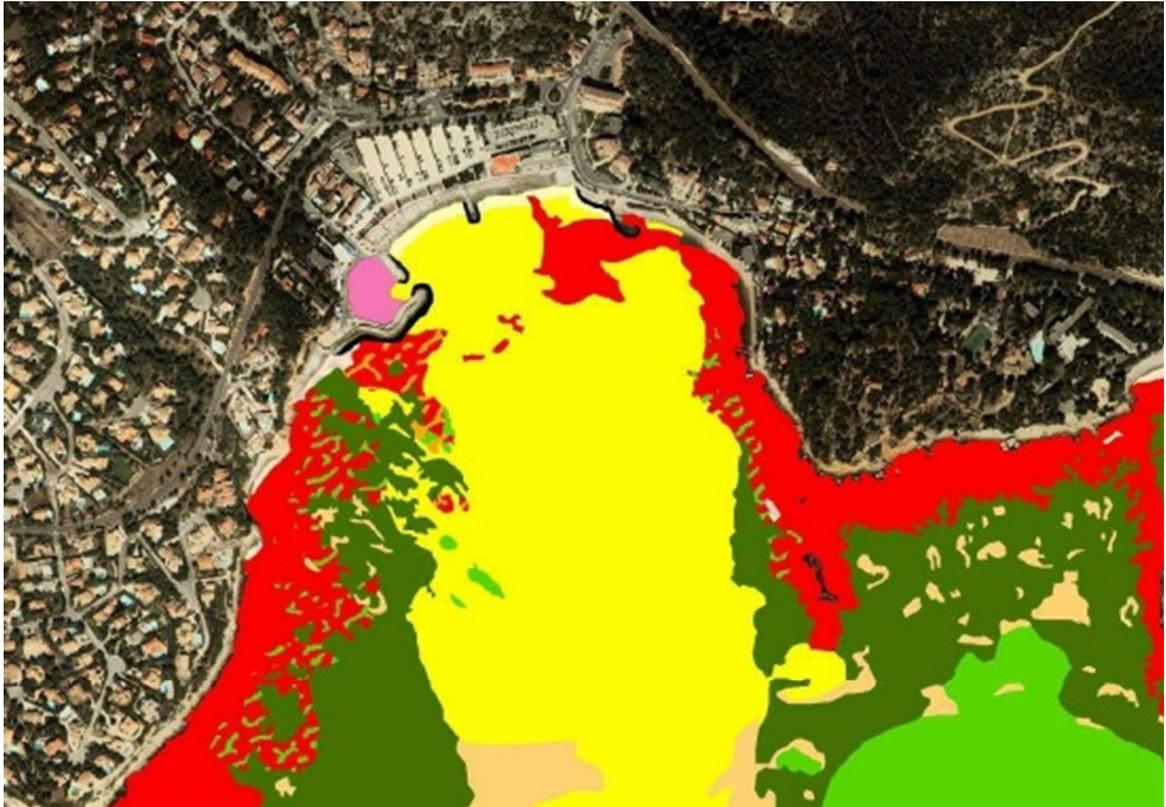


Figure 20 : campagne topographique, OPSIA 2019

2.7 Nature des fonds

Globalement, l'anse du Rouet est constituée de zones sableuses en son centre et vers la plage, puis de fonds rocheux à l'approche du rivage.



Habitats marins, zoom sur l'anse du Rouet (GIS Posidonie, 2012¹).

- Herbier de Posidonie :**
- : Matte morte
 - : Herbier de Posidonie
 - : Herbier de Posidonie sur roche
- Mosaïques relatives à l'herbier de Posidonie :**
- : Herbier de Posidonie de faible recouvrement (<30 %) sur matre morte
 - : Mosaïque d'herbier de Posidonie et de roches infralittorales à algues photophiles
- Récifs :**
- : Roches infralittorales à algues photophiles
- Mosaïques relatives aux récifs :**
- : Roches infralittorales à algues photophiles et matre morte
- Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine :**
- : Galets infralittoraux
 - : Sables et graviers sous influence des courants de fond
 - : Sables fins bien calibrés
 - : Sables fins de haut niveau
 - : Sédiments portuaires

¹ GIS Posidonie, 2012. Inventaires biologiques et analyse écologique de l'existant - NATURA 2000 en MER Lot n°12. Site Côte Bleue Marine FR 9301999. Contrat GIS Posidonie / AGENCE DES AIRES MARINES PROTEGEES. Programme CARTHAM, contrat AAMP - GIS Posidonie, 2012 (selon les données SHOM, IGN, IFREMER, GIS POSIDONIE, ANDROMEDE OCEANOLOGIE, GAUTHIER, PICARD - STATION MARINE D'ENDOUME, COPETECH SM, HYDROCONSULT). 461p

Figure 21 : Habitats marins – GIS Posidonie, 2012

2.7.1 Caractéristiques des matériaux - Port du Rouet + Plage à l'est de l'épi central

Une campagne d'analyse des sédiments a été menée le 08/02/2018 par la société GALATEA (Ref [7]). Les zones de prélèvement se trouvaient au niveau de la zone de dragage du port du Rouet ainsi que sur la partie est de la plage (à l'est de l'épis de séparation central).



Figure 22 : zone de prélèvement des sédiments dans le port et sur la plage, Ref [7], 2018

Pour le port, les prélèvements 1, 2 et 3 ont été analysés séparément pour former les échantillons 1, 2 et 3.

Pour la plage, les prélèvements 4, 5 et 6 a été mélangés pour former l'échantillon moyen 4.

➤ Analyse granulométrique des sédiments :

Les sables des 2 zones (port et plage) sont de granulométrie très proche.

Au niveau du port du Rouet, la quantité de sables grossiers (fraction comprise entre 2mm et 200µm) prédominent sur celle de sables fins (fraction comprise entre 63µm et 200µm). La quantité en particules fines (fraction comprise entre 0µm et 63µm) est extrêmement faible.

L'échantillon de plage à l'est de l'épi est composé à 99% de sables grossiers. Aucune présence de particules fines n'a été relevée.

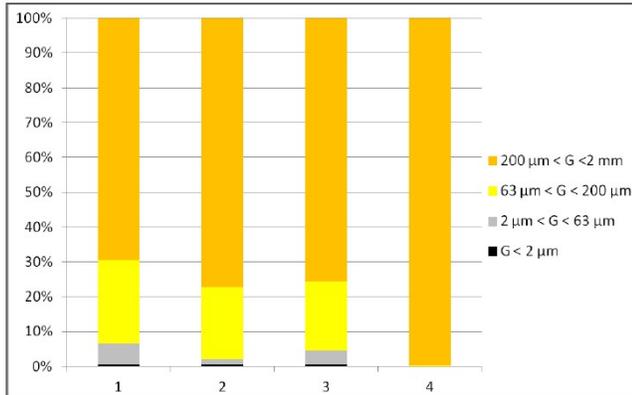


Figure 23 : granulométrie de la zone Port + plage est, Ref [7], 2018

PARAMETRES	ECHANTILLONS				UNITES
	Port			Plage	
	1	2	3	4	
MATIERE ORGANIQUE					
Carbone Organique Total	3,74	1,17	2,09	-	g/kg MS
PHYSICO-CHIMIE					
Al	0,363	0,397	0,323	-	g/kg MS
Matière sèche	72,0	75,3	75,2	92,7	% PB
GRANULOMETRIE					
> 2mm	2,30	1,49	1,78	4,41	% PB
200 µm < G < 2 mm	69,56	77,27	75,56	99,77	%
63 µm < G < 200 µm	23,88	20,74	19,97	0,23	
2 µm < G < 63 µm	5,88	1,45	3,88	0	
G < 2 µm	0,67	0,54	0,59	0	

Tableau 1 : Résultats d'analyses des sédiments

- **Analyse physico-chimique des sédiments** : au niveau du port, la proportion en aluminium est très faible, ce qui est cohérent avec la faible quantité d'argile présente sur la zone.

En ce qui concerne les matières organiques, on retrouve les concentrations en carbone organique total (COT) dans le tableau suivant :

Tableau 2 : concentrations en aluminium et en COT dans le port, Ref [7], 2018

PARAMETRES	Port			Plage	UNITES
	1	2	3	4	
Al	0,363	0,397	0,323	-	g/kg MS

PARAMETRES	Port			Plage	UNITES
	1	2	3	4	
Carbone Organique Total	3,74	1,17	2,09	-	g/kg MS

Au vu des très faibles concentration en particules fines et en COT, les sédiments du Port du Rouet présentent donc un potentiel de fixation des contaminants extrêmement faible sur les fractions <2mm, comme pour la zone de la base nautique.

Les résultats indiquent également une concentration faible en bactéries dans port :

Tableau 3 : valeurs seuils d'appréciation de la qualité des eaux du port, Ref [7], 2018

	Seuils de qualité			08/02/2018		
	Bonne	Moyenne	Insuffisante	1	2	3
Escherichia coli (NPP/100 ml)	< 250	250 ≤ x < 500	> 500	15	<15	<15
Entérocoques (NPP/100 ml)	< 100	100 ≤ x < 200	> 200	61	15	<15

Les concentrations en bactéries sont largement inférieures aux seuils.

2.7.2 Caractéristiques des matériaux - Base nautique

Une campagne d'analyse des sédiments de la zone de la base nautique a été menée par la société GALATEA en 2016, pour le dossier de déclaration du dragage du centre de voile (ou base nautique) du Rouet (Ref [6]).



Figure 24 : Plan d'échantillonnage GALATEA, Ref [6], 2016

3 prélèvements ont été réalisés et mélangés pour obtenir un échantillon moyen CV dont l'analyse est présentée ci-dessous.

- **Analyse granulométrique des sédiments** : les sédiments de cette zone sont composés de sables fins à grossiers. La proportion de fines est nulle ce qui entraîne un potentiel d'absorption des contaminants très faible.

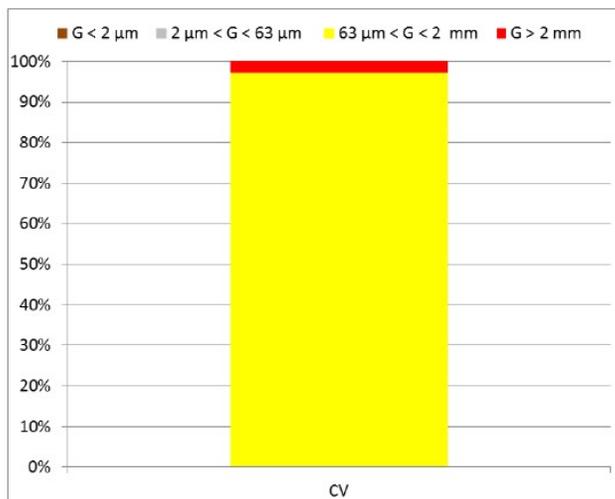


Figure 25 : Granulométrie des sédiments dans la zone de la base nautique, Ref [6], 2016

- **Analyse physico-chimique des sédiments** : toutes les concentrations en éléments polluants sont inférieures au seuil N1 (voir tableau ci-après).

Les résultats physico-chimiques indiquent que la zone de la base nautique possède une très faible teneur en matière organique, ce qui est cohérent avec la granulométrie sableuse des sédiments : en effet, les caractéristiques granulométriques et la faible charge organique confèrent aux sédiments une faible capacité d'absorption des contaminants.

En ce qui concerne les métaux lourds, les concentrations de la zone sont également très faibles : elles sont toutes inférieures au niveau seuil de référence N1 défini par l'arrêté modifié du 9 août 2006.

L'ensemble des analyses sédimentaires ont donc montré que les sédiments à extraire sont très peu contaminés. Les teneurs en contaminants (PCB, HAP, métaux lourds et TBT) sont toutes très faibles voir non quantifiables d'après le rapport.

Tableau 4 : résultats d'analyses des sédiments de la zone de la base nautique, Ref [6], 2016

PARAMETRES	N1*	N2*	ECHANTILLONS CV	UNITES
NUTRIMENT				
Phosphore Total			79,4	mg/kg MS
Azote Kjeldahl			<0,5	
PHYSICO-CHIMIE				
Carbone Organique Total			<1	g/kg MS
Al			0,433	
Matière sèche			80,7	% PB
Densité			1,65	-
GRANULOMETRIE				
G > 2 mm			2,75	% PB
63 µm < G < 2 mm			97,25	
2 µm < G < 63 µm			0	
G < 2 µm			0	
METAUX LOURDS				
As	25	50	1,26	mg/kg MS
Cd	1,2	2,4	<0,1	
Cr	90	180	3,63	
Cu	45	90	5	
Hg	0,4	0,8	<0,1	
Ni	37	74	<1	
Pb	100	200	<5	
Zn	276	552	5,59	
ORGANOMETALLIQUES				
Monobutylétain (MBT)			<3	µg/kg MS
Dibutylétain (DBT)			<4	
Tributylétain (TBT)	100	400	<4,9	
HAP				
Benzo (b) fluoranthène	400	900	6,8	µg/kg MS
Benzo (k) fluoranthène	200	400	2,8	
Benzo (g,h,i) pérylène	1700	5650	3,3	
Indéno (1,2,3-c,d) pyrène	1700	5650	4	
Fluoranthène	600	2850	12	
Benzo (a) pyrène	430	1015	5,9	
Acénaphène	15	260	<2,4	
Acénaphthylène	40	340	<2,4	
Anthracène	85	590	<2,4	
Benzo (a) anthracène	260	930	5,2	
Chrysène	380	1590	6,7	
Dibenzo (a-h) anthracène	60	160	<2,4	
Fluorène	20	280	<2,4	
Naphtalène	160	1130	<2,4	
Phénanthrène	240	870	<2,4	
Pyrène	500	1500	9,5	
HAP Totaux			56<x<73	
ORGANOCHLORES				
PCB 28	5	10	<1	µg/kg MS
PCB 52	5	10	<1	
PCB 101	10	20	<1	
PCB 118	10	20	<1	
PCB 138	20	40	<1	
PCB 153	20	40	<1	
PCB 180	10	20	<1	
PCB Totaux	80	160	<7	

2.7.3 Présence d'espèces remarquables

Selon la carte du GIS Posidonies 2012, il n'y a pas d'herbier de posidonies sur le proche littoral entre le port et la base nautique. Les herbiers se retrouvent sur le littoral aux extrémités de l'anse ou vers le large.

En revanche, de nombreuses feuilles mortes de posidonies se sont amassées dans le fond de l'anse, au niveau de la passe d'entrée de la base nautique, ce qui engendre des problèmes d'exploitation du centre et de sécurité pour les usagers. Ces posidonies mortes sont également présentes sur la plage.

En 1991, le Parc Marin de la Côte Bleue a effectué une campagne de reconnaissance des fonds de l'anse du Rouet par plongées au droit de 17 stations (10 côté Ouest et 7 côté Est) et une photographie aérienne datant de 1985.

Extraits du rapport du PMCB [Réf 10] : «

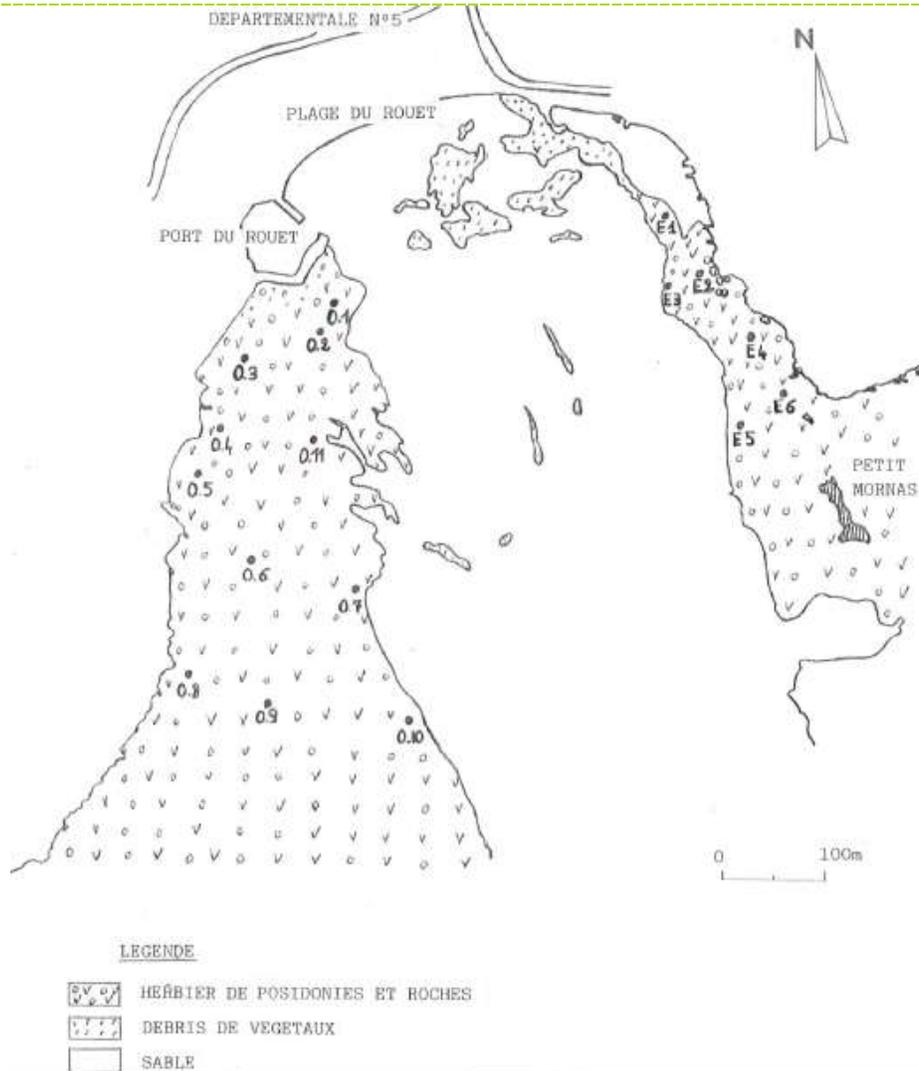


Figure 26 : présence d'herbiers de posidonies en 1991, Ref [10], 1991

L'anse est occupée en son centre par une large rivière de retour (Boudouresque et Meeinez, 1982), constitué de sable, et qui se prolonge de la plage au Nord jusqu'à la limite Sud de la zone étudiée. L'herbier de Posidonies se situe sur les côtes Est et Ouest de l'Anse, sur substrat essentiellement rocheux.

1 - L'herbier de Posidonies de l'anse du Rouet

[...]

Cet herbier se révèle être d'excellente qualité, et présente peu de zones évolutives d'érosion, ce qui indique une certaine stabilité et un équilibre des conditions hydrodynamiques et de qualité des eaux de l'anse du Rouet.

[...]

La faune associée à cet herbier et aux zones rocheuses superficielles est extrêmement diversifiée.

Pour la faune mobile, nous avons pu constater la présence de la plupart des espèces de labres, crénilabres, sars, rascasses, blennies, gobies, saupes, muges, rougets, céphalopodes, et crustacés, ..., classiques de l'étage infralittoral superficiel sans cependant procéder à un inventaire qui aurait nécessité d'autres moyens. Les juvéniles de ces différents groupes d'espèces étaient très représentés.

Le peuplement en oursins comestibles (*Paracentrotus lividus*) est remarquable par rapport à l'état de surexploitation que l'on observe sur l'ensemble des zones ouvertes à la pêche sur la Côte Bleue (Lediréac'h et al, 1987).

En certains points, les densités atteignent 76 oursins au m² (moyenne de 17/m² pour les adultes à partir de 3 cm de diamètre) et ponctuellement, près des digues du port actuel (station 0.1), jusqu'à 450/m² (toutes tailles confondues), dans les petits blocs rocheux à proximité des touffes d'herbier, témoignant de la présence réelle d'une zone de "frayère" rapportée dans les propos des pêcheurs professionnels.

Sur cette station également, la présence à moins de 5 mètres de profondeur de nombreux violets, ascidies, huitres, et spirographes (filtreurs), témoigne de conditions courantologiques particulièrement favorables.

[...]

3 - Les fonds sableux

Les fonds sableux de l'anse du Rouet représentent le faciès le plus important par rapport aux autres types de substrats; soit environ une vingtaine d'hectares.

Si ces fonds revêtent bien peu d'attraits pour le public, ils constituent néanmoins l'habitat préférentiel de bien des espèces de poissons ayant une grande importance pour la pêche. Comme pour les petits fonds rocheux et les herbiers de posidonies, les fonds sédimentaires superficiels jouent un grand rôle dans les cycles de reproduction et dans l'alimentation d'espèces dont par exemple les adultes vivent plus profondément:

[...]»

Note : au regard de la photo aérienne extraite de GoogleEarth 2018, la nature des fonds marins de l'Anse du Rouet ne semble pas avoir beaucoup évolué depuis 1991 hormis au niveau de la base nautique qui a été créé ultérieurement.



Figure 27 : Photo aérienne Google Earth 2018

2.7.4 Repérage des Biocénoses au niveau des ouvrages projetés

La cartographie des substrats et communautés benthiques a été réalisée au droit de l'emplacement présumé des futurs ouvrages maritimes et aux alentours de la zone de travaux.

Pour ce faire, une campagne de terrain a été effectuée le 3 juillet 2020 en plongée sous-marine au niveau des transects ci-dessous (traits bleus) qui avaient été proposés et acceptés par la Métropole au regard des ouvrages envisagés (cf §5.3).



Figure 28 : Transects de repérage effectués par plongeurs, Ref [19], 2020

Les principales biocénoses observées sur le littoral de la baie du Rouet sont :

- Biocénose des sables infralittoraux

- Biocénoses des algues infralittorales
- Biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*

Une nurserie de *Paracentrotus lividus* a été observée à l'ouest de l'anse, à proximité de la digue du port du Rouet.

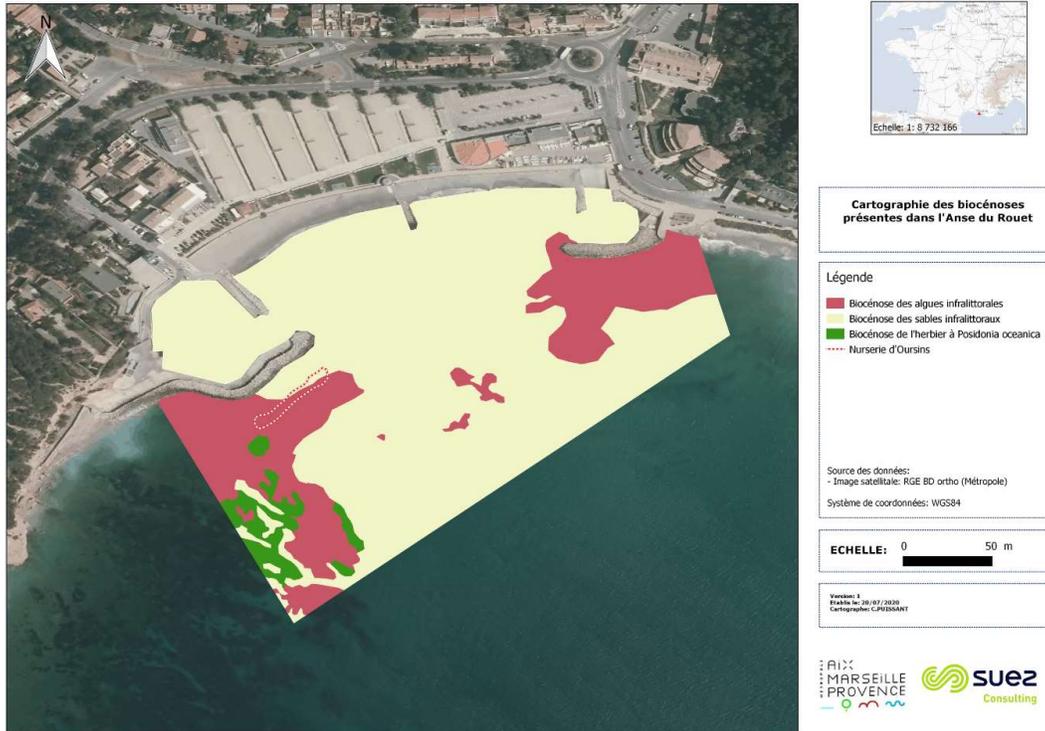


Figure 29: Cartographie des biocénoses présentes dans l'Anse du Rouet Ref [19], 2020.

Ainsi au regard de cette campagne de terrain, **aucun élément pouvant empêcher la réalisation des aménagements dans l'anse du Rouet n'a été mis en lumière à l'exception de la nurserie d'oursins violets. A ce titre, les futurs aménagements devront éviter au maximum d'impacter cette zone.**

3 CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

3.1 Les niveaux d'eau

Le niveau des eaux dépend de trois phénomènes qui sont :

- o La marée
- o Les surcotes (associées aux phénomènes météorologiques)
- o Les changements climatiques (qui entraînent une surélévation du niveau d'eau)

Dans cette zone, la marée est de type semi-diurne avec un faible marnage (quelques décimètres).

Les niveaux caractéristiques de la marée dans le port de Marseille (Corniche) sont donnés par le SHOM :

Tableau 5 : les niveaux d'eau dus aux marées, SHOM

PHMA	NM	PBMA
0.70 m CM	0.49 m CM	0.27 m CM
0,37 m NGF	0,16 m NGF	-0,06 m NGF

Les données du SHOM indiquent que pour le port de Marseille (Corniche), le Zéro hydrographique se situe à 0,329m en dessous du Zéro NGF/IGN69.

Les surcotes sont liées aux variations de vent et de pression atmosphérique. Elles sont estimées à partir des variations de niveau d'eau sans l'action des vagues.

Selon le rapport « La Houille Blanche, n°5, 2011 » sur les niveaux extrêmes en France, le niveau d'eau centennal à considérer pour le Port de Marseille est à + 1,17m NGF/IGN69 (selon les données de Pirazzoli fournies dans le cadre du projet DISCOBOLE 2006).

Les variations du niveau de la mer dues aux facteurs météorologiques sont beaucoup plus marquées que celle due au changement climatique.

Pour note : à l'heure actuelle, on estime l'élévation du niveau moyen de la mer à environ 3,2 mm par an (constat de l'évolution entre 1993 et 2014).

3.2 La houle

Le littoral du Rouet étant exposé vers le Sud, l'anse est soumise à des houles provenant majoritairement des secteurs Sud-Est à Sud-Ouest.

3.2.1 La houle du large

3 études ont permis d'analyser les houles au large de l'anse du Rouet :

- SOGREAH en 2001 : Ref [1]
- ACRI en 2005 : Ref [2]

- ACTIMAR en 2012 : Ref [11] et Ref [14]

3.2.1.1 Etude de SOGREAH

Dans son étude de faisabilité, réalisée en 2001, SOGREAH présentent les résultats suivants issus de données au large du Cap Couronne - complétées par celles de Pomègues (Iles du Frioul au large de Marseille).

Note : Le Cap Couronne est situé environ 10km à l'Ouest de l'anse du Rouet :



Figure 30 : localisation du point de mesure de Cap Couronne

Tableau 6 : statistiques de houles dressées par SOGREAH

Hs (m)	Direction										Total	Cumulé	%
	Cap Couronne												
	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	Inconnu				
0-0,5	0,13	1,70	5,80	4,60	3,75	10,00	4,80	0,25	2,02	33,00	83,4	75,4	
0,5-1	0,02	2,53	4,60	1,60	2,03	8,90	7,00	0,11	0,21	27,00	50,4		
1-1,5	0,02	3,02	3,50	0,70	0,92	4,15	3,14	0,03	0,05	15,50	23,4	19,8	
1,5-2	0,02	1,51	1,40	0,30	0,27	0,92	0,60	-	0,02	5,00	7,90		
2-2,5	-	0,74	0,50	0,12	0,18	0,23	0,14	-	-	2,00	2,90	0,4	
2,5-3	-	0,23	0,16	0,04	0,04	0,02	0,02	-	-	0,51	0,90		
3-3,5	-	0,07	0,06	0,02	0,04	-	-	-	-	0,19	0,39		
3,5-4	-	0,02	0,03	0,04	0,04	-	-	-	-	0,13	0,20		
4-4,5	-	-	0,02	0,01	0,03	-	-	-	-	0,06	0,07	0,4	
4,5-5	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	0,01	0,01		
Total	0,2	9,8	16,1	7,3	7,3	24,2	15,7	0,4	2,3	83,4	100%	100%	

Les statistiques de SOGREAH révèlent donc que les houles les plus fréquentes proviennent des secteurs :

- SSW à WSW (à $\approx 47\%$ des cas) ; avec sur ce secteur : $\approx 78\%$ avec : Hs < 1m
 $\approx 21\%$ avec : 1m < Hs < 2m
 $\approx 1\%$ avec : 2m < Hs
- SE à S (à $\approx 33\%$ des cas) ; avec sur ce secteur : $\approx 63\%$ avec : Hs < 1m
 $\approx 32\%$ avec : 1m < Hs < 2m
 $\approx 5\%$ avec : 2m < Hs

SOGREAH propose ensuite une formule pour l'estimation des périodes moyennes au regard des hauteurs significatives :

$$T_m = 3,7 + 0,7 H_s \text{ pour les houles de Sud à Sud-Est}$$

$$T_m = 4,8 + 0,4 H_s \text{ Pour celles de Sud à Sud-Sud-Ouest}$$

A partir de ces relations SOGREAH présente le tableau suivant :

Tableau 7 : caractéristiques de houles selon la fréquence d'occurrence Ref [1]

Tableau 1.6 : Caractéristiques des houles en fonction de leur fréquence d'occurrence							
Secteur de provenance des houles	Fréquences en durées cumulées	2 mois par an	1 mois par an	10 jours par an	1 jour par an	1 jour tous les 10 ans	1 jour tous les 100 ans
		Hs (m) Cap Couronne	1.3	1.6	2.4	3.6	5
Sud à Sud-Est	Tp (s)	5.5	5.8	6.5	7.5	8.6	9.6
Sud à Sud-Sud-Ouest		6.4	6.5	6.9	7.5	8.2	8.7

Tp : période de pic = 1,2 x Période moyenne Tm

Il est précisé que pour les agitations de SW à WSW, les périodes comme les hauteurs seraient plus faibles.

3.2.1.2 Etude d'ACRI

De la même manière la société ACRI a exploitées les données au large du Cap Couronne dans son étude.

Celles-ci ont ensuite été recoupées avec des données achetées auprès du laboratoire HR Wallingford (laboratoire disposant de modèles globaux vent-houle couvrant toute la mer Méditerranée et le point de calcul pour ces données se trouvait au large (43.25N ; 5.14E)).



3.2.1.2.1 Houles annuelles

ACRI a reporté les statistiques de houles en termes de pourcentage par secteur et par hauteur de houle pour chacune des données (Cap Couronne et HRW) :

Tableau 8 : statistiques de houles dressées par ACRI

Tableau de statistiques des hauteurs de houle Hs de 1987 à 2002 (données HRW)												
Pourcentage (%) de temps de dépassement de seuils Hs												
H _s (m)	Secteur de provenance °N											
	-15°	15°	45°	75°	105°	135°	165°	195°	225°	255°	285°	315°
>0m	6.14	2.29	1.97	4.22	14.82	12.82	12.36	9.77	4.61	6.63	11.02	12.44
>0.5m	4.13	1.19	0.74	1.66	9.61	7.14	6.77	3.89	1.65	4.02	8.65	9.86
>1.0m	1.41	0.2	0.13	0.59	4.58	2.53	2.51	1.14	0.41	1.61	4.25	4.76
>1.5m	0.39	0.01	0.01	0.17	1.98	0.93	1.09	0.44	0.14	0.65	1.32	1.60
>2.0m	0.06	0	0	0.06	0.89	0.39	0.46	0.22	0.04	0.18	0.33	0.32
>2.5m	0.02	0	0	0.01	0.32	0.14	0.21	0.09	0.01	0.06	0.064	0.059
>3.0m	0	0	0	0	0.068	0.047	0.10	0.03	0	0.03	0.002	0.007

Tableau de statistiques des hauteurs de houle Hs de 1964 à 1976 (Mesures à Cap Couronne)										
Pourcentage (%) de temps de dépassement de seuils Hs										
H _s (m)	Secteur de provenance °N									
	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	Indéterminé
>0	0.02	0.24	10.44	15.75	11.20	9.66	26.94	16.84	0.52	6.60
>0.5	0.01	0.05	8.12	8.41	2.80	3.56	14.36	10.87	0.15	0.27
>1	0.01	0.04	5.59	5.66	1.21	1.52	5.46	3.87	0.04	0.06
>1.5	0.01	0.02	2.57	2.16	0.52	0.60	1.30	0.74	0.00	0.02
>2	0.00	0.00	1.05	0.78	0.22	0.33	0.32	0.14	0.00	0.00
>2.5	0.00	0.00	0.32	0.27	0.10	0.15	0.07	0.01	0.00	0.00
>3	0.00	0.00	0.09	0.11	0.06	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00
>3.5	0.00	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00

Il ressort de ces études que les houles au large les plus fréquentes proviennent du secteur Sud à Sud-Est. Les houles les plus fortes en termes d'amplitude proviennent généralement du secteur Sud.

Les études menées par ACRI ne détaillent pas les périodes associées aux houles mentionnées.

3.2.1.2 Houles de tempête

Pour déterminer les caractéristiques de houles de tempêtes sur la zone, ACRI s'est basé sur les données de HRW qui disposaient de séries de tempêtes indépendantes plusieurs fois par an.

Il en ressort que les houles de tempêtes sont le plus souvent de provenance Sud-Ouest / Sud-Est :

Tableau 9 : caractéristiques des houles de tempêtes au large de l'anse du Rouet, Ref [2]

Estimation des hauteurs significatives H _s et des périodes pic des houles extrêmes au large dans le secteur Sud-Ouest – Sud-Est			
1 an	10 ans	50 ans	100 ans
H _s =2.6m à 3m T _p =6.5s à 7.5s	H _s =4.6m à 4.8m T _p =10s à 11s	H _s =5.8m à 6.2m T _p =11s à 12s	H _s =6.2m à 6.8m T _p =11s à 14s

Note : la forte tempête de 1997 avait généré, en provenance du secteur Sud une houle de hauteur significative $H_s = 5,7m$ et de période moyenne de 8,4s (correspondant à une période pic en Méditerranée de 11s).

3.2.1.3 Etudes d'ACTIMAR

3.2.1.3.1 Conditions extrêmes

Pour la caractérisation des houles extrêmes, ACTIMAR s'est servi de la méthode de modélisation POT (Peak Over Threshold).

		Extrême H_s (m) / T_p (s)												
		Période de retour (années)												
		H_s max	1		5		10		25		50		100	
Toutes directions		4.4	3.5	8.8	4.8	9.7	4.7	10.0	5.9	10.5	5.7	10.8	6.1	11.1
	348.75 - 11.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11.25 - 33.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	33.75 - 56.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	56.25 - 78.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	78.75 - 101.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	101.25 - 23.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	123.75-146.25	4.2	2.8	7.9	4.0	8.8	4.5	9.2	5.2	9.7	5.7	10.0	6.2	10.3
	146.25-168.75	3.4	2.6	8.1	3.6	8.9	4.0	9.3	4.6	9.7	5.0	10.0	5.4	10.3
	168.75-191.25	3.3	2.4	7.6	3.3	8.5	3.7	8.8	4.3	9.3	4.8	9.7	5.2	10.0
	191.25-213.75	4.4	2.9	8.7	4.0	9.8	4.5	10.3	5.2	10.8	5.6	11.2	6.1	11.6
	213.75-236.25	3.8	2.6	8.3	3.5	9.4	3.9	9.8	4.5	10.4	4.9	10.8	5.3	11.1
	236.25-258.75	3.1	2.6	7.8	3.1	8.4	3.4	8.7	3.7	9.0	3.9	9.2	4.1	9.4
	258.75-281.25	3.0	2.4	6.9	2.9	7.4	3.2	7.6	3.5	7.9	3.7	8.1	4.0	8.3
	281.25-303.75	2.8	2.3	6.0	2.8	6.5	3.0	6.7	3.3	7.0	3.5	7.2	3.7	7.4
	303.75-326.25	2.8	1.8	5.1	2.6	6.0	3.0	6.4	3.5	6.8	3.8	7.1	4.1	7.4
	326.25-348.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figure 31 : hauteur (H_s) des vagues extrêmes et périodes pics associées (T_p) pour différents secteurs de provenance, Ref [14]

3.2.1.4 Conclusion

Les 3 études menées indépendamment par ACRI, SOGREAH et ACTIMAR mettent bien en lumière le fait que les houles dominantes proviennent majoritairement des secteurs Sud-Ouest (SSO à OSO) puis Sud à Sud-Est.

Les hauteurs de vagues Hs sont la plupart du temps inférieures à 1,5m et n'atteignent que très rarement les 3m, au-delà il s'agit d'houles relatives aux tempêtes.

Les périodes varient entre 2 et 6 secondes mais ne dépassent que très rarement les 7 à 8 secondes.

En condition fréquente, les houles dominantes Sud-Est à Sud-Ouest ne dépassant pas une amplitude de 1m et une période de 6 secondes, les scénarios d'ACTIMAR ont été choisis en fonction.

3.2.2 Propagation de la houle du large dans l'Anse du Rouet

La propagation de la houle du large vers la coté va être influencée par les variations de bathymétrie et les ouvrages implantés sur la zone de propagation.

Dans son étude d'agitation et de courantologie de l'anse du Rouet, ACTIMAR (2018 -2020) a retenu 2 scénarios de houle au large en situation dite moyenne (houles fréquentes) et 3 scénarios de situation extrême.

Les résultats présentés ci-après sont issus de modélisations réalisées à l'aide du modèle Tomawac(cf. 4.1.2).

Tableau 10 : liste des scénarios pour l'étude de houle, Ref [11]

N°	Etats de mer au large	Vent	Niveau d'eau	Remarques
1	SE, 1 m, 5 s	7 m/s	NM	Situation « moyenne » SE
2	SSO, 1 m, 5 s	7 m/s	NM	Situation « moyenne » SSO
3	SE, 2.8 m, 7.9 s	14.9 m/s	NM + 20 cm = PHMA	Situation extrême annuelle de SE
4	SSO, 2.9 m, 8.7 s	14.9 m/s	NM + 20 cm = PHMA	Situation extrême annuelle de SSO
5	SSO, 5.2 m, 10.8 s	14.9 m/s	NM + 20 cm = PHMA	Situation extrême 25 ans de SSO

Dans la situation actuelle de la zone, ACTIMAR a modélisé la propagation de ces houles depuis le large vers la plage.

3.2.2.1 Etude de propagation

La figure suivante montre les états de mer pour le **scénario n°1 (conditions moyennes Sud-Est)**.

Le port et la plage sont exposés aux vagues de face. Elles ont une hauteur significative de l'ordre de 60 à 70 cm, diminuant jusqu'à 50 cm au niveau de la plage elle-même.

La partie Est de l'anse est relativement bien abritée de ce type de houle, inférieures à 50 cm.

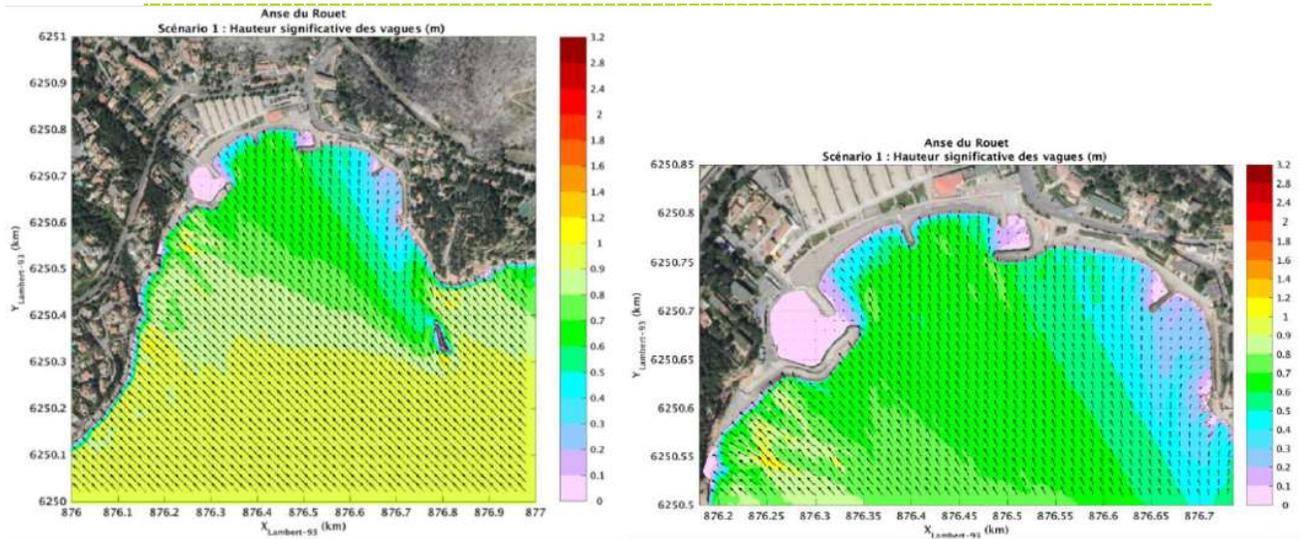


Figure 32 : hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 1, Ref [13], 2018

Le scénario 2 (vent Sud / Sud-Ouest) génère une agitation plus conséquente sur la partie Est de l'anse (hauteur de houle entre 0,4 et 0,7m).

Le port et la plage sont plus abrités que lors du scénario 1 (houles de hauteur significative inférieures à 50 cm) :

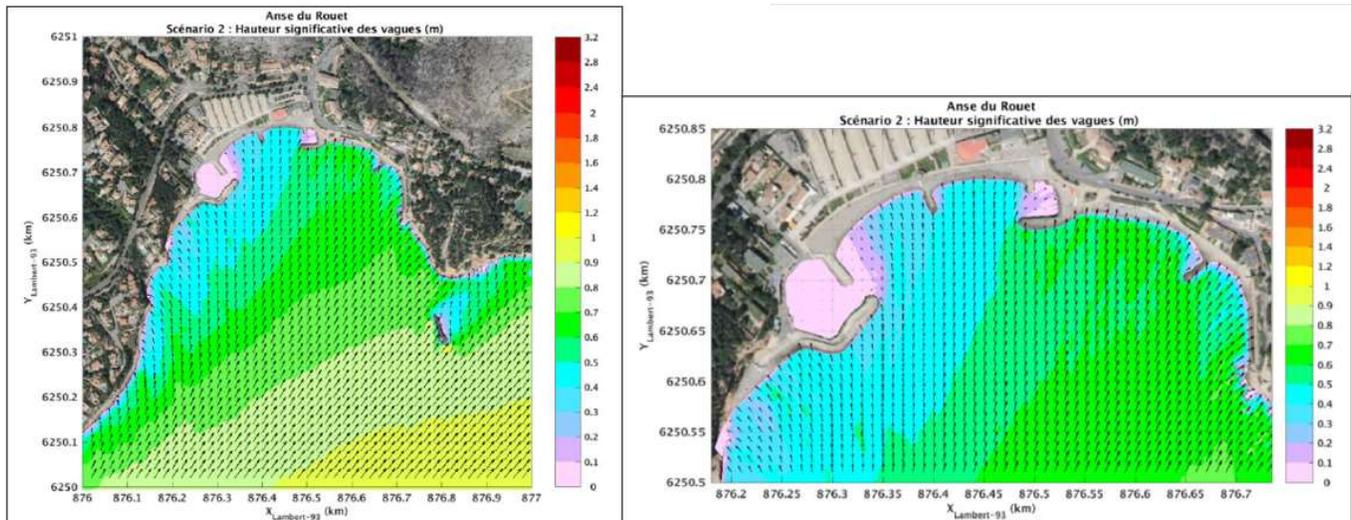


Figure 33 : hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 2, Ref [13], 2018

En condition de tempête annuelle de secteur Sud-Est (scénario 3), les houles entre le port et la base nautique peuvent atteindre les 1,80m, s'atténuant progressivement jusqu'à l'approche du rivage par frottement sur le fond et par déferlement bathymétrique, 1m entre l'épis et la base nautique, entre 40 et 70cm entre le port et l'épi :

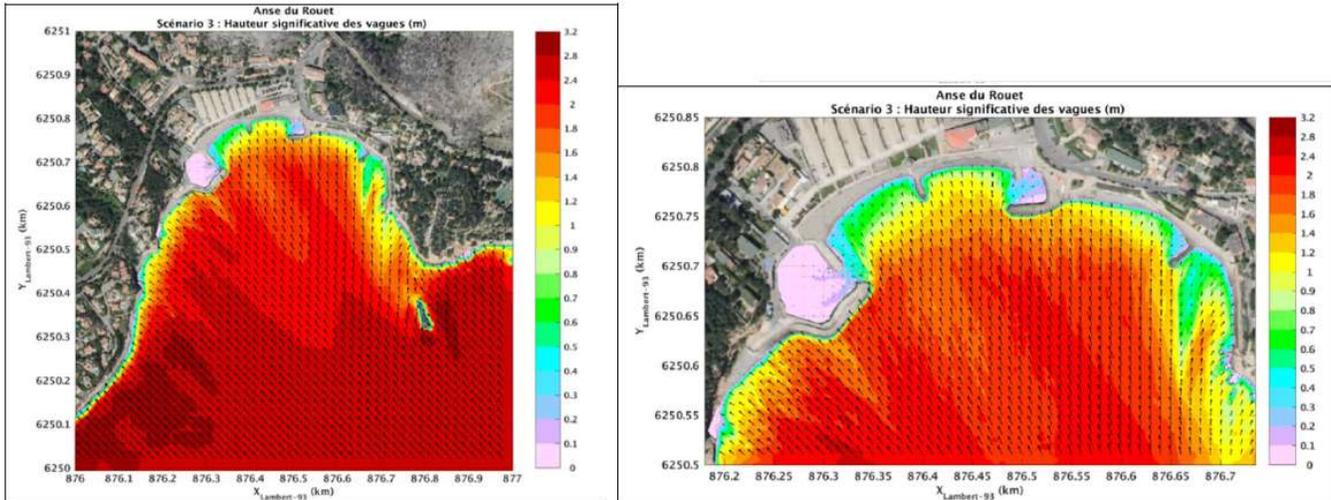


Figure 34 : hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 3, Ref [13], 2018

En condition de tempête annuelle de secteur Sud Sud-Ouest (scénario 4), les vagues se propagent dans l'anse avec une direction de provenance sud. A l'approche de la côte, du fait de la réfraction, les vagues tournent pour avoir une orientation SE le long de la partie ouest et SO à l'est. Au niveau de la plage, la partie la plus exposée est la partie est, avec des vagues de hauteur significative de l'ordre de 1 m. La partie ouest de la plage est légèrement moins exposée, avec des hauteurs significatives comprises entre 50 et 80 cm.

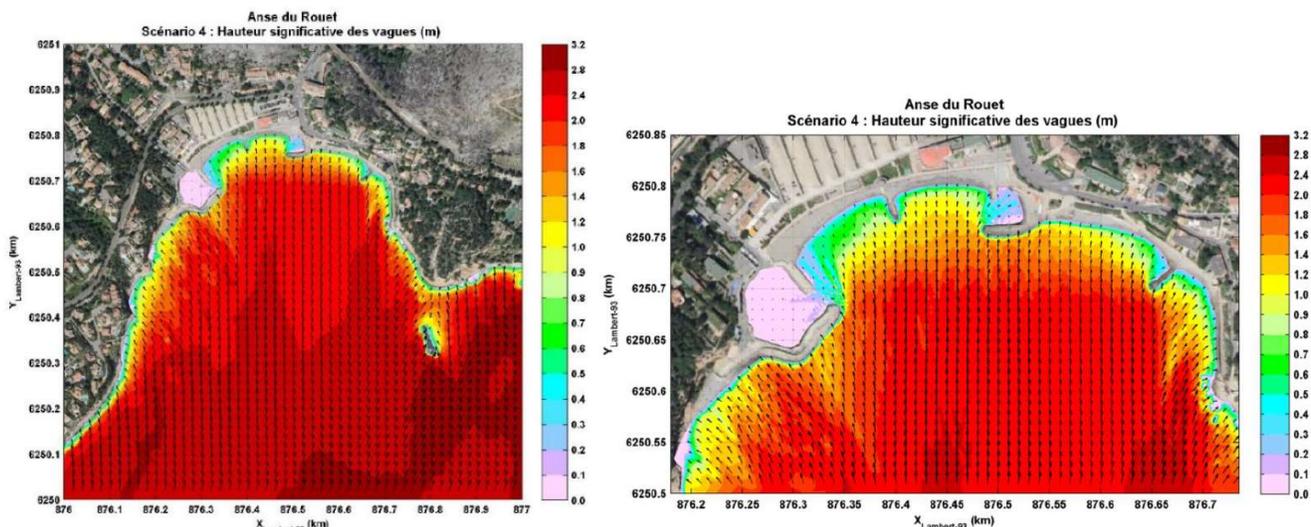


Figure 35 : hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 4, Ref [13], 2020

L'anse du Rouet est caractéristique du phénomène de *réfraction bathymétrique* de la houle (Ref [11]) : quand la houle se rapproche des côtes, les crêtes des vagues s'alignent avec les lignes

d'iso-profondeur, ce qui entraîne une concentration de l'énergie au niveau des caps, et une dissipation d'énergie dans la baie.

On observe donc une agitation qui diminue en avançant dans la baie dans les scénarios Sud-Est et Sud / Sud-Ouest, avec une direction qui tend souvent à être perpendiculaire à la plage. Plus on avance vers la plage, plus la hauteur de la houle diminue, bien que la partie Est de la plage soit plus agitée que la partie Ouest, proche du port, qui reste la partie la plus calme.

3.3 Les courants généraux

3.3.1 Les courants de marée

Ils sont dans l'anse quasi-inexistants de par le très faible marnage (de l'ordre de 30cm maximum). Ces courants de marée sont la plupart du temps masqués par les autres courants, à savoir les courants forcés par le vent et la houle.

3.3.2 Les courants dans l'anse du Rouet

Les masses d'eau soumises au courant géostrophique permanent d'Est en Ouest (le courant liguro-provençal) n'a que peu d'influence sur la zone d'étude, tant il est modifié par les régimes de vent localement.

Les courants liés à l'agitation sont eux de natures diverses :

- Les courants sagittaux (rip currents) sont des courants de retour des eaux apportées à la côte par les vagues,
- Les courants d'expansion latérale qui se développent d'une zone agitée vers une zone plus calme ; dans le cas de l'anse du Rouet, ces courants peuvent se développer du fait de la variation de l'agitation, plus forte à l'extrémité Est de la plage, plus faible vers l'extrémité Ouest,
- Le courant littoral qui se développe parallèlement au trait de côte, quand dans la zone de déferlement, les vagues se présentent avec une certaine incidence par rapport à la direction de la côte et aux isobathes.

Les transports sédimentaires le long de la plage sont liés aux courants d'expansion latérale et au courant littoral.

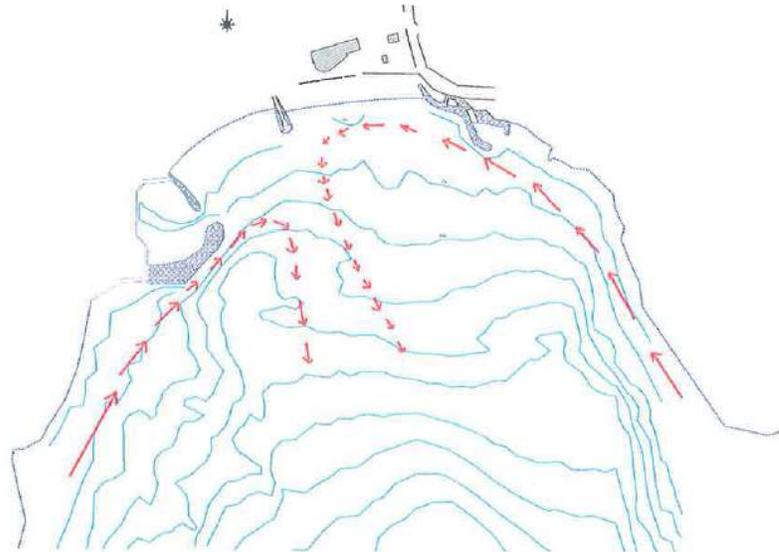


Figure 36 : courantologie engendrée par les courants de houle, Ref [2], 2005

Suite à une campagne de mesures réalisées sur 1 mois en décembre 2000, SOGREAH indique que les courants significatifs sont généralement des courants d'Est / Sud-Est et Sud / Sud-Ouest. La plupart du temps, les forts courants sont observés en même temps que les fortes houles. En moyenne, ce genre de courant a une vitesse de 0,36 m/s, Ref [1]. Le courant maximal moyen observé lors de cette campagne provenait du Sud (183°) et avait une vitesse de 0,86 m/s, Ref [1]. C'est ce que l'on appelle les courants de vidange de l'anse : ces courants de retour des masses d'eau vers large s'effectuent au centre de l'anse, avec une position instable.

4 ETUDES HYDROSEDIMENTAIRES

4.1 Les dernières études réalisées

4.1.1 Etude hydro sédimentaire 2022

Une étude hydro-sédimentaire a été réalisée pour ce projet par ACTIMAR en 2022.

Nous présentons ici les principaux résultats obtenus.

Le rapport complet de l'étude d'ACTIMAR est présenté en annexe.

4.1.2 Description du modèle

Les modèles de simulation de cette dernière étude réalisée par ACTIMAR en 2022, Ref [13] sont différents de ceux des études réalisées en 2012 et 2013.

Le travail de modélisation numérique a été réalisé à l'aide des modèles de la chaîne de calcul TELEMAC, basés sur des grilles de calcul à éléments finis triangulaires afin de mieux représenter les processus dans les zones à géométrie complexe.

Les trois modèles suivants ont été mis en œuvre :

- **TOMAWAC**, modèle spectral d'états de mer, représente la génération par le vent, la propagation et la transformation des états de mer du large vers la côte. Il résout l'équation de conservation de la densité spectro-angulaire d'action des vagues.
- **TELEMAC-2D** effectue la modélisation hydrodynamique 2D, calculant les niveaux d'eau et les courants. En chaque point de la grille de calcul, le modèle fournit la hauteur d'eau et les deux composantes horizontales du courant barotrope (moyenné sur la colonne d'eau).
- **SISYPHE** représente le transport sédimentaire et les évolutions morphologiques associées sous l'effet combiné des courants et des états de mer.

4.1.3 Conditions prises en entrée

4.1.3.1 Données bathymétriques

Les modélisations réalisées se basent sur un Modèle Numérique de Terrain (MNT) dont la résolution spatiale doit être en accord avec celle de la grille de calcul. Les sources de données bathymétriques suivantes ont été utilisées pour la construction du MNT :

- Le MNT HOMONIM du SHOM fournit une description complète de la bathymétrie du golfe du Lion et de la côte d'Azur sur une grille de 100 m de résolution.
- Les données à haute-résolution Litto3D du SHOM et de l'IGN ont été utilisées dans l'anse du Rouet de manière à obtenir une description précise du fond marin (1 m de résolution).

La référence verticale utilisée pour la construction du modèle est le Niveau Moyen des mers (NM). La projection Lambert-93 est utilisée comme référentiel horizontal pour la construction du modèle.

4.1.3.2 Données de nature des fonds

Les résultats des études de GALATEA en 2018, Ref [7], ont été repris par ACTIMAR pour définir la granulométrie suivante dans le modèle :

- Environ 300 μm dans le port
- 570 μm sur la plage

Dans le port, les conditions hydrodynamiques sont moins énergétiques qu'à l'extérieur. Les prélèvements de sédiments réalisés sur la plage sont donc davantage représentatifs des caractéristiques du site d'étude. Un diamètre médian de 570 μm a donc été retenu pour les simulations numériques.

4.1.3.3 Emprise et résolution

La zone d'étude s'étend entre l'anse de Boumandariel (Sausset Les Pains) à l'Ouest, jusqu'à Niolon à l'Est, et s'étend au large jusqu'à 9 km.

La résolution évolue entre 500m au large et 50m le long du trait de côte. Le maillage est plus fin dans l'anse du Rouet : mailles comprises entre 10 et 2m au-delà de l'altitude Y = 6 250 500m. Ce maillage comporte près de 44 000 points de grille pour plus de 86 000 éléments triangulaires.

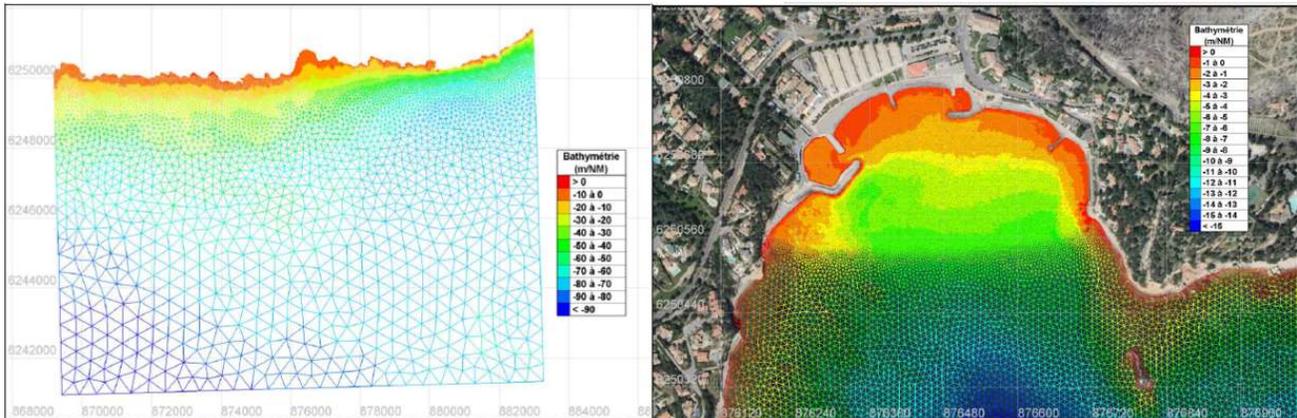


Figure 37 : illustration de la grille de calcul et de la bathymétrie sur l'ensemble du domaine de calcul (à gauche) et sur l'anse du Rouet (à droite), Ref [13], 2018

4.1.3.4 Conditions aux limites

En ce qui concerne les conditions au large, à la frontière maritime du modèle de calcul, les paramètres sont ceux du forçage (les différents scénarios) et sont homogènes et stationnaires sur cette frontière.

En ce qui concerne les frontières terrestres du modèle, une condition d'évolution libre de l'écoulement est spécifiée tout en gérant le découvrement sur l'estran.

De plus, un vent homogène et stationnaire est imposé sur l'ensemble du domaine de calcul pour les modélisations d'états de mer et hydrodynamiques en fonction des valeurs retenues pour les scénarios de modélisation.

4.1.3.5 Scénarios de modélisation

Les quatre scénarios météo-océaniques définis dans le cadre de cette étude sont présentés dans le Tableau 11.

Tableau 11 : liste des scénarios retenus pour la modélisation - NM = Niveau Moyen, Ref [13], 2018

N° scénario	Houle au large	Vent	Niveau d'eau	Remarques
1	SE, 2.8 m, 7.9 s	14.9 m/s	NM + 20 cm	Situation extrême annuelle SE
2	SSO, 2.9 m, 8.7 s	14.9 m/s	NM + 20 cm	Situation extrême annuelle SSO
3	SE, 5.2 m, 9.7 s	14.9 m/s	NM + 20 cm	Situation extrême 25 ans de SE
4	SSO, 5.2 m, 10.8 s	14.9 m/s	NM + 20 cm	Situation extrême 25 ans de SSO

4.1.4 Résultats

4.1.4.1 Etat de mer

Pour un vent Sud-Est (scénario 1):

L'incidence des états de mer dans l'anse et au niveau de la plage est similaire dans l'état initial et dans l'état aménagé. Les principales différences à noter sont l'atténuation des hauteurs significatives des vagues à l'extrémité ouest de la plage, à l'arrière du tenon qui fait un effet de masquage. Ainsi, les hauteurs significatives des vagues sont inférieures à 0.5 m sur une distance d'environ 25 m le long de la plage.

L'école de voile est moins protégée. Dans l'état aménagé, les hauteurs significatives ont augmenté, passant de 0.35 m à 0.75 m au niveau de l'entrée de l'école de voile et de 0.35 à 0.40-0.50 m au niveau de la cale.

Il est à noter que les vagues pourraient avoir tendance à se réfléchir sur le tenon à l'entrée du port et entraîner une augmentation de l'agitation dans le port qui ne transparait pas dans les résultats de simulation car le modèle ne permet pas de représenter les phénomènes de réflexion et diffraction.

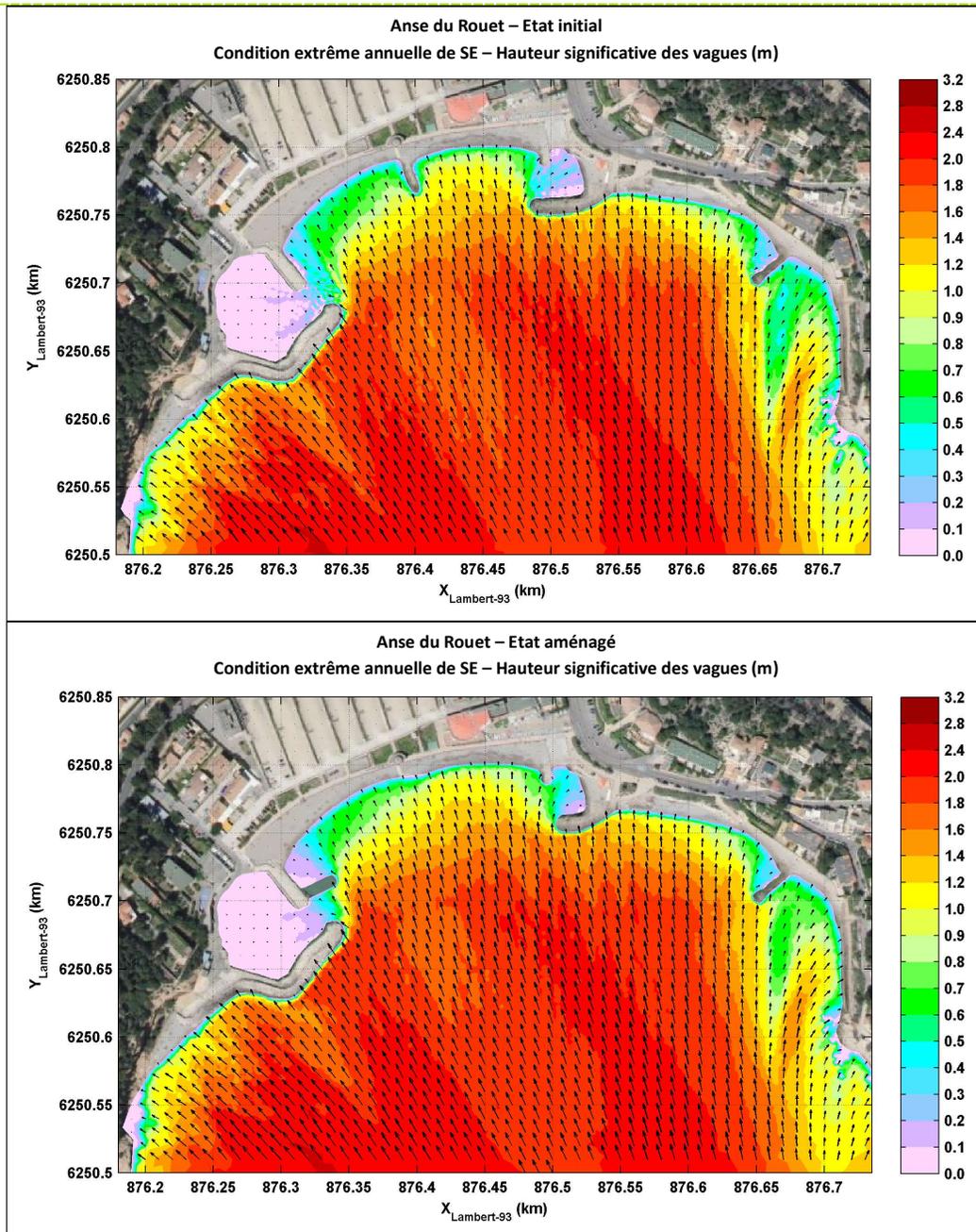


Figure 38 : Hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 1 (condition extrême annuelle de SE) dans l'état initial (haut) et dans l'état aménagé (bas).

Pour un vent SSO (scénario 4 Situation extrême 25 ans):

La Figure ci-après présente les résultats des simulations d'états de mer pour le scénario n°4, en condition de tempête de période de retour 25 ans de secteur SSO. Les vagues se propagent dans l'anse de manière similaire à la condition de tempête annuelle (scénario 2), avec une direction de provenance sud. Puis, du fait de la réfraction, les vagues tournent pour avoir une orientation SE le long de la partie ouest et SO à l'est à l'approche de la côte. Au niveau du tenon, la hauteur significative des vagues varie entre 0.4 m à l'ouest et 1.2 m à l'est. L'écran formé par le tenon protège l'extrémité ouest de la plage. En arrière de celui-ci, les vagues ne dépassent pas 0.5 m. La partie est de la plage est plus exposée, les hauteurs significatives peuvent y atteindre 1 m. Des houles de hauteur significative entre 0.6 m et 0.8 m entrent dans l'anse de voile. Les caractéristiques des états de mers aux points d'intérêt du projet d'aménagement (tenon et digue de l'école de voile) sont indiquées dans le Tableau suivant .

Tableau 12 Caractéristiques des états de mers aux points d'intérêt du projet d'aménagement pour le scénario 4. (ACTIMAR, 2022°)

	Hs (m)	Tp (s)	Dir (provenance)	Déferlement
Tenon	De 0.4 m à l'ouest à 1.2 m à l'est	10.9 s	Est-Sud-Est à Sud-Sud-Est	Oui sur l'extrémité Est seulement
Digue de la base nautique	0.9-1.8 m	10.8 s	Sud	Oui

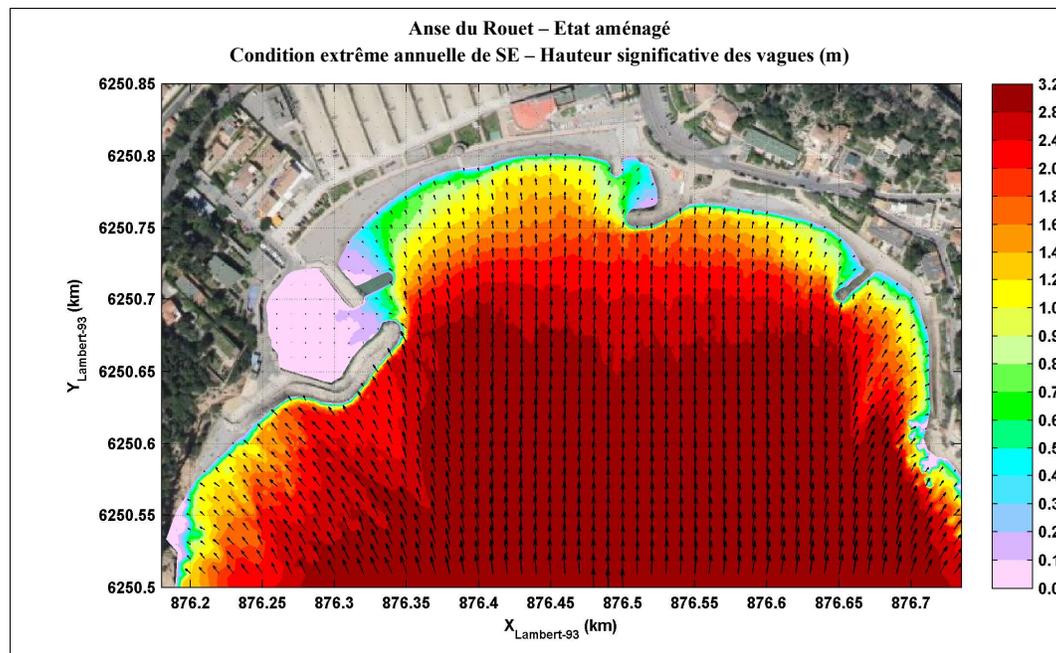


Figure 39: Hauteur significative des vagues (m) pour le scénario 4 dans l'état aménagé.

4.1.4.2 Etude de courantologie

Les états de mer génèrent des courants plus intenses que ceux induits par le vent.

Scénario 1

La Figure 40 présente les résultats des simulations hydrodynamiques pour le scénario n°2 dans l'état initial et dans l'état aménagé, en condition de tempête annuelle de secteur SE.

Dans l'état aménagé, la veine de courant qui entre dans l'anse en longeant la côte ouest ne remonte pas jusqu'à la plage et bifurque vers le large en direction du SE. La veine de courant qui longe la digue de l'école de voile remonte davantage vers la plage et induit un courant orienté vers l'ouest le long de la partie est de la plage (contrairement à l'état initial où le courant était orienté vers l'est).

La suppression de l'épis central a permis la mise en place d'une dérive littorale vers l'ouest de manière continue le long de la plage. Les courants s'intensifient au centre de la plage atteignant des vitesses de l'ordre de 0.9 m/s.

La cellule de recirculation que l'on pouvait observer à l'est du port dans la configuration initiale s'est déformée et atténuée en intensité avec l'ajout du tenon. On note également l'apparition d'une zone de faible courant (<0.2 m/s) en arrière du nouvel ouvrage.

Au niveau de l'école de voile, une boucle de recirculation dans le sens horaire se forme dans l'état aménagé avec des courants de l'ordre de 0.2 m/s (contrairement à l'état initial où la boucle de recirculation était dans le sens anti-horaire et avec des courants de plus faible intensité ~0.1 m/s).

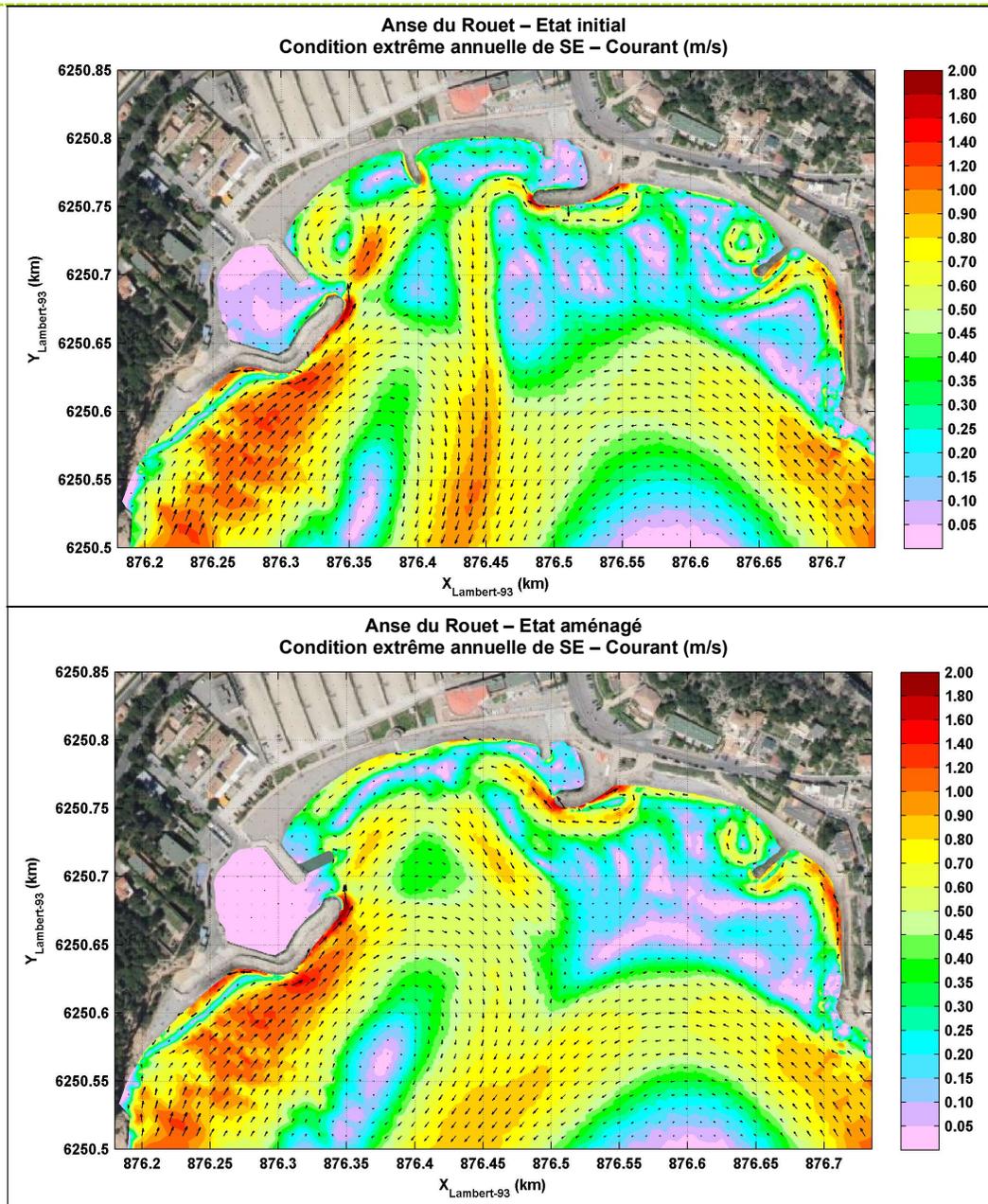


Figure 40 : Courant (m/s) pour le scénario 1 (condition extrême annuelle de SE) dans l'état initial (haut) et dans l'état aménagé (bas).

Scénario 2

La Figure ci-après (Figure 41) présente les résultats des simulations hydrodynamiques pour le scénario n°2 dans l'état initial et dans l'état aménagé, en condition de tempête annuelle de secteur SE.

Dans l'état aménagé, la veine de courant qui entre dans l'anse en longeant la côte ouest ne remonte pas jusqu'à la plage et bifurque vers le large en direction du SE. La veine de courant qui longe la digue de l'école de voile remonte davantage vers la plage et induit un courant orienté

vers l'ouest le long de la partie est de la plage (contrairement à l'état initial où le courant était orienté vers l'est).

La suppression de l'épis central a permis la mise en place d'une dérive littorale vers l'ouest de manière continue le long de la plage. Les courants s'intensifient au centre de la plage atteignant des vitesses de l'ordre de 0.9 m/s.

La cellule de recirculation que l'on pouvait observer à l'est du port dans la configuration initiale s'est déformée et atténuée en intensité avec l'ajout du tenon. On note également l'apparition d'une zone de faible courant (<0.2 m/s) en arrière du nouvel ouvrage.

Au niveau de l'école de voile, une boucle de recirculation dans le sens horaire se forme dans l'état aménagé avec des courants de l'ordre de 0.2 m/s (contrairement à l'état initial où la boucle de recirculation était dans le sens anti-horaire et avec des courants de plus faible intensité ~0.1 m/s)

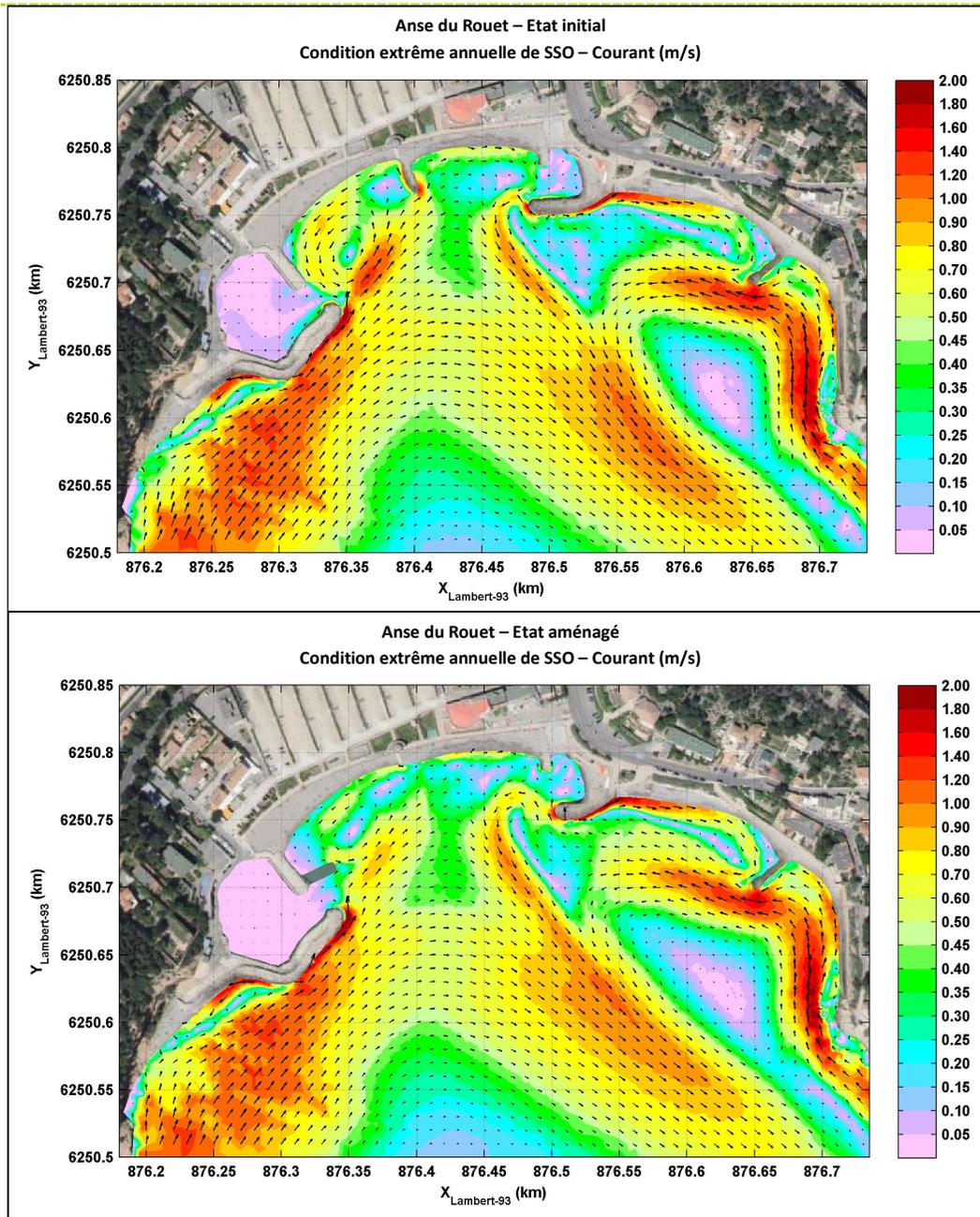


Figure 41 : Courant (m/s) pour le scénario 2 (condition extrême annuelle SSO) dans l'état initial (haut) et dans l'état aménagé (bas), Ref [13], 2022.

Scénario 4

La Figure 42 présente les résultats des simulations hydrodynamiques pour le scénario n°4 dans l'état aménagé, en condition de tempête de période de retour 25 ans de secteur SSO. Le schéma de circulation induite par les états de mers et de vent est similaire à celle du scénario 2 avec une intensification des courants. La zone de faible courant (<0.2 m/s) en arrière du tenon est toujours présente mais moins étendue que dans le scénario 2.

Dans la branche supérieure du courant entrant dans l'anse en longeant la côte ouest, les courants atteignent 1.4 m/s. Contrairement au scénario 2, cette branche continue principalement le long de la partie est de la plage avant de repartir vers le large (direction SSE), menant à de forts courants (0.5-0.7 m/s) le long de la plage. La veine de courant qui entrait dans l'anse en longeant la côte est ne remonte plus jusqu'à la digue de l'école de voile et rejoint la veine de courant qui repart vers le large plus au sud.

Les courants dans l'anse de l'école de voile peuvent atteindre 0.3 à 0.4 m/s.

Tableau 13 Caractéristiques du courant aux points d'intérêt du projet d'aménagement pour le scénario 4. (ACTIMAR, 2022°)

	Vitesse (m/s)	Direction (vers)
Tenon	0.3 à 0.8 m/s au sud et ~1 m/s à la pointe	OSO au sud et ESE à la pointe
Digue de la base nautique	Entre 1 et 2 m/s	NO à l'extrémité ouest à N-NE à l'est

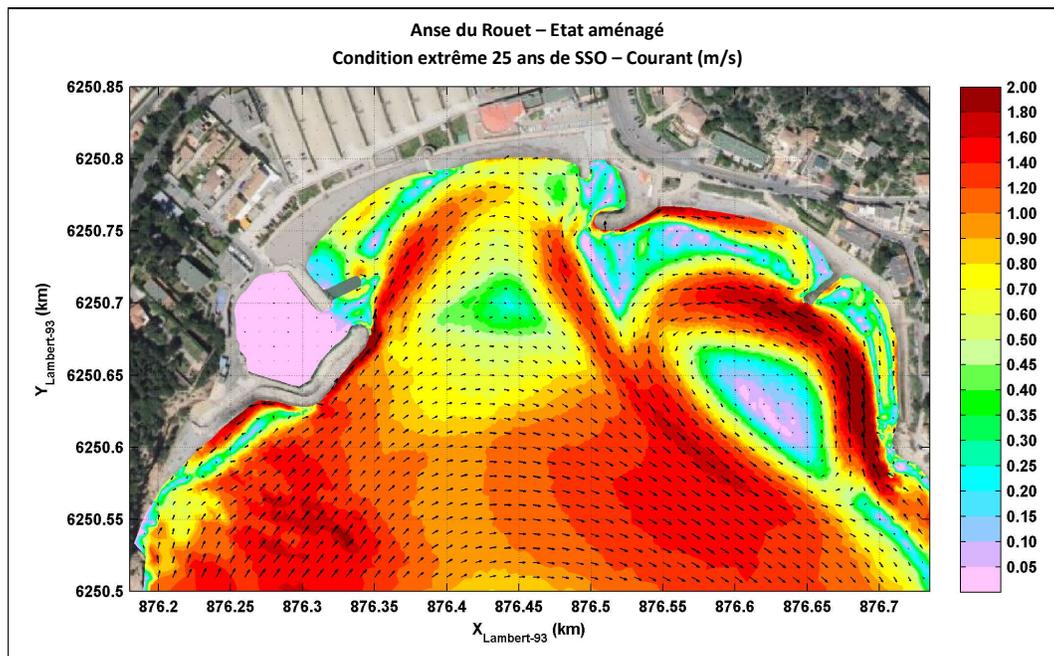


Figure 42 : Courant (m/s) pour le scénario 4 (condition extrême 25 ans SSO) dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.

4.1.4.3 Etude de dynamique sédimentaire

La visualisation du transport solide est vectorielle, caractérisée par une norme et une direction.

Les zones de convergence des vecteurs transport ou de décroissance de ces mêmes vecteurs sont des zones de dépôt tandis que les tendances à l'érosion sont effectives dans les zones de divergence ou d'augmentation de l'intensité du transport sédimentaire.

Le déplacement des sédiments dépend d'une part de leur nature, et d'autres parts des conditions de houle et de courant auxquels ils sont soumis.

L'unité m^2/s est une unité usuelle de transport de sable, elle peut également s'écrire $(m^3/s)/m$ ce qui permet de l'appréhender de façon plus intuitive comme le flux (en volume) par mètre de largeur (dans la direction perpendiculaire au flux).

Scenario 1

La Figure 43 présente les résultats des simulations de transport sédimentaire pour le scénario n°1 pour l'état initial et l'état aménagé, en condition de tempête annuelle de secteur SE. Les figures de transport solide sont similaires à celles des courants de dérive littorale.

La différence principale de l'état aménagé par rapport à l'état initial est le changement de sens du transport sédimentaire le long de la partie est de la plage. Suite à l'enlèvement de l'épis, le transport sédimentaire est orienté vers l'ouest sur toute la longueur de la plage. Le transport sédimentaire présente de fortes valeurs au niveau du centre de la plage de part et d'autre de l'ancien épis, signe probable d'un rééquilibrage des fonds suite à l'enlèvement de l'épis.

Il y a une forte réduction du transport sédimentaire directement en arrière du tenon indiquant une tendance au dépôt. A l'entrée du port, le transport sédimentaire est dirigé vers l'extérieur dans l'état aménagé alors qu'il était plutôt transverse dans l'état initial. La dérive littorale initialement orientée vers l'est le long de la partie est de la plage, qui pouvait amener du sable de la plage vers l'anse de l'école de voile, est désormais dirigée vers l'ouest. Le transport sédimentaire potentiel entrant dans l'anse de l'école de voile provient principalement du large.

A noter que certains processus tel que le transport perpendiculaire au trait de côte ou le transport induit à l'échelle d'une vague, non représentés par le modèle, peuvent être à l'origine de mouvements sédimentaires non négligeables, notamment dans l'anse de l'école de voile.

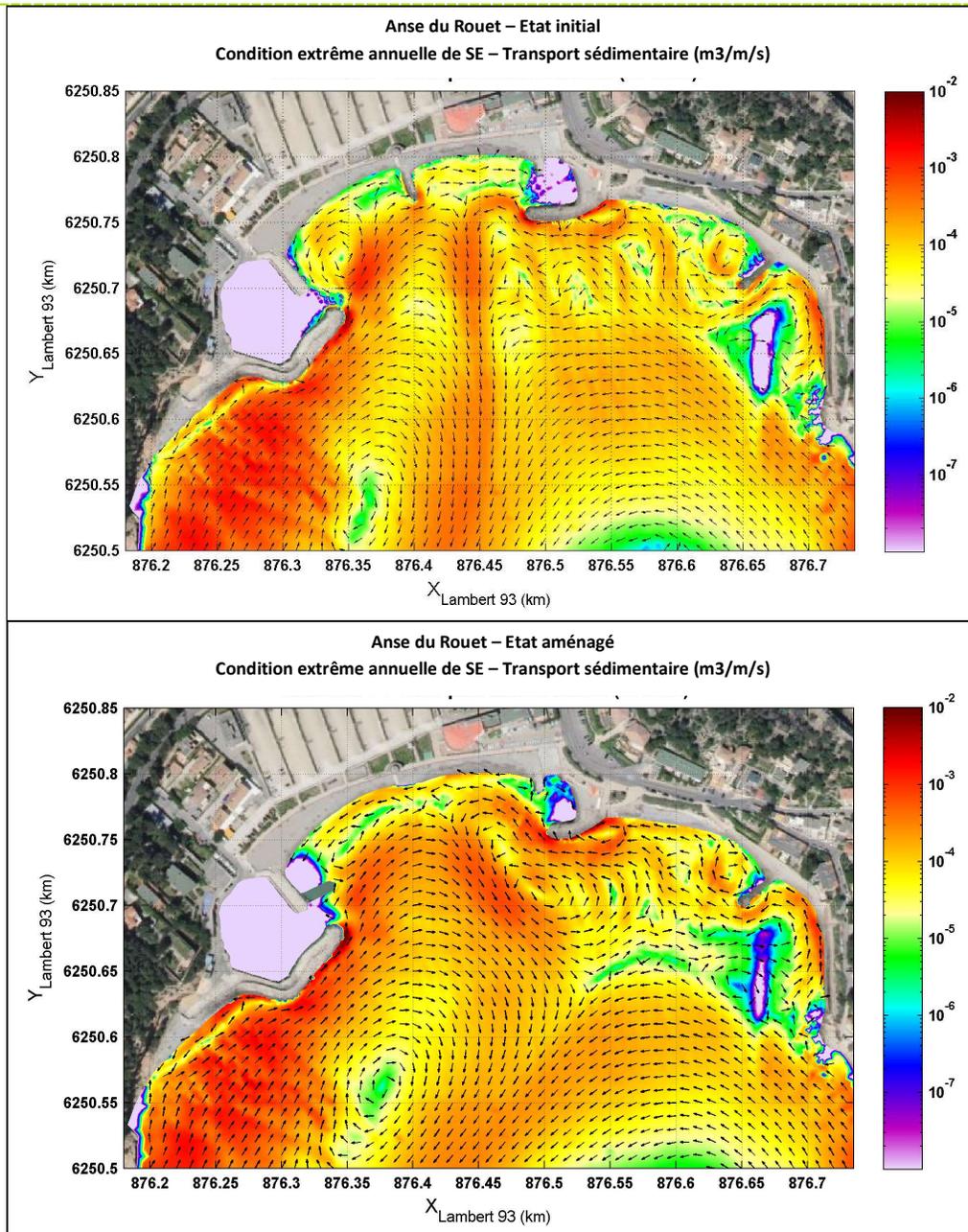


Figure 43 : Transport sédimentaire (m³/m/s) pour le scénario 1 (condition extrême annuelle de SE) dans l'état initial et dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.

Scenario 2

La Figure présente les résultats des simulations de transport sédimentaire pour le scénario n°2 pour l'état initial et l'état aménagé, en condition de tempête annuelle de secteur SSO. Les figures de transport solide sont similaires à celles des courants de dérive littorale.

Dans l'état aménagé le transport sédimentaire est moins intense aux abords de la plage que dans l'état initial sur la partie ouest. Il y a une forte réduction du transport directement en arrière du tenon comme pour le scénario 1 (zone potentielle de dépôt). La direction du transport sur la partie est de la plage n'est pas modifiée il est toujours dirigé vers l'est. A l'entrée du port, le transport sédimentaire est dirigé vers l'extérieur dans l'état aménagé alors qu'il était plutôt transverse dans l'état initial.

Au niveau de l'anse de l'école de voile, la dérive littorale orientée vers l'est qui pouvait amener du sable de la plage vers l'anse de l'école de voile dévie vers le large plus en amont de l'école de voile dans l'état aménagé que dans l'état initial. Le transport sédimentaire potentiel entrant dans l'anse de l'école de voile provient principalement du large.

A noter que certains processus tel que le transport perpendiculaire au trait de côte ou le transport induit à l'échelle d'une vague, non représentés par le modèle, peuvent être à l'origine de mouvements sédimentaires non négligeables, notamment dans l'anse de l'école de voile.

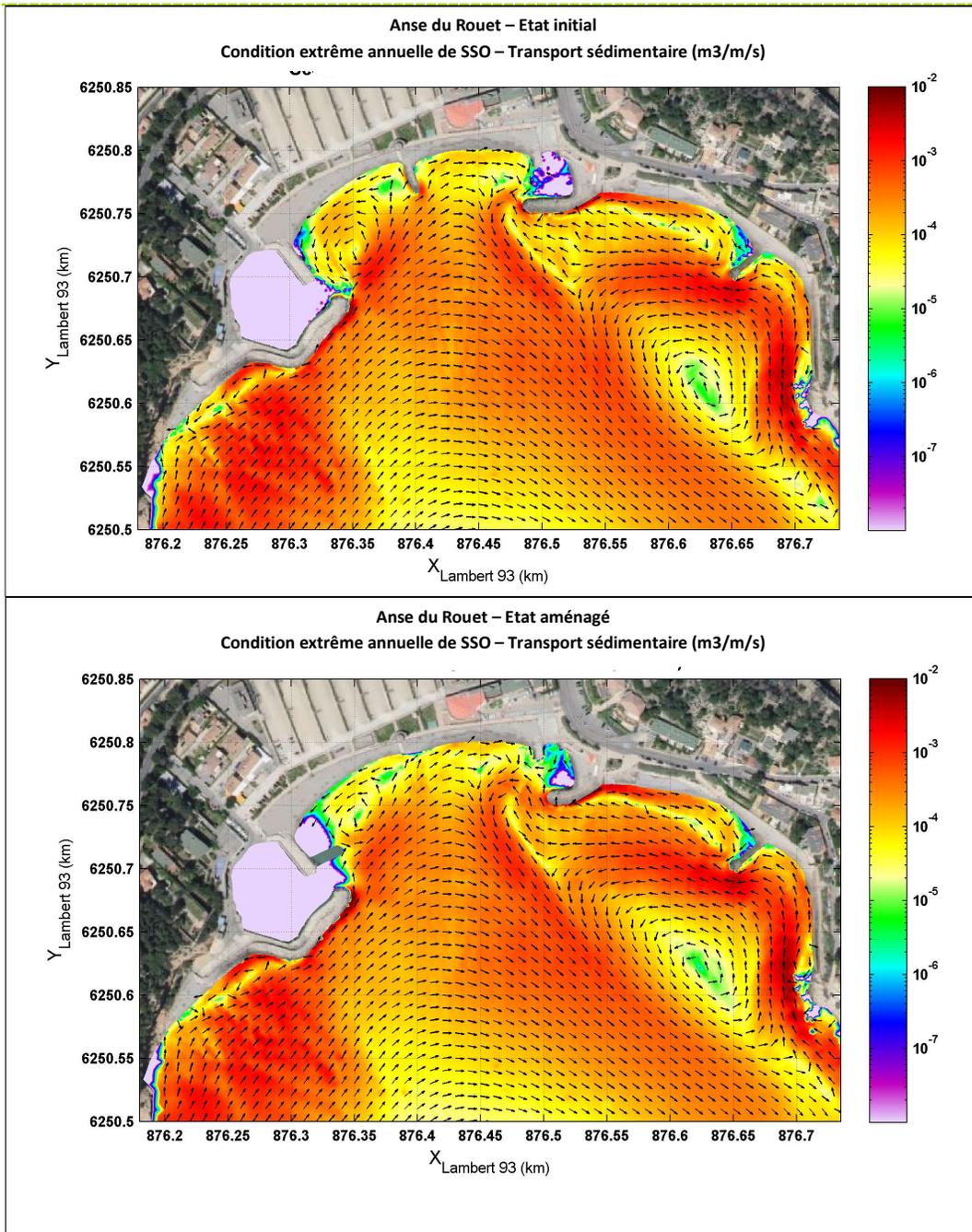


Figure 44: Transport sédimentaire (m³/m/s) pour le scénario 2 (condition extrême annuelle de SSO) dans l'état initial et dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.

Scenario 3

La Figure présente les résultats des simulations de transport sédimentaire pour le scénario n°3 pour l'état aménagé, en condition de tempête de période de retour 25 ans de secteur SE. Les figures de transport solide sont très similaires à celles du scénario 1 avec des intensités plus élevées au large et sur la partie ouest de la plage. Le transport est très atténué sur la partie est de la plage par rapport au scénario 1.

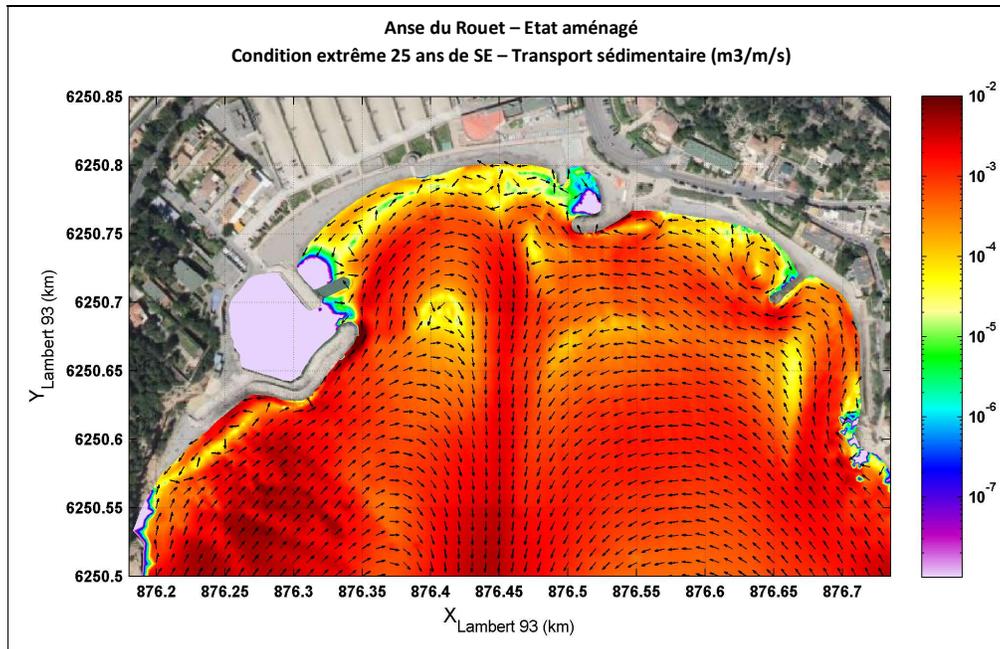


Figure 45 : Transport sédimentaire (m³/m/s) pour le scénario 3 (condition extrême 25 ans SE) dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.

Scenario 4

La Figure 46 présente les résultats des simulations de transport sédimentaire pour le scénario n°4 pour l'état aménagé, en condition de tempête de période de retour 25 ans de secteur SSO. Les figures de transport solide sont très similaires à celles du scénario 2 avec des intensités plus élevées.

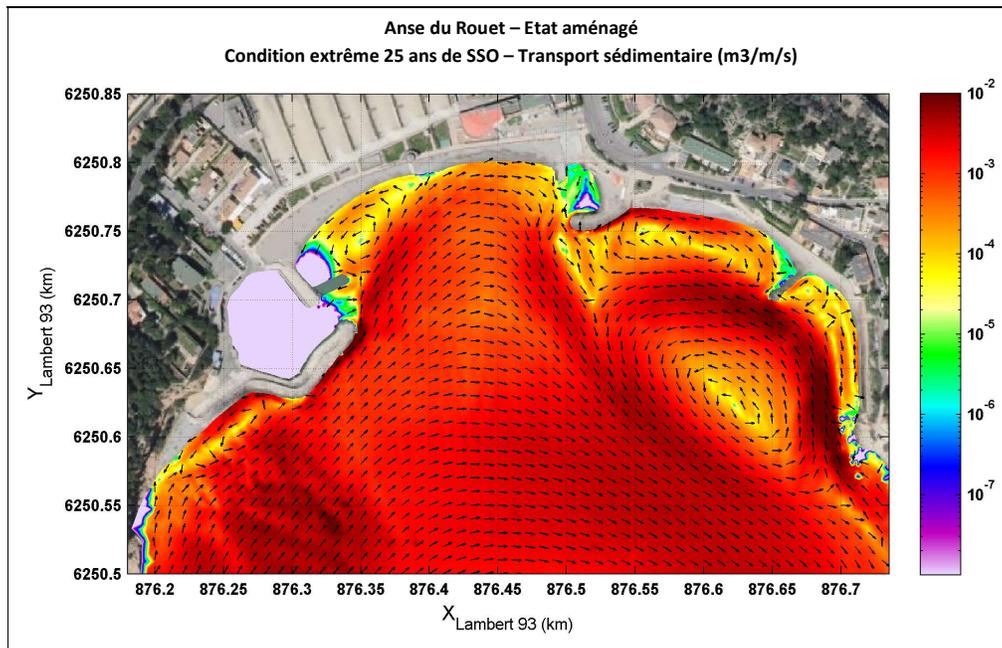


Figure 46: Transport sédimentaire (m³/m/s) pour le scénario 4 (condition extrême 25 ans SSO) dans l'état aménagé, Ref [13], 2022.

4.1.5 Conclusions des études hydro-sédimentaires

Les principaux résultats des modélisations avec les futurs aménagements sont :

■ En conditions SE :

- Une dérive littorale dirigée vers l'ouest le long de toute la plage (au lieu d'une dérive vers l'Est à l'Est et vers l'Ouest à l'Ouest dans l'état initial), entraînant potentiellement les sédiments dans cette direction. L'intensité du transport est maximale de part et d'autre de l'ancien épis central ;
- Une zone abritée derrière le tenon, avec des Hs, courants et transports très faibles, lieu potentiel de dépôt ;
- L'anse de l'école de voile est soumise à davantage d'agitation que dans l'état initial et le transport sédimentaire potentiel lié à la dérive littorale provient principalement du large.

■ En conditions SSO :

- Une dérive littorale vers l'Est à l'Est de la plage et vers l'Ouest à l'Ouest de la plage, comme en état initial. Cependant la cellule de recirculation à l'extrémité Ouest de la plage est décalée vers l'Est.
- Une zone abritée derrière le tenon, avec des Hs, courants et transports très faibles, lieu potentiel de dépôt.
- L'anse de l'école de voile est soumise à davantage d'agitation, le transport sédimentaire potentiel lié à la dérive littorale provient principalement du large.

Les résultats des circulation hydrodynamique et transport sédimentaire (Figure 40 - Figure 43) concernant l'état initial et la réponse hydro-morphodynamique du système littoral vis-à-vis le tenon projeté, montrent que les motifs (patterns) des courants observés pour le cas de l'état initial (tourbillons entre l'épi central et la contre digue à l'Ouest du secteur), sont atténués ou déplacés vers l'Est du secteur, pour le cas de l'état aménagé et les scénarios 1 et 2 (houles annuelles).

Selon ces résultats la convergence du transport sédimentaire au niveau de l'entrée du port ne se produit pas pour le cas de l'état aménagé. Cela signifie que le transport solide dans cette zone sera moins intense, avec une limitation conséquente du dépôt des sédiments à l'intérieur du port. Pour un climat de **houle plus énergétique et extrême** (Scénarios 3 et 4) les flux sédimentaires sont significatifs et ils peuvent induire des phénomènes d'accrétion à l'Est de la baie, avec une accrétion limitée au niveau de l'entrée du port à l'Ouest.

Ces résultats sont toutes fois à interpréter avec précaution. Le modèle d'états de mer utilisé ne permet pas de représenter les phénomènes de réflexion et diffraction des vagues. Or à l'entrée du port, les vagues pourraient avoir tendance à se réfléchir sur le tenon et entraîner une augmentation de l'agitation à l'intérieur du port, ce qui ne transparait pas dans les résultats de simulation. D'autre part, concernant le transport sédimentaire, certains processus comme le transport perpendiculaire au trait de côte et le transport à l'échelle d'une vague ne sont pas représentés par le modèle alors qu'ils peuvent être à l'origine de mouvements sédimentaires non négligeables.

En situation d'évènement extrême de période 25 ans, les valeurs d'état de mer et de courants aux niveaux des sites d'intérêts (tenon et école de voile) sont récapitulées dans le Tableau 14.

Tableau 14 Récapitulatif des conditions de courant et de vagues en condition de tempête de période de retour 25 ans aux points d'intérêts du projet d'aménagement.

		Scénario 3 SE		Scénario 4 SSO	
		Tenon	Ecole de voile	Tenon	Ecole de voile
Courant	Intensité	0.3 à 0.7 m/s	0.5 à 1.8 m/s	0.3 à 0.8 m/s 1 m/s à la pointe	1 à 2 m/s
	Direction (vers)	SO sur la partie ouest et N-NE sur la partie est	O à NO sur la partie ouest et NE à l'extrémité est	OSO au sud et ESE à la pointe	NO à l'extrémité ouest et N-NE à l'est
Vagues	Hs	0.5 m à l'ouest 1.2 m à l'est	0.9 à 1.7 m	0.4 m à l'ouest à 1.2 m à l'est	0.9 à 1.8 m
	Tp	9.6 s	9.7 s	10.9 s	10.8 s
	Direction (provenance)	ESE à SSE	Sud	ESE à SSE	Sud
	Déferlement	Oui vers la pointe seulement	Oui	Oui vers la pointe seulement	Oui

5 CONCEPTION DU FUTUR OUVRAGE-TENON

5.1.1 Rappel - Aménagements envisagés

L'ouvrage proposé ici, placé perpendiculairement à la contre-digue en entrée du port du Rouet (côté Nord), est mis en place pour bloquer le transport lié à la cellule de recirculation qui engendre le ré-ensablement de l'entrée du port du Rouet.

Lors de la dernière phase d'étude, nous avons préconisé ici la réalisation d'un ouvrage émergé plutôt qu'immergé car :

- L'ouvrage se trouve en entrée / sortie du port : pour des raisons de sécurité, la mise en œuvre d'ouvrage immergé peut s'avérer dangereuse, pour les bateaux notamment.
- L'ouvrage émergé permet de bloquer quasi intégralement l'apport en sédiment provenant de la plage. *Un ouvrage immergé laisserait passer une partie des sédiments par-dessus.*

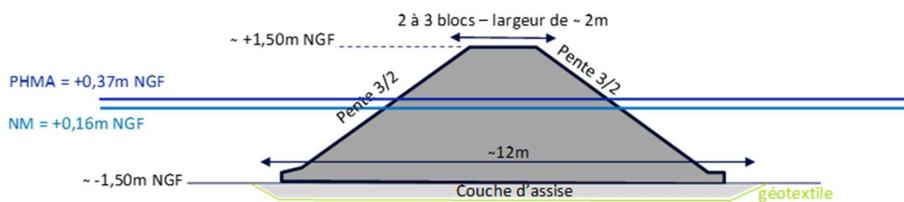


Figure 47 Ouvrage Tenon - scénario retenu – Suez, 2020

5.1.1.1 Restructuration d'ouvrages existants

L'objectif ici est de restructurer un ouvrage existant afin de réduire son impact sur l'hydrodynamisme d'origine et naturelle du site.

Il est ainsi prévu :

- la dépose globale de l'épi central qui a tendance à favoriser une recirculation vers les 2 extrémités de la plage et donc le ré-ensablement du port et de la base nautique.
- la diminution de longueur au moins de moitié (voire une dépose totale) de la digue de protection de la base nautique pour ne plus avoir de problème d'ensablement – les sables n'étant plus bloqués.

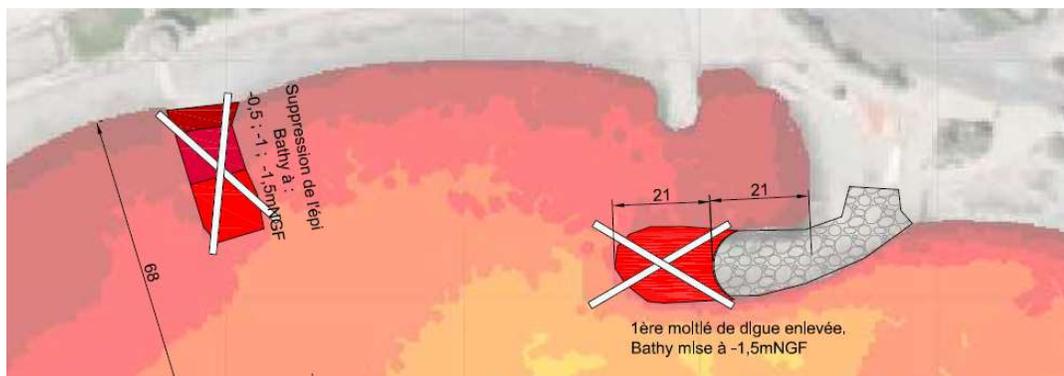


Figure 48 Scénario retenu pour la restructuration d'ouvrages existants – Suez, 2020

5.1.2 Dimensionnement

Selon les résultats hydrodynamiques mentionnés ci-avant, le dimensionnement des blocs est nécessaire afin pouvoir assurer la stabilité du futur ouvrage -tenon.

Les digues en enrochements (Rubble-mound breakwaters) sont constitués d'enrochements plus ou moins triés selon leur poids unitaire : des blocs plus petits pour le noyau et des blocs plus grosses pour une carapace protégeant le noyau de l'action des vagues.

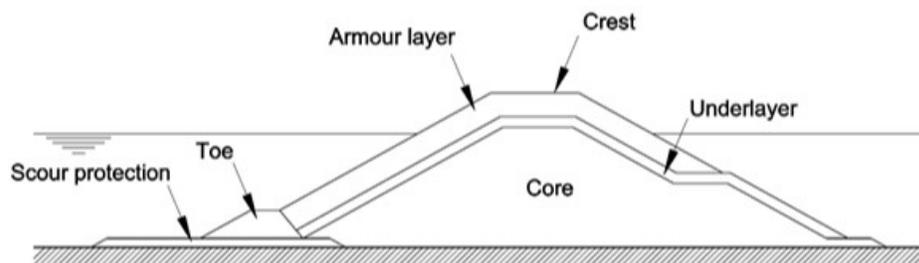


Figure 49 – Section conventionnelle - digue en enrochements (Rock Manual, 2007)

Le principal avantage des digues en enrochements émergées, est que leur hauteur de crête peut limiter significativement les taux de franchissement des vagues. Le niveau de dissipation de

l'énergie des vagues incidentes dépend de la porosité et des caractéristiques géométriques des ouvrages en enrochements. Un ouvrage en enrochements permettrait d'atteindre un niveau de protection suffisant sur l'ensemble du linéaire tout en limitant l'impact sur la réflexion de houle et donc l'érosion de la plage en aval. En effet, un ouvrage de ce type permet d'absorber une partie de l'énergie de la houle. Sa structure permet également la libre circulation des écoulements d'eau de l'amont vers l'aval et ne pose donc pas de problème de rétention pouvant déstabiliser l'ouvrage.

Un tel ouvrage nécessiterait l'approvisionnement et la mise en place de nombreux blocs rocheux (approvisionnement local ou de la carrière), ceci couplé à des travaux de terrassement importants pour créer la butée de pied.

5.1.2.1 Dimensionnement des blocs de protection

La houle extrême avec une occurrence de 25 ans, présentée dans le rapport de l'étude hydrodynamique menée par Actimar (2018) Réf [13], sont les houles dimensionnantes pour la structure.

Occurrence de houle	25 ans
Hs (m)	1,50
Tp (s)	10.85
Dir(°N)	0
Surcote dépression (m)	0.2

Tableau 15 – Caractéristiques d'une houle qui correspond à un événement dont la période de retour est 25 ans

Masses volumiques

Les masses volumiques prises en compte sont les suivantes :

- Eau de mer : 1,025 t/m³
- Enrochements : **2,60 t/m³**

Pente des fonds

La pente des fonds représentative devant la digue et considérée de 5 %,

Coefficient de stabilité hydraulique

L'un des paramètres essentiels du dimensionnement d'une carapace en enrochement naturel est le coefficient de stabilité hydraulique K_D . Ce coefficient est considéré égal à 2.

Pente du talus

La pente de la carapace en bloc naturels a été choisie égale à 3 Horizontal pour 2 Vertical.

Dommages acceptables sur l'ouvrage

Il a été défini un niveau de dommage 'début de dommage' pour une houle cyclonique ($S_d = 2$).

Carapace de protection

Une configuration de carapace a été étudiée, avec l'utilisation de blocs d'enrochements naturels.

Les calculs de la carapace sont réalisés par la formule de stabilité de Hudson pour les blocs artificiel et les formules de Van der Meer pour les enrochements naturels.

Formule de Hudson – blocs artificiels

La formule de Hudson peut être écrite sous la forme :

$$W = \frac{\rho_r g H^3}{\Delta K_D \cot \alpha}$$

En utilisant D_n le diamètre nominal des blocs et N_s le nombre de stabilité, la formule de Hudson peut être réécrite sous la forme :

$$\frac{H}{\Delta D_n} = \sqrt[3]{K_D \cot \alpha} = N_s$$

Où K_D est un coefficient sans dimension caractérisant la performance hydraulique du bloc (cf. § précédent)

Formule de Van der Meer en eau peu profonde – blocs naturels

La formule de Van der Meer en eau peu profonde (1988) peut être écrite sous la forme :

Pour un *déferlement plongeant* ($\xi_{s-1,0} < \xi_{cr}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right)^{\xi_{s-1,0} - 0.5}$$

et pour un *déferlement gonflant* ($\xi_{s-1,0} \geq \xi_{cr}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) \sqrt{\cot \alpha} \xi_{s-1,0}^p$$

Où S_D est un coefficient sans dimension caractérisant le niveau de dommage de l'ouvrage.

Remarque : selon la hauteur de la côte d'arase du talus, une fraction de l'énergie de la houle peut franchir l'ouvrage ou se dissiper sur l'arase. Van der Meer tient compte de cet effet de franchissement par l'application d'un coefficient de réduction sur D_{N50} :

$$\text{Coefficient : } F_R = 1 / \left[1.25 - 4.8 \frac{Rc}{H_s} \sqrt{\frac{H_s}{gT^2}} \right]$$

Epaisseur des couches

Carapace

L'épaisseur de la carapace est évaluée à partir de la formule : $E = n \cdot K_e \cdot V^{1/3}$

Avec :

n, le nombre de couche ;

V, le volume des blocs ;

K_e un coefficient d'épaisseur donné par les tables de conception des enrochements naturels selon les valeurs de B_{Lc} , LT , N_v (cf Rock Manual 3.5.1).

Blocs naturels : $K_e = 1,02$

Sous-couche

Le SPM (CERC, 1984) recommande, pour le ratio entre la masse de l'enrochement naturel de la sous-couche M_{50u} (t) et celle de l'enrochement naturel de la carapace $M_{50carapace}$ (t), une valeur donnée par l'Équation :

$$\frac{M_{50carapace}}{M_{50u}} = \frac{1}{15} \text{ à } \frac{1}{10}$$

Nous effectuons le dimensionnement pour des enrochements naturels. Les notes de calcul sont présentées ci-après.

Formule de Hudson :

Paramètres qui en découlent des paramètres d'entrée :		25ans
Facteur de correction pour l'incidence de la houle :	$\gamma_{\beta} =$	0,99
Hauteur significative de la houle oblique :	$H's =$	1,49
Densité relative :	$\Delta =$	1,54
Pente du talus :	$\tan \alpha =$	0,67
	$\cotan(\alpha) =$	1,50
Houle déferlante ou non en pied d'ouvrage		Oui
Coefficient de stabilité :	$KD =$	2
Poids médian de l'enrochement :	$W_{50} =$	7701
Masse médiane de l'enrochement de carapace :	$M_{50} =$	785
Diamètre médian de l'enrochement de carapace :	$D_{n50} =$	0,67
	$V =$	0,30
Nombre de stabilité :	$H/(\Delta D_{n50}) =$	1,44

Remarque : pour un ouvrage statiquement stable, le nombre de stabilité doit être compris entre 1 et 4.

Formule de Van der Meer (1988) - EAU PEU PROFONDE

Paramètres qui en découlent des paramètres d'entrée :		Cas1
Facteur de correction pour l'incidence de la houle :	$\gamma_{\beta} =$	0,99
Hauteur significative de la houle oblique :	$H's =$	1,49
Hauteur 2% de la houle oblique :	$H'_{2\%} =$	2,08
Période énergie de la houle :	$T_{m-1,0} =$	9,86
Nombre de vagues :	$N =$	4380
Densité relative :	$\Delta =$	1,54
Pente du talus :	$\tan \alpha =$	0,67
	$\cotan(\alpha) =$	1,50
Longueur d'onde au large :	$L_0 =$	151,90
Cambrure de la houle :	$\gamma =$	0,01
Paramètre de déferlement (nbr Iribarren) :	$\xi_{s-1,0} =$	5,69
Coef plongeant :	$C_{pl} =$	8,40
Coef gonflant :	$C_s =$	1,07
Paramètre de déferlement (nbr Iribarren) :	$\xi_{s-1,0} =$	5,69
Paramètre de déferlement critique :	$\xi_{cr} =$	5,75
Type de déferlement (gonflant ou plongeant) :		plongeant
déferlement Plongeant		
Diamètre médian de l'enrochement de carapace :	$D_{n50} =$	0,82
Masse médiane de l'enrochement de carapace :	$M_{50} =$	1451

Selon les résultats des calculs de stabilité obtenus et les contraintes techniques du projet, la catégorie des enrochements sera de **1-2 Tonnes** ($D50=0.8m$) pour la carapace et de **100 à 200kg** ($D50=0.4m$) pour la sous-couche. L'épaisseur de la carapace sera égale de **1.5 m** (2 couches $E=kt*2*D50$, $kt=0.9375$) et celle de la sous-couche **0.7 m**.

La pente du talus d'enrochement considérée est égale à 2/3.

Un géotextile fera la séparation entre la sous-couche et le terrain naturel.

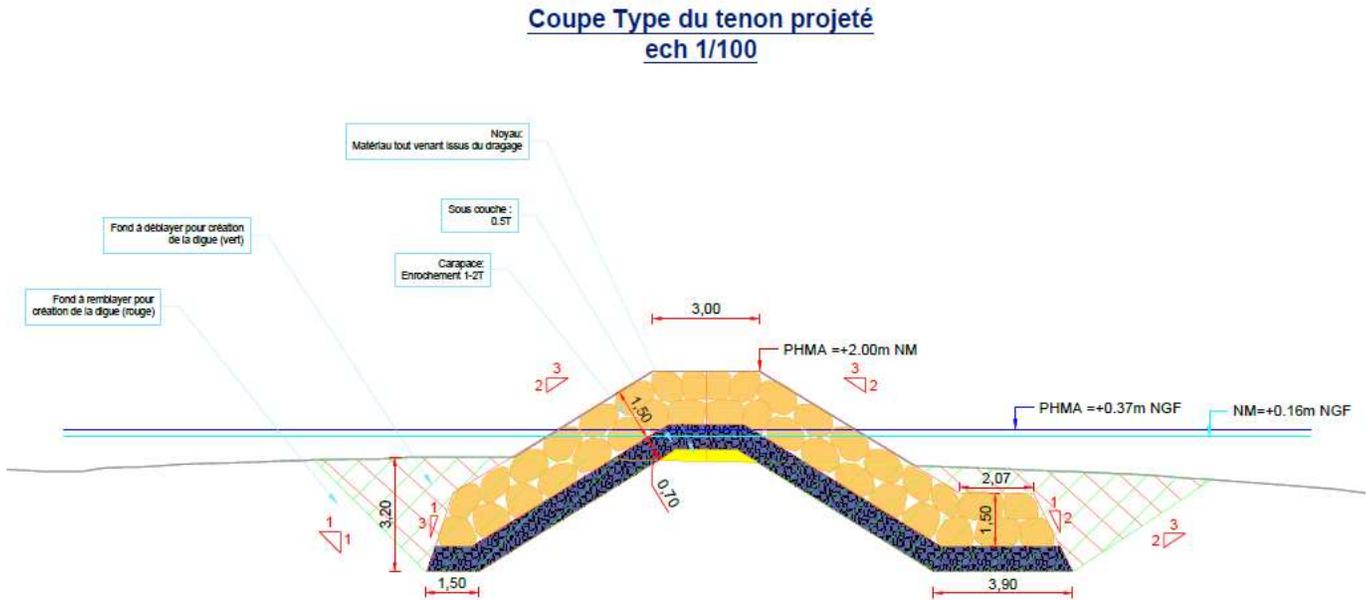


Figure 50 – Coupe de principe du tenon

Butée de pied

Les dispositions constructives de la butée de pied doivent garantir un soutien contre le glissement de la carapace/du parement de l'ouvrage. La butée de pied doit donc être conçue pour empêcher l'apparition de ces deux modes de ruptures potentiels.

Les éléments importants qu'on a considérés pour définir la nature de la protection de pied requise sont les suivants :

Emplacement de l'ouvrage ;

Forme de l'ouvrage (forces de la houle produites par les phénomènes de réflexion ou de descente de la vague sur le talus) ;

Nature du fond de la mer (résistance et taille des sédiments) ;

Nature de l'ouvrage (revêtement, digue etc.)

La conception de la butée de pied a été faite, en suivant les recommandations de Rock Manual 2007 (cf.6.3.3) pour un risque d'affouillement modéré sur un fond marin sableux.

6 Approvisionnement des blocs

6.1.1 Volume requis

Volume requis pour la construction du tenon avec un linéaire de 25m:

$V_{1-2t} = 1016 \text{ m}^3$ - blocs catégorie 1-2 Tonnes

$V_{100-200} = 495 \text{ m}^3$ - blocs catégorie 100-200 Kg

6.1.2 Extrait de l'Epi central

Dans le contexte de la présente étude une estimation provisoire a été faite sur le volume d'embrochements qui pourront être récupérés de l'épi et réutilisés ensuite, pour les fins de la construction du futur tenon.

Au regard des données topographiques et bathymétriques, le volume de matériaux à extraire de l'épi est : 300m³

Par conséquent, Volume total des embrochements de l'épi estimé = 300m³

Note : Nous considérons que seulement le 50% des embrochements (150 m³) seront réutilisables (estimation sécuritaire) dans le nouvel ouvrage et le reste sera à envoyer en décharge.

Estimation des blocs issus de l'épi à réutiliser pour la construction du tenon

Nous considérons que ces 150 m³ peuvent être réparties de la façon suivante

Catégorie $x < 1t$: -> $V_{\text{catégorie}_1} = 30\text{m}^3$

Catégorie $1t < x < 2t$: -> $V_{\text{catégorie}_2} = 60\text{m}^3$

Catégorie $2t < x < 3t$: -> $V_{\text{catégorie}_3} = 60\text{m}^3$

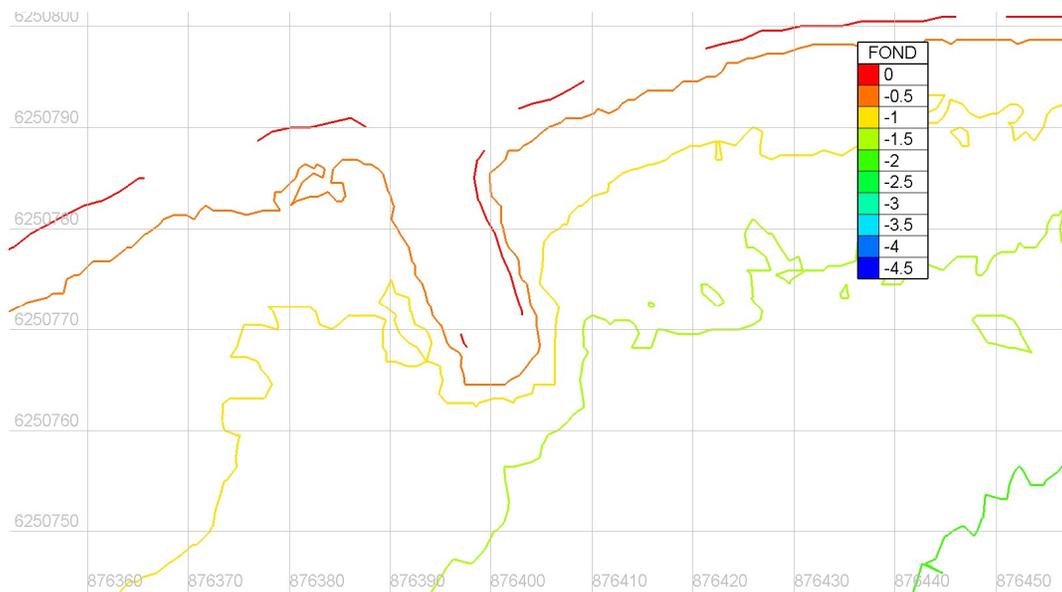


Figure 51 – Données Bathymétriques au niveau de l'épi en m NM –(Niveau Moyen (NM) = + 0.49 m CM.).

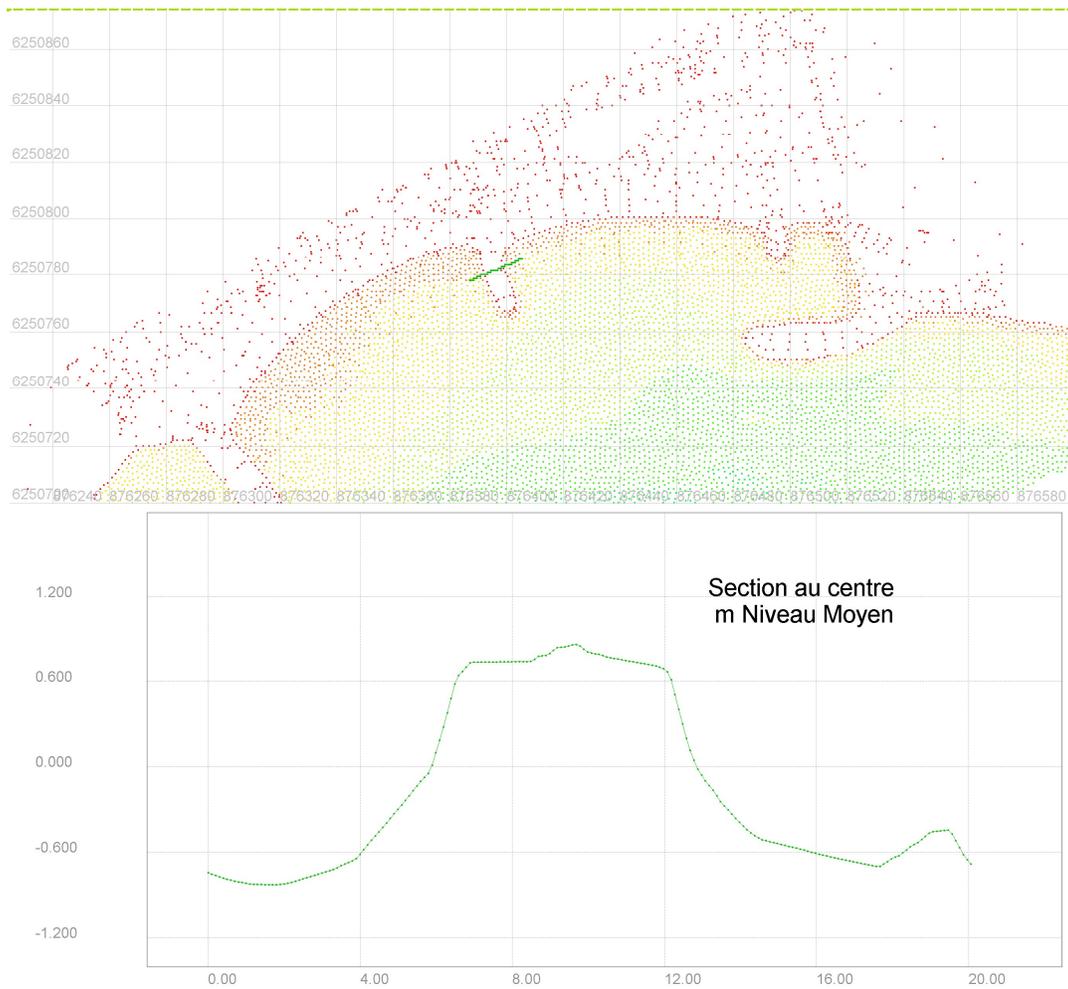


Figure 52 – Section transversale au centre de l'épi, surface d'environ 12 m² –(Niveau Moyen (NM) = + 0.49 m CM.).

6.1.3 Extrait de la digue Base nautique

Dans le contexte de la présente étude une estimation provisoire a été faite sur le volume d'encrochements qui pourront être récupérés de la digue au niveau de la base nautique et réutilisés ensuite, pour les fins de la construction du futur tenon.

Au regard des données topographiques et bathymétriques, le volume de matériaux à extraire de l'épi est basé sur deux scénarios :

A°) Diminution de 20 m de la longueur de la digue

B) Diminution de $\frac{3}{4}$ de la longueur de la digue

Quel que soit la longueur de digue enlevé, un volume d'encrochements (environ 150 m³), sera réutilisé afin de recréer le musoir de la digue existante au niveau de la base nautique.

6.1.3.1 Diminution 20m de la longueur de la digue :

Volume total extrait pour ce scenario = 820m³

Note : Nous considérons que seulement le 50% des encrochements (410 m³) seront réutilisables (estimation sécuritaire) dans le nouvel ouvrage et le reste sera à envoyer en décharge. De surcroit 150 m³ seront réalisés pour la recréation du musoir

Volume estimé pour la création du tenon (260m³), dont:

Catégorie(38%) **x < 1t** : -> Vcategorie_1=98m³

Catégorie(31%) **1t < x < 2t** : -> Vcategorie_2=80m³

Catégorie(6%) **2t < x < 3t** : -> Vcategorie_3=17m³

Catégorie(25%) **2t < x < 3t** : -> Vcategorie_4=65m³

6.1.3.2 Diminution de 75% de la longueur de la digue:

Volume total estimé pour ce scenario = 1680m³

Note : Nous considérons que seulement le 50% des encrochements (840 m³) seront réutilisables (estimation sécuritaire) dans le nouvel ouvrage et le reste sera à envoyer en décharge. De surcroit 150 m³ seront réalisés pour la recréation du musoir

Volume estimé pour la création du tenon (690m³), dont :

Catégorie(38%) **x < 1t** : -> Vcategorie_1= 262m³

Catégorie(31%) **1t < x < 2t** : -> Vcategorie_2=214m³

Catégorie(6%) **2t < x < 3t** : -> Vcategorie_3= 41m³

Catégorie(25%) **2t < x < 3t** : -> Vcategorie_4= 173m³



Figure 53 : coupe type de l'ouvrage de protection de la cale de mise à l'eau, Ref [2] 2005, Ref [4] 2006

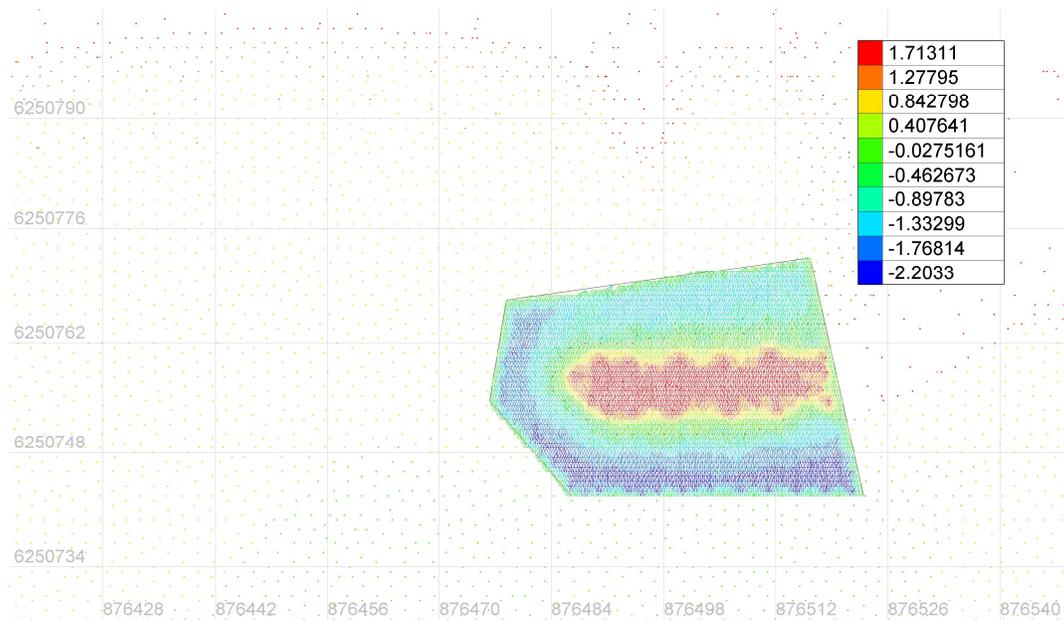


Figure 54 – Données Bathymétriques au niveau de la digue Base nautique en m NM –(Niveau Moyen (NM) = + 0.49 m CM.).

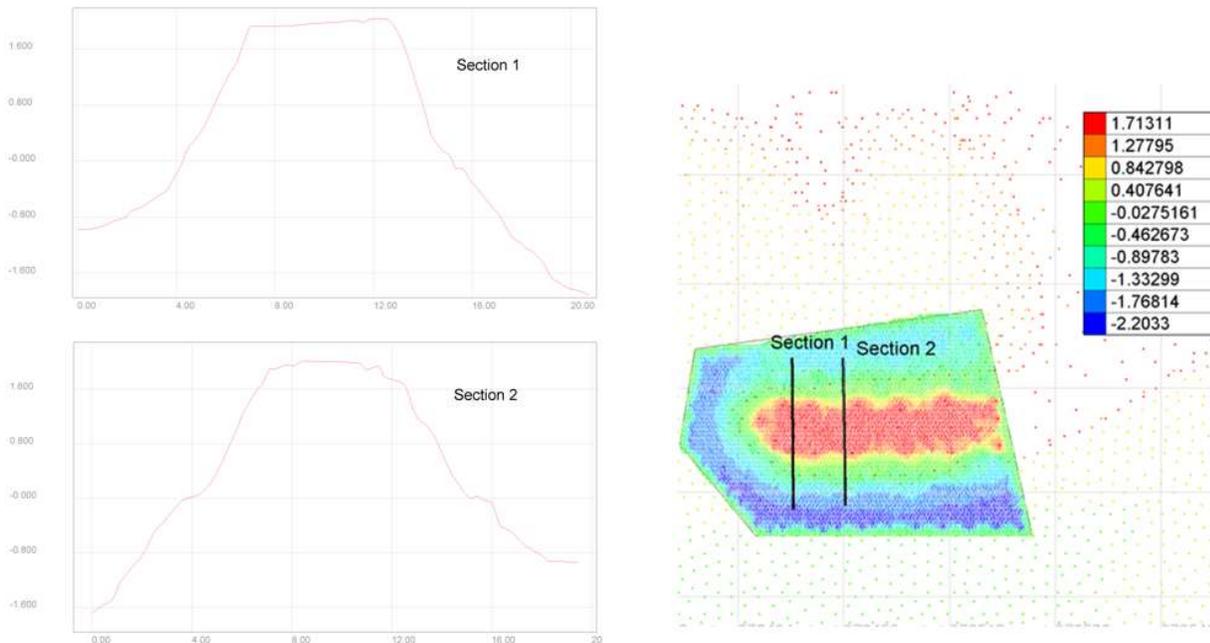


Figure 55 – Sections transversale au centre de la digue et au niveau du musoir, surface Section1 d'environ 32 m2 , surface Section2 d'environ 34 m2 –(Niveau Moyen (NM) = + 0.49 m CM.).

6.1.4 Approvisionnement de la carrière

Au regard des volumes nécessaires à la réalisation de l'ouvrage et aux volumes potentiellement récupérables sur les ouvrages en place, il faut prévoir l'approvisionnement de :

- 609 m3 de blocs de carapace
- 190 m3 de blocs de sous-couche

7 TRAVAUX DE RECHARGEMENT ET STABILITE DE PLAGE

7.1.1 Stabilité de la plage

Dans le rapport de Oteis « *Profils sédimentaires de la plage et de la baie du Rouet – OTEIS – 03/2020* », il est indiqué que Le profil 1 (Figure 9) de la plage de sable apparait comme globalement stable. La pente de l'estran et de la plage sous-marine est relativement continue et homogène de l'ordre de 4,5%. Cette pente de 4,5 % est décrite par Oteis comme la pente qui permet d'assurer globalement la stabilité d'une plage pour le sédiment sableux.

Cependant, la pente d'équilibre est une valeur qui dépend de plusieurs facteurs, comme les caractéristiques des sédiments, le forçage hydrodynamique, la nature des sols, le niveau du substratum rocheux et les caractéristiques tri-dimensionnelles de la plage.

7.1.2 Références bibliographiques

Dans la littérature du génie côtier plusieurs théories ont été présentées pour approcher ce sujet :

Méthode de Dean

Selon la méthode de Dean décrite par le Coastal Engineering Manual, le profil d'équilibre est déterminé en fonction des conditions du site, de la profondeur et du diamètre médian (D50). La pente d'équilibre peut être calculé à partir de la formule :

$$h = By^{2/3}d_{50}^{1/3}$$

Avec :

h : profondeur d'eau

y : distance à la côte

B : un facteur qui dépend de différents paramètres tels que le climat des houles, les variations du niveau de la mer, les courants etc

Méthode de van Rijn, 2018

L'angle critique de la pente du fond marin pour chaque type des sédiments correspond à un angle $\varphi = \sim 3 - 24^\circ$, selon les données présentées dans l'étude de van Rijn, 2018 (Figure ci-après).

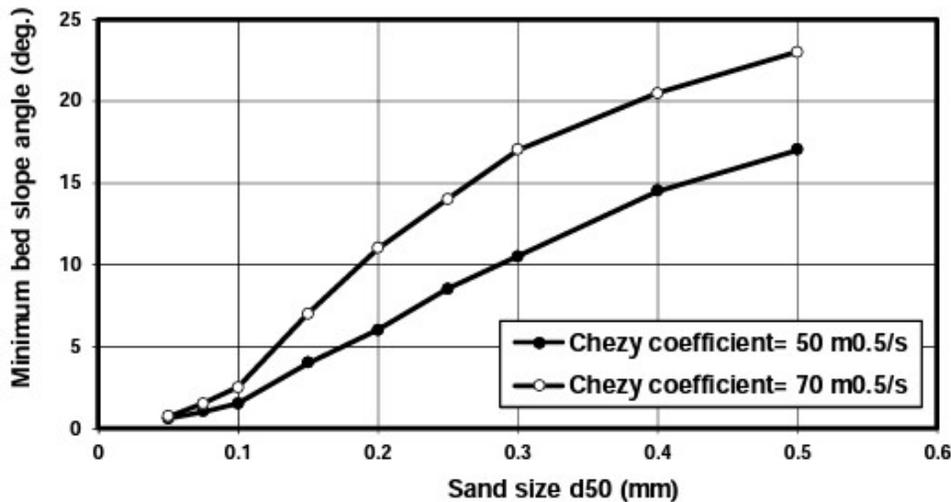


Figure 56 Angle minimal (critique) de la pente du lit pour les conditions d'auto - accélérations en fonction de la taille du sable et du coefficient de Chézy (van Rijn, 2018)

Méthode de Karambas, 2012

L'angle d'équilibre critique peut aussi être calculée à partir de la formule suivante proposé par Karambas, 2012 :

$$\tan\beta_{eq} = 20 \frac{wf}{(gT)^{0.5}(gH_s)^{0.25}}$$

Avec, wf (vitesse limite verticale de sédimentation), H_s (Hauteur significative des vagues), T = période pic des vagues.

Conclusion

La pente indiquée par Oteis, n'a pas été justifiée via des formules mathématiques, il sera vu en phase APS quelle est la pente la plus judicieuse. La pente ne sera pas constante le long du profil cross-shore.

7.1.3 Pente « d'équilibre »

Le profil « d'équilibre » est défini dans la littérature de « costal engineering » comme un profil à long terme produit par un climat caractéristique de vague et un type particulier de sédiment (Bruun, 1954; Schwartz, 1982 ; Dean, 1977, Larson et al, 1999). Cependant, la présence des tempêtes et des phénomènes érosifs intenses au long de ce derniers ans, a mis en question la période /intervalle temporelle qui caractérise ce profil « d'équilibre », car la morphodynamique des plages évolue à une échelle réduite sous l'impact des vagues énergétiques (kombiadou et., al 2021).

Bien que le modèle théorique proposé par Dean (1977) pour les «equilibrium beach profiles» produit une forme en accord avec les données de terrain, la justification physique de la condition d'équilibre n'est pas claire et les hypothèses retenues sont plutôt ad hoc. De plus, un profil proche de l'équilibre peut tout de même produire un important transport sédimentaire net vers le large (undertow) difficilement explicable dans le cadre du modèle de Dean.

Des modélisations numériques sont ainsi nécessaires afin de tester le comportement/résistance du profil étudié sous l'impact des différentes combinaisons de forçages hydrodynamiques

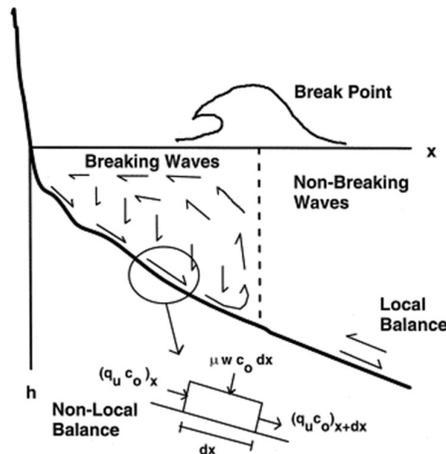


Figure 57 Image schématique du modèle de transport de sédiments supposé dans la zone de surf pour dériver une forme de profil d'équilibre (q_U = écoulement sous-marin, c_o = concentration de sédiments, x = coordonnée transversale, h = profondeur de l'eau, w = vitesse de chute des sédiments, dx = élément de volume longueur, et μ = coefficient empirique).

Dans le cadre du présent rapport la méthodologie proposée est basée sur l'œuvre de Dette et, al 2002, en faisant référence à la campagne expérimentale menée au Grosser Wellenkanal à Hanovre dans le cadre du projet européen SAFE. L'objectif principal de cette étude était d'étudier l'efficacité du rechargement des plages en tant que technique de protection douce pour lutter contre l'érosion du littoral. Ainsi, le profil sous-marin à partir de -0.05 mCM a été façonné selon le profil d'équilibre $h=0,12x^{2/3}$ (voir Bruun, 1954, Dean, 1977), où h est la profondeur de l'eau et x la distance du rivage. **Au niveau de la zone swash**, la pente d'équilibre critique a été calculée à l'aide de la formule suivante proposé par Karambas, 2012 :

$$\tan\beta_{eq} = 20 \frac{wf}{(gT)^{0.5}(gH_s)^{0.25}}$$

Avec, wf (vitesse limite verticale de sédimentation), H_s (Hauteur significative des vagues), T = période pic des vagues.

Pour un diamètre (D_{50}) de 0.38mm, la vitesse limite verticale de sédimentation 'fall velocity' wf est égale à 0.048 m/s

(Ponce, V. M., 1989. Engineering Hydrology, Principles and Practices, Prentice Hall, pages 534-535.)

En exploitant les paramètres des vagues dans la zone, issus de modélisations numériques pour un événement qui possède une période de retour de 25 ans, nous avons :

$H_s=2,6m$ et $T_p=10.85$ et une pente d'équilibre $\tan\beta_{eq}$ de 4.2%.

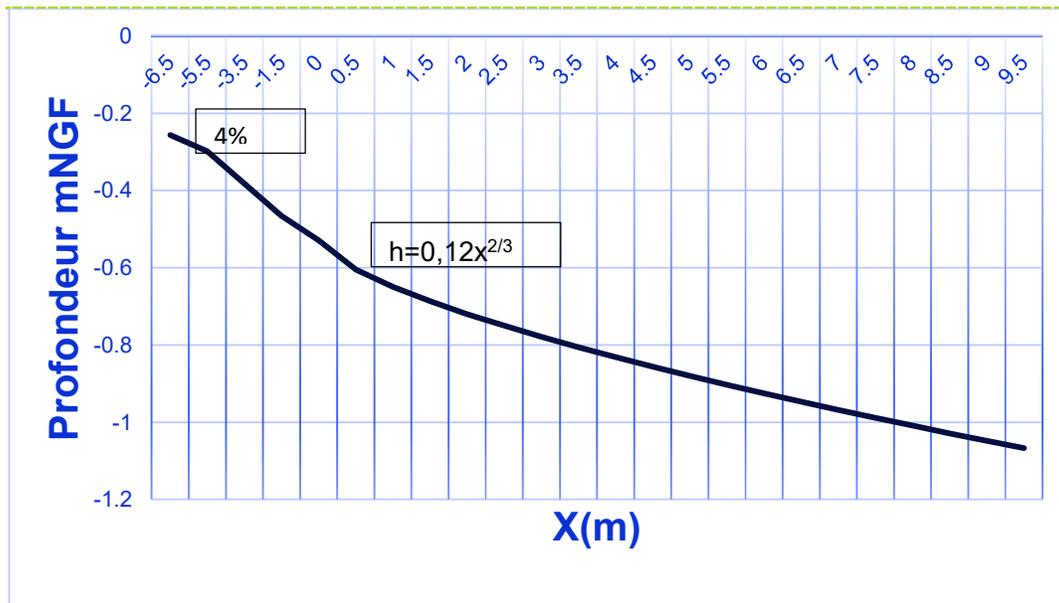


Figure 58 Profil d'équilibre du fond marin

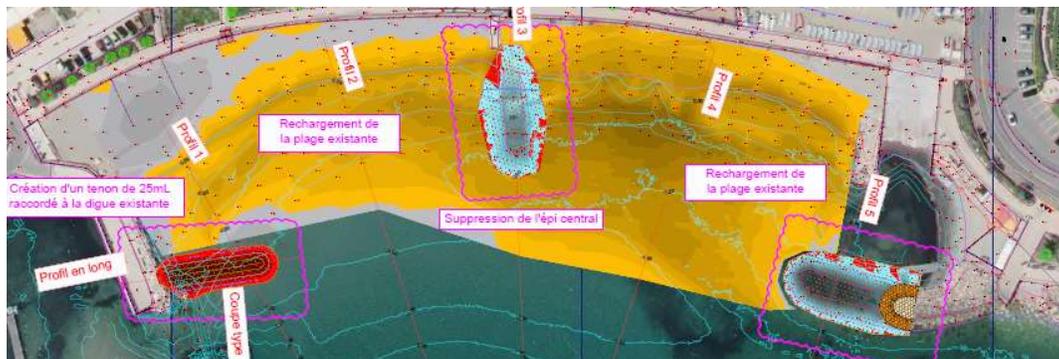


Figure 59 Vue en plan de rechargement

En considérant le profil présenté ci-avant, et à l'aide des données topo-bathymétriques existantes, il a été estimé le volume de sable nécessaire à approvisionner et mettre en œuvre pour atteindre cette pente d'équilibre, qui est égal à $V_{\text{recharg}} = 6150 \text{ m}^3$.

Le sable peut être directement dragué dans l'anse du rouet pour être rejeté sur la plage. Le coût du rechargement est alors du même ordre que le coût d'un dragage mais les autorisations sur le plan environnemental doivent être assurées.

Le calcul du coût de rechargement (présenté ci-après cf. 8) a été basé sur le scénario d'approvisionnement du sable par une carrière. Ainsi, le sable peut être acheminé par voie terrestre et régalié sur la plage par des tractopelles. Dans ce cas, le coût de la prestation est lié à celui de la fourniture du sable, son transport et son terrassement.

7.1.4 Impact des structures avoisinantes

La présence des ouvrages /murs côtiers réfléchifs en haut de plage et à l'est du secteur, ont pour conséquence une intensification des courants de retour, induits par les vagues réfléchissantes et associés avec une forte érosion dans la zone de jet de rive et déferlement. Ce phénomène participe à la déstabilisation morphodynamique sur l'ensemble du système littoral et au détournement des flux sédimentaires, avec la création des nouvelles zones d'accrétion, au niveau du port et de la base nautique.



Figure 60 : Position des murs réfléchifs en haut de plage et à l'est du secteur

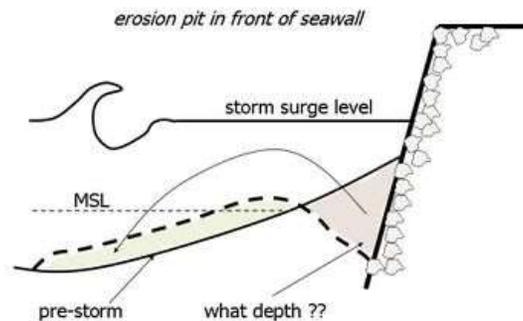


Figure 61 : Schéma du mécanisme d'érosion au pied d'une structure côtière réfléchive

Afin d'agir sur l'effet érosif du muret de haut de plage, des différentes configurations pourraient être étudiés, afin de modifier les caractéristiques géométriques de la structure. En tenant en compte des processus physiques susmentionnés, la forme de la structure projetée doit être

définie avec précision, afin d'obtenir une solution-configuration optimale qui peut assurer trois éléments :

1. La tenue de l'ouvrage ;
2. La minimisation de l'énergie des vagues incidentes. Les travaux proposés doivent comprendre un système de dissipation de l'énergie de la houle, en optimisant la porosité de la structure et les caractéristiques géométriques de l'ouvrage;
3. Un état d'équilibre morphodynamique qui favorise l'accrétion ou la rétention des sédiments non-cohésifs au pied du mur.

Les configurations à étudier sont les suivantes :

7.1.4.1 Diminution de la hauteur du mur

Un mur moins haut et par conséquent plus dissipatif, pourrait contribuer à la rétention des sédiments et l'atténuation des flux érosifs. Une telle structure aurait par ailleurs, un effet négatif sur la protection de la zone en amont, car cela augmenterait le risque de franchissements au niveau de la zone protégée par le mur.

7.1.4.2 Pose des enrochements

Pour la protection de la digue existante, un « bassin de déversement » pourrait être proposé sur le côté extérieur de l'ouvrage actuel. Pour créer ce bassin, la pose des enrochement (talus bas avec une pente douce) au pied du mur existant est nécessaire. L'avantage de cette structure est la minimisation de l'énergie des vagues incidentes en deux niveaux, au pied de l'ouvrage en raison du shoaling et entre la crête de la structure et le mur existant où la houle est déferlée et l'énergie du fluide est dissipée. Cependant, cette intervention causera la diminution de la surface de la plage.

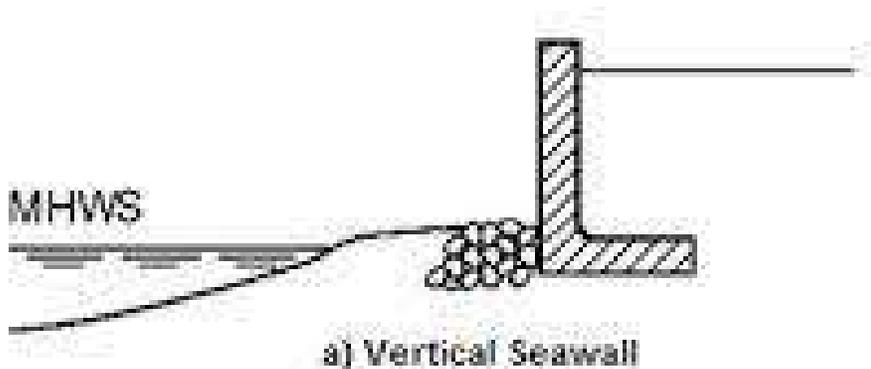


Figure 62 : Schéma conceptuel du pied en enrochement

7.1.4.3 Recréation du mur

Murs « incurvés »

Les murs « incurvés » ou murs de chasse mer, ont une forme concave face à la mer, ce qui les rend très efficaces pour disperser l'énergie des vagues incidentes, réduisant la turbulence, en empêchant les paquets des vagues d'atteindre le sommet de la structure et de déborder. Chaque digue incurvée est unique au littoral et à ses conditions côtières et implique donc une ingénierie complexe et des coûts de construction élevés.



Figure 63 : San Francisco's Great Highway Seawall (California Highway 35, 1991)

Mur incliné

La création d'un mur incliné permettra de réduire la réflexion de la houle et donc réduire l'érosion de la plage. Cependant, cela augmenterait le risque de franchissements au niveau de la zone protégée par le mur.

8 COUT ESTIMATIF DES TRAVAUX

Coût estimatif des travaux					
Tranche ferme					
Phase AVP					
n° prix	Désignation des ouvrages	Unité	Qté	Prix unitaire	Prix total € HT
100	Prix généraux				
101	Installations de chantier	Ft	1	35 000,00	35 000,00
102	Amenée et repliement des engins	Ft	1	25 000,00	25 000,00
103	Investigations complémentaires	Ft	1	12 500,00	12 500,00
104	Etudes d'exécution	Ft	1	7 000,00	7 000,00
105	Récèlement	Ft	1	5 000,00	5 000,00
106	Implantation des ouvrages - Contrôles topographiques-bathymétriques	Ft	1	13 500,00	13 500,00
107	Mesures de suivi environnemental en phase chantier	Ft	1	15 000,00	15 000,00
	Sous Total	100			113 000,00
200	Travaux Tenon - demol. Epis - Diminution de la digue 20m				
201	Pistes provisoires	Ft	2	35 000,00	70 000,00
202	Approvisionnement Carrière d'engrochements >1T	m3	585	70,00	40 950,00
203	Approvisionnement Carrière d'engrochements 100 - 200 kg	m3	246	65,00	15 990,00
204	Demolition+Tri des blocs existants >1T	m3	748	28,00	20 944,00
205	Demolition+Tri des blocs existants 100-200 KG	m3	372	33,00	12 276,00
206	Reconstruction du muisoir base nautique	Ft	1	4 500,00	4 500,00
206	Evacuation des blocs existants > 1T	m3	368	15,00	5 520,00
207	Evacuation des blocs existants 100-200 KG	m3	194	15,00	2 910,00
206	Pose de la sous couche 100 - 200 kg	m3	374	40,00	14 960,00
207	Pose d'engrochements >1T	m3	865	50,00	43 250,00
208	Remise en état du site	Ft	1	10 000,00	10 000,00
	Sous Total	200			241 300,00
Tranche optionnelle					
Option 1					
300	Diminution 75 % digue B. nautique (diminution complémentaire)				
301	Demolition+Tri des blocs existants >1T	m3	533	28,00	14 924,00
302	Demolition+Tri des blocs existants 100-200 KG	m3	327	33,00	10 791,00
303	Evacuation des blocs existants >1T	m3	273	15,00	4 095,00
304	Evacuation des blocs existants 100-200 KG	m3	167	15,00	2 505,00
305	Diminution d'Approvisionnement nécessaire Carrière >1T	m3	-260	70,00	-18 200,00
306	Diminution d'Approvisionnement nécessaire Carrière 100 - 200 kg	m3	-160	65,00	-10 400,00
	Sous Total	300			3 715,00
Option 2					
400	Rechargement de plage				
401	Préparation du terrain initial (reprofilage initial)	m2	4200	8,00	33 600,00
402	Transport et Fourniture du sable	m3	6150	30,00	184 500,00
403	Mise en œuvre du sable	m3	6150	15,00	92 250,00
	Sous Total	400			310 350,00
Option 3					
500	Recreation du mur en haut de de plage				
501	Etudes d'exécution	Ft	1	15000	15000
502	Recreation du mur	ml	240	300	72000
	Sous Total	500			87 000,00
RECAPITULATIF					
Tranche ferme					
N°	POSTE	TOTAL			
100 €	Prix généraux	113 000 €			
200 €	Travaux Tenon - demol. Epis - Diminution de la digue 20m	241 300 €			
	TOTAL HT	354 300 €			
	Aléas et imprévus 20 % -phase APS	70 860 €			
	TOTAL HT yc aléas	425 160 €			
Tranches optionnelles					
Option 1	Diminution 75 % digue B. nautique (diminution complémentaire) (total HT + aléas)	4 458 €			
Option 2	Rechargement de plage (total HT + aléas)	372 420 €			
Option 3	Recreation du mur en haut de de plage (total HT + aléas)	104 400 €			

Coût estimatif des travaux					
Tranche ferme					
Phase AVP					
n° prix	Désignation des ouvrages	Unité	Qté	Prix unitaire	Prix total € HT
100	Prix généraux				
101	Installations de chantier	Ft	1	35 000,00	35 000,00
102	Aménagé et repliement des engins	Ft	1	25 000,00	25 000,00
103	Investigations complémentaires	Ft	1	12 500,00	12 500,00
104	Etudes d'exécution	Ft	1	7 000,00	7 000,00
105	Récèlement	Ft	1	5 000,00	5 000,00
106	Implantation des ouvrages - Contrôles topographiques-bathymétriques	Ft	1	13 500,00	13 500,00
107	Mesures de suivi environnemental en phase chantier	Ft	1	15 000,00	15 000,00
	Sous Total	100			113 000,00
200	Travaux Tenon - demol. Epis - Diminution de la digue 20m				
201	Pistes provisoires	Ft	2	35 000,00	70 000,00
202	Approvisionnement Carrière d'enrochements >1T	m3	585	70,00	40 950,00
203	Approvisionnement Carrière d'enrochements 100 - 200 kg	m3	246	65,00	15 990,00
204	Demolition+Tri des blocs existants >1T	m3	748	28,00	20 944,00
205	Demolition+Tri des blocs existants 100-200 KG	m3	372	33,00	12 276,00
206	Reconstruction du musoir base nautique	Ft	1	4 500,00	4 500,00
206	Evacuation des blocs existants >1T	m3	368	15,00	5 520,00
207	Evacuation des blocs existants 100-200 KG	m3	194	15,00	2 910,00
206	Pose de la sous couche 100 - 200 kg	m3	374	40,00	14 960,00
207	Pose d'enrochements >1T	m3	865	50,00	43 250,00
208	Remise en état du site	Ft	1	10 000,00	10 000,00
	Sous Total	200			241 300,00
Tranche optionnelle					
Option 1					
300	Diminution 75 % digue B. nautique (diminution complémentaire)				
301	Demolition+Tri des blocs existants >1T	m3	533	28,00	14 924,00
302	Demolition+Tri des blocs existants 100-200 KG	m3	327	33,00	10 791,00
303	Evacuation des blocs existants >1T	m3	273	15,00	4 095,00
304	Evacuation des blocs existants 100-200 KG	m3	167	15,00	2 505,00
305	Diminution d'Approvisionnement nécessaire Carrière >1T	m3	-260	70,00	-18 200,00
306	Diminution d'Approvisionnement nécessaire Carrière 100 - 200 kg	m3	-160	65,00	-10 400,00
	Sous Total	300			3 715,00
Option 2					
400	Rechargement de plage				
401	Préparation du terrain initial (reprofilage initial)	m2	4200	8,00	33 600,00
402	Transport et Fourniture du sable	m3	6150	30,00	184 500,00
403	Mise en œuvre du sable	m3	6150	15,00	92 250,00
	Sous Total	400			310 350,00
Option 3					
500	Recreation du mur en haut de de plage				
501	Etudes d'exécution	Ft	1	15000	15000
502	Recreation du mur	ml	240	300	72000
	Sous Total	500			87 000,00

RECAPITULATIF		
Tranche ferme		
N°	POSTE	TOTAL
100 €	Prix généraux	113 000 €
200 €	Travaux Tenon - demol. Epis - Diminution de la digue 20m	241 300 €
	TOTAL HT	354 300 €
	Aléas et imprévus 20 % -phase APS	70 860 €
	TOTAL HT yc aléas	425 160 €
Tranches optionnelles		
Option 1	Diminution 75 % digue B. nautique (diminution complémentaire) (total HT + aleas)	4 458 €
Option 2	Rechargement de plage (total HT + aleas)	372 420 €
Option 3	Recreation du mur en haut de de plage (total HT + aleas)	104 400 €

9 ANALYSE MULTICRITERE

Les scenarios sur lesquels la présente analyse multicritère a été basé sont les suivants :

- Scenario 1 - Tenon de 25ml + dépose épi + dépose digue sur 20ml
- Scenario 2 - Tenon de 50ml + dépose épi + dépose digue sur 20ml
- Scenario 3 - Tenon de 25ml + dépose épi + dépose digue sur 75ml
- Scenario 4 - Tenon de 25ml + dépose épi + dépose digue sur 75ml + rechargement de plage
- Scenario 5 - Tenon de 25ml + dépose épi + dépose digue sur 75ml + rechargement de plage + récréation du muret



		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Efficacité/ Objectifs	l'ensemblement du port	Répond aux objectifs du projet, pour la protection du port contre l'ensablement	Répond aux objectifs du projet, pour la protection du port contre l'ensablement	Répond aux objectifs du projet, pour la protection du port contre l'ensablement	Le rechargement de la plage risque d'intensifier l'ensablement du port	Le rechargement de la plage risque d'intensifier l'ensablement du port
	Reéquilibrage de la baie entière (Demande de service de l'état: action sur profil de plage (rechargement) et muret haut de plage(géométrie))	Efficacité minime	Efficacité minime	Efficacité minime	La solution synergique de rechargement de plage aura un effet positif sur la stabilité du système littoral	Les deux solutions synergiques : rechargement de plage et recreation du muret peuvent contribuer afin de rétablir l'état d'équilibre du système littoral
Impact morphodynamique		Risque d'ensablement du port pendant des événements météorologiques extrêmes et phénomènes énergétiques	Risque de non renouvellement des eaux en amont de l'ouvrage (coté terre)	Risque d'ensablement du port pendant des événements météorologiques extrêmes et phénomènes énergétiques	Protection de la plage via une configuration dissipative qui permet la dissipation de l'Energie des vagues, en limitant l'intensité des courants de retour érosifs - Risque d'intensification d'ensablement du port pendant des événements météorologiques extrêmes	Protection de la plage via une configuration dissipative qui permet la dissipation de l'Energie des vagues, en limitant l'intensité des courants de retour érosifs - Risque d'intensification d'ensablement du port pendant des événements météorologiques extrêmes Protection du haut de la plage qui permet la dissipation des vagues réfléchissantes, en limitant ainsi l'érosion
Impact sur le milieu		Ouvrage avec impact limité sur les usagers - Insertion paysagère optimale - tendance vers l'état initial de la place	Ouvrage avec impact limité sur les usagers - Insertion paysagère moyenne car structure émergée assez longue, plus d'artificialisation	Ouvrage avec impact limité sur les usagers - Insertion paysagère optimale, moins d'artificialisation	Ouvrage avec impact limité sur les usagers - Insertion paysagère optimale - tendance vers l'état initial de la place	Ouvrage avec impact limité sur les usagers - Insertion paysagère optimale - tendance vers l'état initial de la place
Mise en œuvre		Mise en œuvre par voie terrestre et maritime, nécessitant l'acheminement de nombreux matériaux et engins pour la construction et la création des pistes dans la zone maritime. L'apport de matériaux reste limité	Mise en œuvre par voie terrestre et maritime, nécessitant l'acheminement de nombreux matériaux et engins pour la construction et la création des pistes dans la zone maritime. L'apport de matériaux est importante	Mise en œuvre par voie terrestre et maritime, nécessitant l'acheminement de nombreux matériaux et engins pour la construction et la création des pistes dans la zone maritime, l'apport de matériaux reste très limité	Mise en œuvre par voie terrestre et maritime, nécessitant l'acheminement de nombreux matériaux et engins pour la construction et la création des pistes dans la zone maritime. L'apport de matériaux reste limité	Mise en œuvre par voie terrestre et maritime, nécessitant l'acheminement de nombreux matériaux et engins pour la construction et la création des pistes dans la zone maritime. L'apport de matériaux reste limité
Coût		Coût raisonnable- autour de 460 k	Coût important- plus que 500 k	Coût raisonnable- autour de 465 k	Coût très important- plus que 800 k	Coût très important- plus que 900 k

10 Références

- Réf [1] : « Protection et aménagement de la plage du Rouet – Etude de faisabilité », SOGREAH, février 2001, 131 pages
- Réf [2] : « Mission de maîtrise d'œuvre relative à l'aménagement de l'anse du Rouet – Etude préliminaire », ACRI-IN, 16 juin 2005, 52 pages
- Réf [3] : « Mission de maîtrise d'œuvre relative à l'aménagement de l'anse du Rouet – Etude préliminaire – Annexes », ACRI-IN, 16 juin 2005, 24 pages
- Réf [4] : « Etude d'impact de l'aménagement global de l'anse du Rouet », ACRI-IN, 27 septembre 2006, 150 pages
- Réf [5] : « Dossier de déclaration de dragage de la passe du port du Rouet », communauté Urbaine Marseille Provence Métropole, mai 2005, 7 pages
- Réf [6] : « Dossier de déclaration – Désensablement du centre de voile du Rouet – Ville de Carry-le-Rouet », GALATEA, 08/06/2016, 109 pages
- Réf [7] : « Analyse des sédiments – Port du Rouet », GALATEA, 19/02/2018, 30 pages
- Réf [8] : « Cas par cas pour rechargement de la plage + Annexes », Métropole d'Aix-Marseille Provence, 2 mars 2018, 32 pages
- Réf [9] : « Etude de l'ensablement de la passe de l'entrée du Port du Rouet – Note sédimentologie », GINGER, novembre 2012, 20 pages
- Réf [10] : « Reconnaissance des fonds de l'anse du Rouet – Relevé de quelques incidences d'un aménagement portuaire + Annexes », Parc Régional Marin de la Côte Bleue, avril 1991, 18 pages
- Réf [11] : « Etude d'agitation et de courantologie – Anse du Rouet », ACTIMAR, 11/12/2012, 30 pages
- Réf [12] : « Etude d'agitation et de courantologie – Anse du Rouet », ACTIMAR, 04/04/2013, 19 pages
- Réf [13] : « Etude hydrodynamique et sédimentaire de l'anse du rouet », ACTIMAR, Rapport V1 (22/10/2018 - 24pages) ; Rapport V1.2 (23/03/2020, 26 pages, ajout d'un cas n°4) ; Rapport V2 (13/11/2020 – 58 pages – Ajout de l'étude des états aménagés) ; ; Rapport V3 2022.
- Ref [14] : « Etude d'agitation portuaire : l'Anse du Pharo », ACTIMAR, 21/05/2012, 59 pages.
- Ref [15] : « Etude de l'ensablement de la passe du Port du Rouet – Note sédimentologie », OTEIS, 11/2012, 20 pages.

- Réf [16] : Relevé topographique de la plage du Rouet et des ouvrages par l'entreprise OPSIA en octobre 2019.

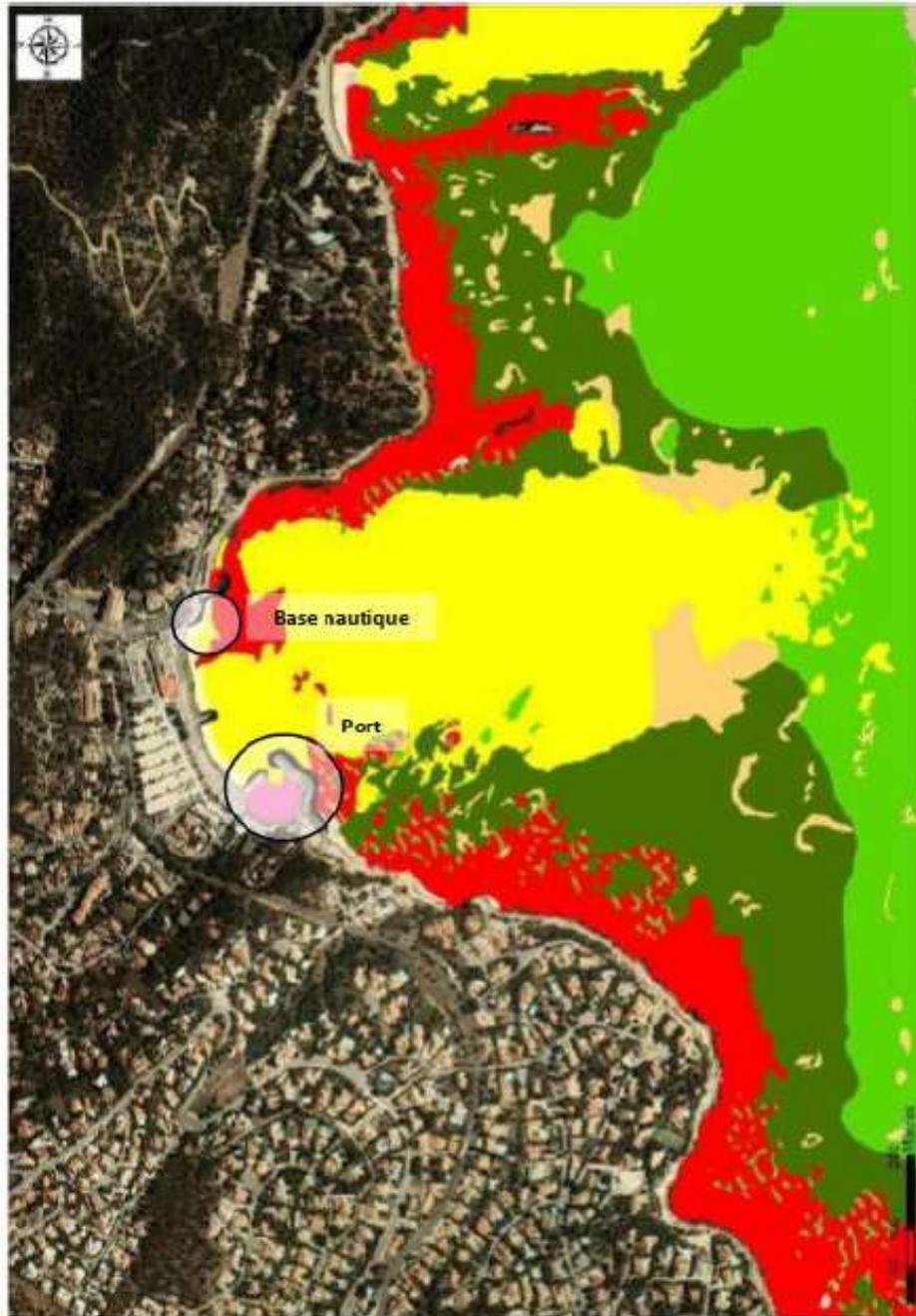
- Réf [17] : « Campagne de mesures dans la baie du Rouet à Carry-le-Rouet - Profils sédimentaires de la plage et de la baie du Rouet », OTEIS, 03/2020, 12 pages.

Note : dans le cadre de cette étude, une bathymétrie de la Anse a été réalisée (SEMANTIC 2020) ainsi qu'une reconnaissance du sous-sol par méthode de sismique réflexion (SEMANTIC 2020).

- Réf [18] : « Cartographie des biocénose et analyse de sédiments dans la baie du Rouet à Carry-le-Rouet », SUEZ, 10/09/2020, 32 pages.

- Réf [19] : Rock Manual, 2007

Annexe 9 : Cartographie des biocénoses marines présentes à
proximité du projet



Herbier de Posidonie : ■ :
 Matte morte - ■ : Matte morte recouverte de détritique côtier - ■ : Herbier de Posidonie - ■ : Herbier de Posidonie sur roche **Mosaïques relatives à l'herbier de Posidonie :** ■ : Herbier de Posidonie de faible recouvrement (<30%) sur matte morte - ■ : Mosaïque d'herbier de Posidonie et de roches infralittorales à algues photophiles **Récifs :** ■ : Roches infralittorales à algues photophiles - ■ : Coralligène **Mosaïques relatives aux récifs :** ■ : Roches infralittorales à algues photophiles et matte morte **Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine :** ■ : Galets infralittoraux - ■ : Sables et graviers sous influence des courants de fond - ■ : Sables fins bien calibrés - ■ : Sables fins de haut niveau **Habitats non communautaires :** ■ : Détritique envasé - ■ : Détritique côtier **Structures d'origine anthropique :** ■ : Enrochements artificiels - ■ : Sédiments portuaires

Biocénoses marines présentes à proximité de l'Anse du Rouet (GIS Posidonie, 2012).



**Cartographie des biocénoses
présentes dans l'Anse du Rouet**

Légende

- Biocénose des algues infralittorales
- Biocénose des sables intralittoraux
- Biocénose de thierier à *Posidonia oceanica*
- ⋯⋯⋯ Nursery d'oursins

Source des données:
- Image satellite: RGF RD ortho (Métropole)
Système de coordonnées: WGS84

ECHELLE: 0 50 m

Version 1
Date de mise à jour: 2020
Copyright: SUEZ CONSULTING



Cartographie des biocénoses présentes dans l'Anse du Rouet (SUEZ Consulting, 2020).

Annexe 10 : Tableau de synthèse des enjeux
environnementaux

Thématiques		Spécificité et sensibilité des milieux	Niveau de l'enjeu
Milieu physique	Climat	Le climat dominant à Carry-le-Rouet est de type méditerranéen. Une faible amplitude thermique hivers/été et des précipitations irrégulières caractérisent la zone d'étude. Vents du secteur Nord à Nord-Ouest parfois violents.	Nul
	Hydrodynamisme	Le littoral de Carry-le-Rouet, orienté vers le Sud, est exposé à la houle d'Ouest engendrée par les vents d'Ouest à Nord-Ouest. Les houles de Sud-Ouest à Sud-Est (engendrées par les vents de Sud-Ouest à Sud-Est) sont les plus sévères, engendrant un transport sédimentaire important dans la zone.	Fort
	Bathymétrie	La profondeur au droit de l'Anse du Rouet est faible. Des phénomènes d'envasement/ensablement des bassins portuaires et de la base nautique sont observés.	Fort
	Topographie	Le territoire de Carry-le-Rouet est composé de vallons au relief assez doux (altitude max 178 m). Un relevé topographique de la plage et des ouvrages existants a été fait en octobre 2019. Les données topographiques seront à actualiser lors la phase travaux (durant la phase préparatoire).	Nul
	Géologie	La zone de projet repose sur des formations géologiques de l'oligocène et est située en zone de sismicité modérée.	Faible
Masses d'eau en présence	Masses d'eau souterraines	La zone de projet repose en partie sur la masse d'eau souterraine FRDG107 « Calcaires crétacés des chaînes de l'Estaque, Nerthe et Etoile ». Cette masse d'eau est en bon état (quantitatif et chimique) depuis 2015.	Nul
	Masses d'eau superficielles	Aucune masse d'eau superficielle recensée par le SDAGE n'est directement impactée par le projet.	Nul
	Masses d'eau côtières	Le projet est en partie concerné par la masse d'eau côtière FRDC05 « Côte Bleue ». Cette masse d'eau présente un bon état chimique depuis 2015 mais l'objectif d'atteinte du bon état écologique a été repoussé à 2027 notamment du fait angiospermes liés aux activités humaines. Un objectif moins strict a donc été visé à l'échéance 2027 L'eau de baignade est jugée d'excellente qualité. La masse d'eau est fortement fréquentée, principalement en saison estivale.	Fort
Milieu naturel	Espaces naturels sensibles	Présence d'espaces naturels sensibles sur ou à proximité de la zone d'étude : 1 site classé à proximité ; 5 ZNIEFF dont une au droit du projet (la ZNIEFF marine de type I « Du Rouet à Niolon ») ; 5 sites Natura 2000 dont un au droit du projet (la ZSC « Côte Bleue marine ») ; le Parc Marin de la Côte Bleue avec deux zones marines protégées mais la zone du projet est en dehors de ces deux zones.	Moyen
	Habitats/Faune/Flore	L'état de conservation globale de l'herbier de Posidonie au niveau de la ZSC « Côte Bleue marine » est jugé bon mais l'espèce est fragile et protégée (premiers herbiers situés à plus de 100 m au Sud du port et à plus de 200 m au Sud-Est de la base nautique). Une nurserie d'oursins comestibles a été observée au sud du port du Rouet, à au moins 50 m de la zone d'emprise des travaux.	Fort

Légende :

Enjeu nul à négligeable

Enjeu faible

Enjeu moyen

Enjeu fort

Annexe 11 : tableau de synthèse des incidences et mesures associées

Thématiques		Phase du projet	Nature des incidences	Niveau des incidences	Mesures	Incidences résiduelles en phase exploitation
Milieu physique	Climat et atmosphère	Phase travaux	- Aucune incidence directe ou indirecte sur le climat - Emissions de gaz polluants par les véhicules et engins de chantier	Faibles	- Mesures destinées à limiter les émissions atmosphériques : engins entretenus, bon réglage des moteurs, limitation du nombre d'engins fonctionnant simultanément sur le site, utilisation de gasoil conforme sur la teneur en soufre, extinction des moteurs lorsque les engins ne sont pas utilisés, etc. - Mise en place d'un chantier vert (charte environnementale, plan anti-pollution, SOGED, etc.)	-
		Phase exploitation	- Aucune incidence directe ou indirecte sur le climat et l'atmosphère	Nulles	- Aucune mesure spécifique	Nulles
	Sols et sous-sols	Phase travaux	- Aucune incidence directe sur les sols et les sous-sols car le projet est principalement marin - Faibles incidences indirectes liées aux risques de pollutions chroniques et accidentelles	Faibles	- Délimitation des aires de chantier - Utilisation de véhicules et d'engins entretenus régulièrement - Récupération et stockage des déchets de chantier dans des contenants étanches et adaptés avant évacuation vers les filières agréées - Installations sanitaires temporaires si nécessaire - Arrêt des travaux en période de fortes pluies - Présence de matériel permettant de faire face à un accident ou incident (matériaux absorbants, sacs poubelles, barrages flottants, kits anti-pollution, etc.) - Evacuation des installations et matériels, nettoyage du site en fin de travaux - Réalisation de contrôles par le Maître d'Ouvrage ou son représentant durant toute la durée des travaux	-
		Phase exploitation	- Aucune incidence directe ou indirecte sur les sols et les sols	Nulles	- Aucune mesure spécifique	Nulles
	Masses d'eau souterraines	Phase travaux et exploitation	- Aucune incidence directe ou indirecte sur les eaux souterraines car aucune interférence entre projet et masse d'eau	Nulles	- Aucune mesure spécifique	Nulles
	Masses d'eau superficielles	Phase travaux et exploitation	- Aucune incidence directe ou indirecte sur les eaux superficielles car absence d'enjeu (absence de masse d'eau superficielle)	Nulles	- Aucune mesure spécifique	Nulles
	Masses d'eau côtières	Phase travaux	- Modification de la courantologie	Négligeables	- Aucune mesure spécifique	-
			- Augmentation temporaire et localisée de la turbidité	Moyennes	- Mise en place d'un suivi de la turbidité pendant toute la durée des travaux. - Mise en place d'un barrage anti-MES permettant de confiner le panache turbide autour de l'atelier de travaux. - Mise à disposition d'un kit anti-pollution sur le chantier en cas de rejet accidentel d'hydrocarbures.	-
		Phase exploitation	- Aucune incidence directe ou indirecte sur les masses d'eau côtières - Modification de la courantologie de manière à retrouver une courantologie semblable à celle existante en milieu non artificialisé	Nulles	- Aucune mesure spécifique	Nulles
	Usages et usagers	Phase travaux	- Incidences directes faibles sur la pêche, la navigation et la plaisance, sur les activités du port, sur le tourisme et la baignade, sur les activités du centre de voile - Incidences indirectes faibles sur les usagers liés au bruit et à l'émission dans l'air de gaz d'échappement et de poussières	Faibles	- Adaptation du planning des travaux : réalisation des travaux en dehors de la saison estivale ; période de forte fréquentation - Délimitation et balisage des aires de chantier pour éviter tout risque d'accident des usagers - Véhicules et engins de chantier aux normes en termes d'émissions sonores et d'émissions de particules	-
Phase exploitation		- Incidences directes positives sur les conditions de navigation dans la zone (réduction de l'ensablement dans le port et dans la base nautique) - Incidences directes positives sur l'espace de baignade (dépose de l'épi central) - Bilan artificialisation/désartificialisation	Positives	- Aucune mesure spécifique	Positives	

Thématiques		Phase du projet	Nature des incidences	Niveau des incidences	Mesures	Incidences résiduelles en phase exploitation
			du site est positif en faveur de la désartificialisation			
Milieu naturel	Zones de protection et de gestion Faune/Flore marines	Phase travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de remise en suspension de MES dans la colonne d'eau - Impact à prévoir sur la photosynthèse. - Présence possible d'espèces invasives sur les enrochements des ouvrages - Perte d'habitats suite au retrait des enrochements 	Moyennes	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'un suivi de la turbidité pendant toute la durée des travaux. - Mise en place d'un barrage anti-MES permettant de confiner le panache turbide autour de l'atelier de travaux. - Mise à disposition d'un kit anti-pollution sur le chantier en cas de rejet accidentel d'hydrocarbures. - Inspection visuelle réalisée sous l'eau de chaque enrochement qui sera réutilisé en vue de vérifier la présence ou non d'espèces invasives. En cas d'espèces invasives, une mesure d'évitement sera mise en place pour éviter leur propagation. - Mesure d'accompagnement : installation d'habitats artificiels au sein de l'ouvrage construit permettant aux juvéniles d'y trouver refuge 	-
			<ul style="list-style-type: none"> - Dérangement sonore d'espèces à enjeux écologiques : Les travaux ne sont pas de nature à engendrer de nuisances sonores sous-marines fortes pouvant être perçues par les espèces potentiellement présentes au large du littoral de Carry-le-Rouet, comme les Cétacés et les tortues marines qui de plus sont rares dans les eaux de la côte bleue. 	Négligeables	- Aucune mesure spécifique	-
		Phase exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune incidence directe ou indirecte sur le milieu naturel 	Nulles	- Aucune mesure spécifique	Nulles
			<ul style="list-style-type: none"> - Installation d'habitats artificiels 	Positives	Suivi scientifique de la colonisation des habitats artificiels installés au sein de l'ouvrage	Positives

Légende

Incidence nulle à négligeable

Incidence faible

Incidence moyenne

Incidence forte

Incidence positive