

NOTE DE CADRAGE

IMMERSION DE RECIFS ARTIFICIELS AU DROIT DE LA COMMUNE DE FOS-SUR-MER

29 avril 2025

Informations relatives au document

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Auteur(s)	Eloïse FAURE
Fonction	Ingénieure en environnement marin
Volume du document	Note de cadrage
Version	V1

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Vérifié par
V1	19/03/2025	Eloïse FAURE	Mathieu LAPINSKI Xavier DOLBEAU

Ce projet a pour ambition d'immerger des modules de récifs artificiels, de petite taille, au droit de la commune de Fos-Sur-Mer dans le Golfe de Fos. Ce projet de Recherche et Développement a pour objectif d'étudier la réhabilitation de deux fonctions écologiques majeures : la production, par la création de nouveaux habitats de substrats durs, de petits fonds rocheux diversifiés, ainsi que le repeuplement par la réhabilitation des fonctions de nurserie pour favoriser la croissance des juvéniles. Par ailleurs, ce projet s'inscrit dans le contrat de Baie de la Métropole et le STERE dans un objectif de recherche et d'innovation afin d'étudier des actions de régénération active dans le Golfe de Fos, basées sur la conception et l'immersion de récifs artificiels de nouvelle génération.

SOMMAIRE

1 - IDENTIFICATION DU DEMANDEUR	10
1.1 - Maître d'ouvrage	10
1.2 - Parties prenantes principales	10
2 - INTRODUCTION	11
2.1 - Présentation du projet	11
2.1.1 - Contexte	11
2.1.1.1 - Golfe de Fos : un golfe historiquement sous pression mais impliqué dans les actions de restauration active	11
2.1.1.1 - Vers le développement de nouvelles solutions de restauration active en zone de concession portuaire et milieu urbanisé.....	14
2.1.2 - Objectifs principaux : expérimentation d'une technique de reproduction d'habitats naturels pour la conception et le déploiement de récifs artificiels de nouvelle génération	15
2.1.3 - Localisation géographique.....	17
2.1.4 - Etudes préalables.....	18
2.1.4.1 - Etude de faisabilité	18
2.1.4.2 - Etude techniques et de conception.....	18
3 - ETAT INITIAL ET SENSIBILITE ENVIRONNEMENTALE DE LA ZONE DU PROJET.....	20
3.1 - Etat initial du milieu physique.....	20
3.1.1 - Vents.....	20
3.1.2 - Marées	20
3.1.1 - Houles.....	20
3.1.2 - Courantologie	20
3.1.3 - Géomorphologie.....	22
3.1.3.1 - Bathymétrie.....	22
3.1.3.2 - Géologie.....	22
3.1.3.3 - Sédiment et granulométrie	23
3.1.4 - Schéma hydrologique du Golfe de Fos	23
3.1.5 - Qualité de la masse d'eau côtière FRDC04	24
3.1.5.1 - Turbidité et sédimentation.....	25
3.2 - Etat initial du milieu naturel.....	27
3.2.1 - Les Habitats marins et côtiers.....	27
3.2.2 - Espèces observées	29
3.2.3 - Zonages environnementaux et réglementaires	30
3.2.3.1 - Sites Natura 2000	31
3.2.3.2 - Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF)	33
3.3 - Etat initial du paysage sous-marin.....	34
3.4 - Etat initial du milieu humain	35
3.4.1 - Contexte socio-économique	35
3.4.1.1 - Pêche professionnelle	35

3.4.1.2 - Pêche de loisir.....	36
3.4.1.3 - Navigation plaisance.....	36
3.4.1.4 - Plongée sous-marine	36
3.4.1.5 - Activités de voile et de glisse.....	36
3.4.1.6 - Avis des usagers de la mer et défense de l'environnement sur le projet	36
3.4.2 - Risque industriel et rejets.....	36
3.5 - Synthèse de l'état initial	38
4 - DESCRIPTION DU PROJET.....	40
4.1 - Présentation des zones pressenties	40
4.1.1 - Présentation du secteur E : proximité de l'herbier.....	41
4.1.1.1 - Avantages et particularités de la zone	41
4.1.1.2 - Contraintes de la zone	42
4.1.2 - Présentation du secteur A : contre de la digue.....	42
4.1.2.1 - Avantages et particularités de la zone	42
4.1.2.2 - Contraintes de la zone	42
4.2 - Synthèse des différentes options d'aménagement.....	43
4.2.1 - Scénarios d'aménagement pour la zone A	43
4.2.1.1 - Scénario 1 - A	43
4.2.1.2 - Scénario 2 - A	44
4.2.1 - Scénarios d'aménagement pour la zone E.....	45
4.2.1.1 - Scénario 1 - E	45
4.2.1.2 - Scénario 2 - E	46
4.2.2 - Synthèse des options selon le secteur.....	46
4.3 - Caractéristiques techniques des récifs artificiels.....	47
4.3.1 - Dimensionnement des modules.....	47
4.3.1.1 - Caractéristiques des récifs artificiels.....	47
4.3.1.2 - Fonctionnalités des modules.....	48
4.3.1.3 - Matériaux employés.....	48
4.3.1.4 - Modules et problématique sédimentaire	49
4.3.1.5 - Organisation des modules en « village »	50
4.3.1.6 - Types d'ancrages.....	50
4.3.2 - Phase de conception	53
4.3.2.1 - Analyse photogrammétrique	53
4.3.2.2 - Conception du récif 3D.....	55
4.3.2.3 - Conception du rocher	56
4.3.2.4 - Décomposition du récif	56
4.3.2.1 - Etude hydrodynamique et de stabilité.....	59
4.3.2.2 - Analyse de biocompatibilité des matériaux en laboratoire.....	64
4.3.2.3 - Production locale	64
4.3.3 - Phase de travaux.....	64
4.3.3.1 - Modalité de transport, livraison et de stockage	64
4.3.3.2 - Acheminement sur zone et immersion.....	65
4.3.4 - Phase d'exploitation et suivi post-immersion	67

4.3.5 - Phase de démantèlement.....	68
4.4 - Calendrier et budget prévisionnels.....	68
5 - IMPACTS PREVISIBLES DU PROJET.....	70
5.1 - Impacts potentiels du projet.....	70
5.1.1 - Milieu physique.....	70
5.1.1.1 - Phase travaux.....	70
5.1.1.2 - Phase d'exploitation.....	70
5.1.1.3 - Phase de démantèlement.....	70
5.1.2 - Milieu naturel.....	71
5.1.2.1 - Phase travaux.....	71
5.1.2.2 - Phase d'exploitation.....	71
5.1.2.3 - Phase de démantèlement.....	72
5.1.3 - Milieu humain.....	72
5.1.3.1 - Phase travaux.....	72
5.1.3.2 - Phase d'exploitation.....	72
5.1.3.3 - Phase de démantèlement.....	73
5.1.4 - Synthèses des incidences.....	73
5.2 - Analyse des impacts cumulés.....	73
5.3 - Synthèses des impacts sur le milieu et les activités anthropiques.....	74
6 - PRECONISATION DES MESURES ERC-AS.....	75
6.1 - mesures d'évitement.....	75
6.2 - mesures de réduction.....	75
6.3 - Mesures de compensation.....	75
6.4 - Mesures d'accompagnement et de suivi.....	76
7 - CADRAGE JURIDIQUE.....	77
7.1 - Règlementation au titre du Code de l'environnement.....	77
7.1.1 - Projet soumis à déclaration au titre de la loi sur l'eau (IOTA) (art. R. 214-1).....	77
7.1.2 - Projet soumis à évaluation environnementale (R. 122-1 du CE).....	77
7.1.3 - Dérogation aux interdictions relatives aux espèces protégées (DEP).....	78
7.1.4 - Evaluation d'incidences Natura 2000.....	78
7.1.5 - Sites classés et inscrits au titre du code de l'environnement.....	79
7.1.6 - Permis d'immersion de déchets ou autres matières au titre de l'article L.21843 du code de l'environnement.....	79
7.1.7 - Enquêtes et consultation du publique (L.222-1).....	79
7.2 - Règlementation au titre du code Général de la Propriété des personnes publiques (CGPPP) (Annexe 3 circulaire 20 janvier 2012).....	80
7.2.1 - Concession d'utilisation du domaine public maritime (DPM) en dehors des ports.....	80
7.3 - Règlementation au titre de la sécurité et usages maritime.....	80
7.3.1 - Avis de la commission nautique locale ou de la grande commission nautique.....	80
7.4 - Règlementation au titre du code du patrimoine.....	81

7.4.1 - Règlementation aux abords du périmètre des monuments historiques	81
7.4.2 - Procédure relative à l'archéologie préventive	81
7.5 - Synthèse du cadre juridique	81
8 - COMPTABILITE AVEC LES DOCUMENTS DE PLANIFICATION.....	83
8.1.1 - Directive Cadre Stratégique Pour Le Milieu Marin (DCSMM)	83
8.1.1.1 - Document stratégique de façade (DSF).....	83
8.1.1.2 - Document stratégique pour la restauration écologique en Méditerranée	84
8.1.2 - Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE)	85
8.1.3 - Le Schémas territoriaux de restauration écologique	86
8.1.4 - Le contrat de baie et de transition de la Métropole Aix Marseille Provence.....	86
9 - AUTO-EVALUATION : JUSTIFICATION DE L'EXAMEN AU CAS PAR CAS....	87
9.1 - Arguments justifiant l'absence d'une évaluation environnementale complète	87
9.2 - Rappel des objectifs du projet et des limites de la restauration écologique	87
9.3 - Pertinence des mesures proposées.....	88
9.3.1 - Garantie des mesures proposées.....	88
9.3.2 - Facteurs de risque spécifiques à la zone	88
10 - BIBLIOGRAPHIE.....	89
11 - ANNEXES	90

FIGURES

Figure 1 : Le Golfe de Fos, une zone historiquement sous pression et sous surveillance	12
Figure 2 : Localisation du projet dans le Golfe de Fos-sur-Mer (Egis, 2025)	17
Figure 3 : Localisation des 10 zones d'implantation étudiées en 2023 lors d'une étude de faisabilité amont (Egis, 2025)	18
Figure 4 : Rose des houles Hm0/Dirp au point localise au large du Golfe De Fos (Globocean, 2023)	20
Figure 5 : Circulation des eaux dans le Golfe de Fos (Contrat de baie, 2019)	21
Figure 6 : Bathymétrie et localisation du projet (Egis, 2025)	22
Figure 7 : Carte géologique et des sédiments du secteur	23
Figure 8 : Réseau hydrographique du secteur d'étude (PLU Fos-sur-mer, TOME 2, Annexes 5.4.3. Assainissement Eaux pluviales, 2022)	24
Figure 9 : Qualité générale des eaux côtières de la masse d'eau FRDC04 (Atlas De Synthèse	25
Figure 10 : Localisation des stations de suivi de la turbidité et de la sédimentation (P2A Développement)	26
Figure 11 : Évolution de la turbidité moyenne et de la vitesse du vent au cours du temps (P2A Développement)	26
Figure 12 : Localisation des différents substrats du Golfe de Fos (Egis, 2025)	28
Figure 13 : Illustration des herbiers de posidonies (gauche) et de la matte morte observée (P2A Développement)	29
Figure 14 : Localisation des espaces protégés dans le Golfe de Fos	31
Figure 15 : Localisation des sites Natura 2000 à proximité du projet	32
Figure 16 : Localisation des zones de servitudes du terminal méthanier de la société elengy	37
Figure 17 : Localisation des deux zones retenues pour l'immersion des récifs (Egis, 2025)	40
Figure 18 : Scénario 1 de la zone A avec 25 unités (Egis, 2025)	43
Figure 19 : Scénario 2 de la zone A avec 50 unités (Egis, 2025)	44
Figure 20 : Scénario 1 de la zone 5 avec 25 unités (Egis, 2025)	45
Figure 21 : Scénario 2 de la zone 5 avec 50 unités (Egis, 2025)	46
Figure 22 : Design des récifs en cours	47
Figure 23 : Récif autolest au moment de la pose (à T0) et après mouvement sédimentaire éventuel (à T1)	50
Figure 24 : Récif crampons au moment de la pose (à T0) et après mouvement sédimentaire éventuel (à T1)	51
Figure 25 : Récif micro-pieu au moment de la pose (à T0) et après mouvement sédimentaire éventuel (à T1)	52
Figure 26 : Récif ancre à vis au moment de la pose (à T0) et après mouvement sédimentaire éventuel (à T1)	52
Figure 27 : Comparaison des différentes scenarios d'ancrage et leur emprise au sol Eventuelles à T0 et T1. L'objectif est de limiter l'emprise au sol à 1,2m2 par unité au maximum	53
Figure 28 : Carte des différents sites étudiés	54
Figure 30 : Schéma du premier traitement de données, construisant un nuage de points dans un espace 3d	54
Figure 31 : Schéma de la construction d'un modèle d'élévation et d'une orthophoto	55
Figure 32 : Dimensions du récif	56
Figure 33 : Rague traversante (en rouge) au sein du récif (enveloppe en vert)	56
Figure 34 : Renforcements sur le récif artificiel (A) inspirés d'un renforcement observé sur un récif naturel (B)	57
Figure 35 : Failles modélisées (A et B) inspirées de failles observées sur un récif naturel (C)	57
Figure 36 : Zone de répartition des cavités moyennes sur la surface du récif	58
Figure 37 : Zone de répartition des petites cavités sur la surface du récif	58
Figure 38 : Processus de design bioinspiré en cours de réalisation	59

Figure 39 : Localisation des points de données Candhis disponibles pour l'analyse de la houle	60
Figure 40 : Données Preliminaires de la houle pour le calcul hydrodynamique	61
Figure 41 : Schéma de décroissance de la vitesse de courant en fonction de la profondeur	61
Figure 42 : Formules utiliséEs pour le calcul des forces hydrodynamiques	62
Figure 42 : Modèle reel et considéré dans le calcul hydrodynamique.....	62
Figure 44 : schema de synthèse de l'analyse de stabilité	63
Figure 45 : Tableau de résultats préliminaires du calcul de stabilité suivant les cas d'ancrage.....	63
Figure 46 : Logistique de stockage des récifs au port de Napoléon (zone rouge : lieu de stockage des récifs, trait bleu : transport des récifs jusqu'à la zone de grutage, zone verte : mise à l'eau des récifs par la grue 4 m de tirant d'eau disponible)	65
Figure 47 : Photo 1 Remorquage de récifs artificiels dans le lagon de Tahiti (© projet P2A Développement). Photo 2 Remorquage de récifs artificiels et vue sous-marine avec des ballons de levage (© projet P2A Développement).....	66
Figure 48 : Mise à l'eau de récif depuis une barge lourde au Cap d'Agde pour le déploiement de 32 lests de balisage écoconçus par crochet autolargable(© SEABOOST, 2019)	66

TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des valeurs de turbidité.....	27
Tableau 2 : Statut et état des espèces remarquables observées dans la zone d'étude	28
Tableau 3 : Liste des espèces observées (P2A développement, 2023).....	29
Tableau 4 : Synthèse des enjeux de l'état initial.....	38
Tableau 5 : Grille de notation pour le choix de la zone d'implantation (P2a Développement)	41
Tableau 6 : Caractéristiques de la zone E.....	41
Tableau 7 : Caractéristiques de la zone A.....	41
Tableau 8 : Synthèse des scénarios selon la zone sélectionnée	46
Tableau 9 : Synthèses des paramètres géométriques des récifs	47
Tableau 10 : Illustration des 4 matériaux pré-sélectionnés et envoyés en laboratoire au T1 2025. A. CYbe B. Vicat C. Lafrage-Holcim D. D Shape.....	49
Tableau 11 : Localisation des sites de prospection.....	54
Tableau 12 : Composantes du suivi scientifique par objectif de récif (Préfet de la région Provence-Alpes- Côte d'Azur et al., 2012).....	67
Tableau 13 : Phasage et coût du projet.....	68
Tableau 14 : Calendrier prévisionnel de la première phase.....	69
Tableau 24 : Synthèse des incidences du projet sur le milieu environnant	73
Tableau 15 : Synthèse des impacts du projet sur le milieu et les activités anthropiques.....	74
Tableau 16 : Rubriques définies à l'article R.214-1 du code de l'environnement au titre de la loi sur l'eau et lien avec le projet.....	77
Tableau 17 : Rubriques de la nomenclature des projets soumis à évaluation environnementale concernées par le projet.....	77
Tableau 18 : Espèces protégées présentes à proximité du projet	78
Tableau 19 : Annexe 3 de la circulaire du 20/01/2012 répertoriant les titres envisageables et leurs marges d'application, en fonction des types d'occupation du domaine public maritime prévu par le projet.	80
Tableau 20 : Synthèse des rubriques du DSF concernant le projet.....	84
Tableau 21 : Synthèse des orientations fondamentales du SDAGE 2022-2027	85
Tableau 22 : Synthèse des mesures spécifiques prévues par le SDAGE pour la masse d'eau FRDC04.....	85
Tableau 23 : Contrat de baie-transition 2023-2024 (tome 1)	86

1 - IDENTIFICATION DU DEMANDEUR

1.1 - MAITRE D'OUVRAGE

DENOMINATION	Commune de Fos-sur-Mer
RAISON SOCIALE	Commune
N°SIRET	211 300 397 000 18
TYPE DE SOCIETE (SA,SCO...)	Administration publique générale - Collectivité
REPRESENTANT DE LA PERSONNE MORALE (NOM PRENOMS)	RAIMONDI René, Maire de Fos-sur-Mer

1.2 - PARTIES PRENANTES PRINCIPALES

Les parties prenantes et financeurs du projet sont les suivantes :

- Commune de de Fos-sur-Mer
- Seaboost

Co-financeurs potentiels

- L'Agence de l'Eau RMC ;
- Le Conseil Départemental des Bouches-du-Rhône (CD 13) ;
- Le Conseil Régional PACA.

2 - INTRODUCTION

2.1 - PRESENTATION DU PROJET

2.1.1 - CONTEXTE

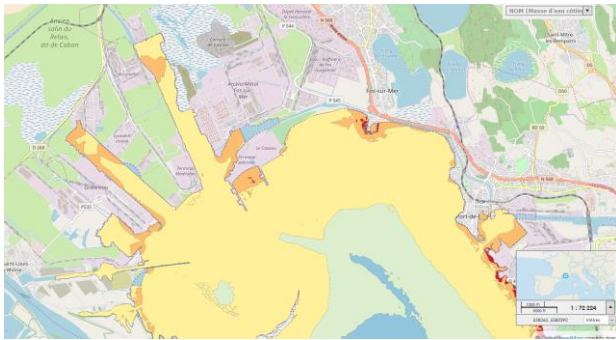
2.1.1.1 - Golfe de Fos : un golfe historiquement sous pression mais impliqué dans les actions de restauration active

Localisé entre la flèche sableuse de la Gracieuse et la côte rocheuse de la Côte bleue, le Golfe de Fos est le siège d'une activité anthropique historique. Ancienne zone marchandes et nautiques antiques, sa côte a été façonnée au cours du temps par le développement urbain du linéaire côtier des communes de Fos-sur-Mer, Port-de-Bouc ou encore Martigues. Depuis 1960, c'est l'activité industrialo-portuaire qui rythme la vie du Golfe de Fos-sur-Mer. Ce dernier a par ailleurs été artificiellement agrandi au cours du temps dans cet objectif avec le creusement de différentes darses dans son secteur ouest là où aujourd'hui s'articule une partie des activités du Grand Port Maritime de Marseille. Il représente un des plus grands ports commerciaux français, comprenant une zone d'activité industrielle intense et diversifiée : sidérurgies, pétrochimie, raffineries, incinérateurs de déchets, terminaux méthaniers, centrales thermiques... Plus récemment, la zone s'est spécialisée dans le fret et la logistique de containers.

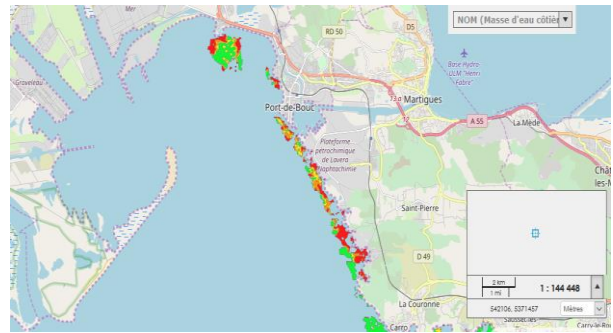
Localisé entre l'Étang de Berre et l'embouchure Rhône, Le Golfe de Fos est soumis aux intrants de masses d'eaux douces parfois contaminées par certaines molécules et aux activités anthropiques locales liées à diverses pressions telles que le mouillage, les rejets urbains des stations d'épuration et du réseau pluvial, le dragage et le clapage, les rejets industriels, chloration, pollution accidentelle... À Fos-sur-Mer, les installations chimiques, pétrochimiques et sidérurgiques s'étendent par exemple sur 10 000 hectares et représentent 20 % des émissions industrielles de la France.

De nombreuses données institutionnelles associées à des réseaux de surveillance intégrant les bassins ouest du GPMM (IMPACT, SURFSTAT, CARLIT et MOUILLAGE, MEDAM, Bulletin de la Surveillance de la Qualité du Milieu Marin Littoral...) sont disponibles et attestent des pressions historiques sur la zone d'études.

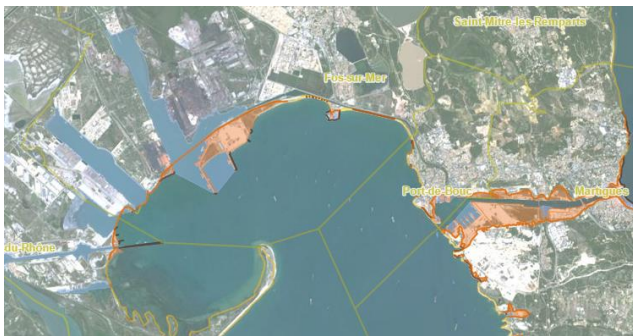
Réseau IMPACT - Modélisation des pressions anthropiques côtières et des seuils de vulnérabilité



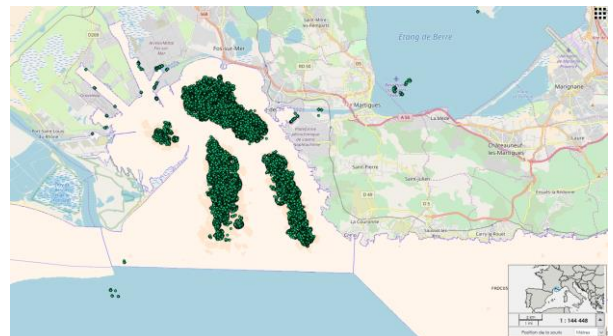
Réseau SURFSTAT – Evolution de l’herbier de posidonie



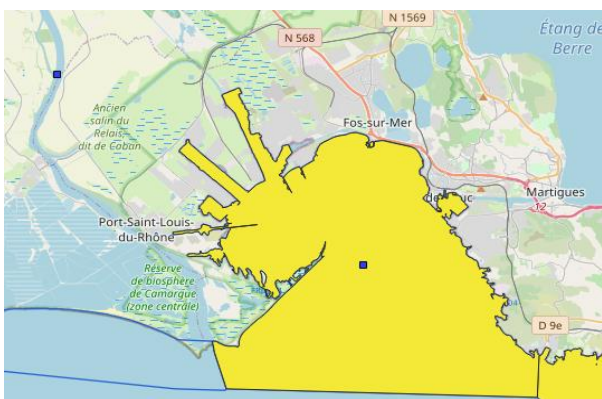
Réseau MEDAM - l’inventaire des aménagements gagnés sur la mer



Réseau Mouillage - l’inventaire des pressions de mouillages des grands navires



Réseau Littomed - Suivi de qualité des eaux côtières



Réseau Carlit - Evaluation de l’état écologique du littoral rocheux méditerranéen

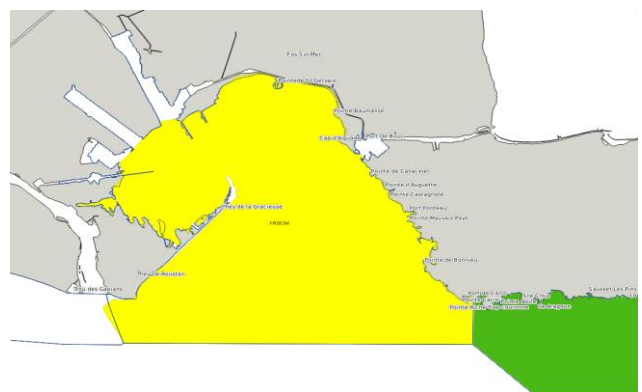


FIGURE 1 : LE GOLFE DE FOS, UNE ZONE HISTORIQUEMENT SOUS PRESSION ET SOUS SURVEILLANCE

Si l’écologie urbaine en milieu aquatique constitue une discipline scientifique relativement récente et rarement prise en compte dans les stratégies de gestion des espaces urbains et portuaires, le littoral de Fos-sur-Mer et les bassins Ouest du GPM sont pourtant associés à différentes opérations majeures depuis 2014. Il s’agit du programme de R&D GIREL et du programme de surveillance RESPIRE.

■ Programme GIREL (2012 – 2014)

GIREL est un programme de Recherche et Développement portant sur la Gestion des Infrastructures pour la Réhabilitation Ecologique du Littoral soutenu par l'AERMC. Différents pilotes multithématiques ont été menés dans l'objectif d'étudier la capacité technique à retrouver dans l'enceinte du Grand Port Maritime de Marseille, sur les sites de Fos et de Marseille, différentes fonctionnalités écologiques perdues.

Sur les bassins Ouest, le pilote Ecorécifs (Egis/Seaboost) a en partie été mené dans le bassin Gloria. Ce dernier ciblait le développement de la fonction de nurserie pour les poissons via l'immersion de deux typologies de solutions biomimétique : l'Oursin et la Roselière. A noter que ces solutions sont toujours en place et opérationnelles depuis près de 10 ans.

■ Programme de surveillance RESPIRE (2015 à ce jour)

RESPIRE est un réseau de surveillance pour le suivi spatio-temporelle du recrutement larvaire sur la côte méditerranéenne. S'appuyant sur la Directive Cadre européenne « Stratégie pour le milieu marin » (DCSMM), et sa volonté d'atteindre le « bon état écologique » de l'ensemble des eaux marines, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC). Port-Saint-Louis du Rhône est un des 23 sites suivis depuis 2015 à ce jour. Le suivi s'opère sur les digues ainsi que sous des pontons équipés de nurseries artificielles en gabions type Biohuts (Ecocéan).

Ces projets ont permis de considérablement améliorer les connaissances sur la capacité des ouvrages portuaires à remplir des fonctionnalités écologiques pour la faune et la flore marine via l'application d'une démarche innovante d'ingénierie écologique des ouvrages auparavant jamais testée à grande échelle. Ciblent spécifiquement la fonction de nurserie pour les poissons (accueil et protection des juvéniles contre la prédation), ils ont permis de contribuer à démontrer au travers de différentes communications scientifiques (Bouchoucha *et al.*, 2016 ; Lapinski *et al.*, 2017 ; Mercader *et al.*, 2017) l'intérêt de complexifier la structure tridimensionnelle des ouvrages techniques telles que les digues, les pontons ou les quais pour les premières phases du cycle de vie des poissons. La création de nurseries artificielles dans les premiers mètres de la colonne d'eau (depuis la surface jusqu'à - 4 m) via différentes techniques (oursins diadème, herbiers artificiels, gabions coquilliers) permet en effet d'augmenter tant la diversité que les densités de juvéniles le long d'un linéaire côtier artificialisé donné en exploitation.

Plus récemment, et toujours dans une optique de contribuer à la restauration écologique du milieu, la ville de Fos-sur-Mer a entrepris l'installation des nurseries artificielles dans le port de Saint-Gervais soit 25 biohuts sur 20 pontons et 5 digues.

Ces différentes actions d'ingénierie écologique font du Golfe de Fos et des structures portuaires associées un lieu historique du développement de solutions de restauration en Méditerranée française.

C'est dans ce contexte que la ville de Fos-sur-Mer opère une démarche proactive visant à protéger et restaurer les fonctionnalités écologiques du milieu marin au droit de sa commune dans le Golfe de Fos. Afin de répondre aux pressions anthropiques ayant affecté l'écosystème marin de sa partie du Golfe, la commune envisage la mise en place de récifs artificiels à visée écologique et de recherche. Ces infrastructures permettront de réhabiliter les fonctions écologiques perdues de l'herbier de *Posidonia oceanica* et de la roche infralittorale à algues photophiles, avec un accent particulier sur leur fonction d'habitat et de nourricerie.

En outre, ce projet s'inscrit dans le cadre du contrat de baie de la Métropole Aix-Marseille-Provence, en collaboration avec l'Agence de l'eau RMC (Rhône-Méditerranée-Corse).

2.1.1.1 - Vers le développement de nouvelles solutions de restauration active en zone de concession portuaire et milieu urbanisé

La loi européenne sur la restauration de la nature constitue l'un des piliers du pacte vert pour l'Europe. **Le texte prévoit la restauration de 20% au moins des terres et des mers de l'Union européenne (UE) d'ici à 2030 et de tous les écosystèmes dégradés d'ici à 2050.**

En 2019, la Direction interrégionale de la Mer Méditerranée a édité un document stratégique pour la restauration écologique en Méditerranée qui s'inscrit notamment dans la mise en œuvre du Plan d'action pour le milieu marin.

Ce dernier indique que si les initiatives en faveur de la reconquête de la biodiversité en mer se sont multipliées à compter des années 2010, le caractère expérimental de l'ensemble des opérations aujourd'hui déployées demande une intégration plus forte de la restauration écologique dans l'ensemble des politiques existantes de non dégradation et de gestion des usages en mer et sur le littoral.

La Société pour la Restauration Ecologique définit la restauration écologique comme étant "le processus d'assister la régénération d'un écosystème qui a été endommagé, dégradé ou détruit".

Les programmes DRIVER menés depuis 2015 sous l'impulsion de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse ont permis de préciser : "La restauration écologique se définit comme une action sur l'habitat marin, la faune ou la flore, permettant d'améliorer le fonctionnement écologique, dans une zone côtière où la qualité de l'eau est bonne et où les pressions à l'origine de la dégradation ont disparu ou sont maîtrisées."

Se distingue les opérations de restauration passive (mise en gestion et protection) des opérations actives (impliquant la transplantation d'espèces prioritaires ou l'immersion d'habitats artificiels).

Les habitats artificiels sont depuis 2019 principalement mis en œuvre au sein de zones de concessions portuaires par l'apport de microhabitats sur les quais et les digues ciblant les juvéniles de poissons à l'intérieur des ports dans les zones les plus protégées. L'axe 2.3.2 du document stratégique « *Consolider et soutenir les opérations expérimentales de restauration des habitats et nurseries naturelles* » en témoigne.

La mise en place de récifs artificiels en zone exposée, au sein de zones de concessions portuaires ou non, reste à ce jour limitée même si depuis les années 1960, de nombreuses implantations ont été réalisées en Méditerranée à l'initiative des collectivités publiques (ex : 30 000 m³ immergés dans la rade de Marseille en 2007). Suite à plusieurs années de suivi, des résultats positifs ont localement été observés sur des projets majeurs comme ceux des récifs du Prado ou de REXCOR. Ils témoignent de la possibilité à obtenir de bons résultats par la restauration active dans un contexte où la pression initiale est réduite (bien que toujours présente). Pour autant, ce même document, s'appuyant sur la stratégie régionale d'implantation de récifs artificiels en mer rappelle que l'implantation de récifs artificiels doit être raisonnée de façon à limiter l'artificialisation des littoraux. Les nouvelles technologies disponibles doivent donc permettre de répondre à ces principes de façon à proposer des solutions, notamment en termes de design, complexité architecturale, limitation d'utilisation de matières premières, biocompatibilité des matériaux et ce en adéquation avec les objectifs européens et nationaux en matière de restauration de la Nature.

Le projet s'inscrit dans un contexte d'un besoin de développement accru de la restauration écologique encouragées par les Objectifs du Développement Durable 2030 ainsi que les nouvelles mesures de restauration de la nature dans le cadre de la stratégie de l'UE en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030. Les méthodes de restauration et de réhabilitation totales ou partielles doivent nécessairement se diversifier et viser une opérationnalité à court/moyen terme. Les récifs artificiels sont décrits comme structures placées délibérément dans l'environnement aquatique qui servent d'habitats ou d'abris pour les organismes (Vivier et al., 2021). Ce type de restauration est catégorisée comme restauration active modérément assistée où un ou plusieurs substrats sont modifiés dans le récent rapport de sémantique proposé par l'UMS Patrinat (Laforge et al., 2024).

2.1.2 - OBJECTIFS PRINCIPAUX : EXPERIMENTATION D'UNE TECHNIQUE DE REPRODUCTION D'HABITATS NATURELS POUR LA CONCEPTION ET LE DEPLOIEMENT DE RECIFS ARTIFICIELS DE NOUVELLE GENERATION

Le présent projet vise à mettre en place et étudier des actions de régénération active dans le Golfe de Fos basées sur la conception et l'immersion de récifs artificiels de nouvelle génération.

Pour ce type de restauration, créer des récifs artificiels par impression 3D est une technique qui émerge dans le monde au regard des avantages qu'elle confère. Elle permet une conception et une personnalisation de formes géométriques complexes mimétique de l'environnement naturel avoisinant et adaptées aux besoins spécifiques des espèces ciblées tout en limitant la quantité de matière utilisée. Ces nouvelles technologies offrent des opportunités pour repenser l'ingénierie maritime et portuaire de demain à commencer par la thématique de l'installation raisonnée de récifs artificiels à vocation écologique.

Les récifs artificiels mis en place dans le Golfe de Fos ont pour objectif d'assister activement la régénération de composantes biotiques et abiotiques impactées par le passé de façon à proposer de nouveaux habitats sains et d'étudier la réhabilitation de certaines fonctionnalités écologiques dégradées.

Le présent projet s'articule autour de deux axes d'étude, le premier portant sur le biomimétisme des écosystèmes récréés, le second portant sur l'optimisation des matériaux utilisés.

- AXE 1 : BIOMIMETISME & OPTIMISATION DES DESIGNS
- AXE 2 : BIOCOMPATIBILITE ET OPTIMISATION DES MATERIAUX

Ces axes d'études se déclinent au travers 3 phases sur une durée prévisionnelle de projet estimée à 18 mois :

- Phase 1 - Etudes amonts : 8-12 mois
- Phase 2 - Fabrication, travaux et immersion : 4 mois
- Phase 3 - Suivi techniques et écologiques : 2 ans + suivis associés aux obligations réglementaires sur toute la durée de l'AOT avec un focus sur les 3 premières années (minima de 2 campagnes par an au printemps et en Automne).

L'objectif de ce projet est double. Il vise au travers d'une démarche volontariste du maître d'ouvrage à la fois des objectifs écologiques mais aussi de recherche et de développement à l'échelle de son territoire.

■ Objectif écologique

Le projet vise à développer de nouvelles solutions qui visent à protéger et **restaurer certaines fonctionnalités de l'écosystème marin du golfe de Fos** tout en le diversifiant, en mettant un accent particulier sur la **valorisation et le développement durable des ressources halieutiques** pour soutenir la pêche locale et artisanale. Il s'agit également de **réhabiliter des habitats marins clés historiquement dégradés**, tels que l'herbier de *Posidonia oceanica* et les petits fonds rocheux, fortement impactés par des aménagements portuaires et par les activités anthropiques et industrielles du secteur, tout en optimisant **les connexions écologiques** entre ces différents habitats.

L'objectif global est donc d'œuvrer à **réhabiliter les fonctionnalités écologiques du secteur** par la création de **nouveaux habitats bioinspirés par l'étude fine de roches naturelles locales** favorisant la sédentarisation des espèces et la croissance des poissons subadultes, et le **repeuplement**, en diminuant la mortalité des juvéniles grâce à des habitats adaptés, structurés et protecteurs. Le projet cible en effet plus particulièrement les fonctionnalités écologiques d'abris et de nurserie, associés aux herbiers à Posidonie ainsi qu'aux roches infralittorales à algues photophiles, reconnues pour leur biodiversité associée. En reliant ces habitats, il s'agit de contribuer à recréer un **corridor et une connectivité écologique** destinée à augmenter la biodiversité et la biomasse dans la zone.

■ Objectif de recherche

Ce projet s'inscrit dans une optique de recherche et de développement visant à étudier et expérimenter une nouvelle méthode de conception et de fabrication afin d'améliorer la réplique des petits fonds côtiers par le déploiement de structures optimisées et plus efficaces tant d'un point de vue technique qu'écologique. Cette nouvelle méthode de conception se caractérise notamment par une synthèse de la bibliographie mondiale en matière d'innovation, d'une étude de faisabilité amont comprenant une synthèse des connaissances dans le golfe de Fos-sur-Mer, une sélection des zones les plus adaptées pour accueillir l'expérimentation (ex : hors zone de pression), d'une étude par photogrammétrie 3D de roches naturelles de références situées le long de la Côte Bleue, d'analyse en laboratoire des matériaux employés ainsi que de développement de méthodes de dimensionnement et de travaux visant à pérenniser l'installation de solutions innovantes dans les petits fonds côtiers tout en limitant leur artificialisation. Cette analyse doit permettre de sélectionner le design, le matériau et la mise en œuvre les plus adéquats, durables et à faible impact pour l'immersion des récifs dans le Golfe de Fos et dans les futurs projets sur la façade Méditerranée.

Ce projet vise donc à concevoir et déployer de nouvelle génération de solutions *in situ*, afin d'en mesurer l'efficacité au terme d'un travail d'études et de suivis qui permettra de démontrer ou non les performances de ce type d'approche novatrice pour la prochaine décennie et les objectifs ambitieux de l'Etat et de l'Europe en matière de restauration et réhabilitation écologique.

2.1.3 - LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

La zone d'étude se situe dans la partie Nord du golfe de Fos-sur-Mer, ainsi que localisée sur la carte ci-après.

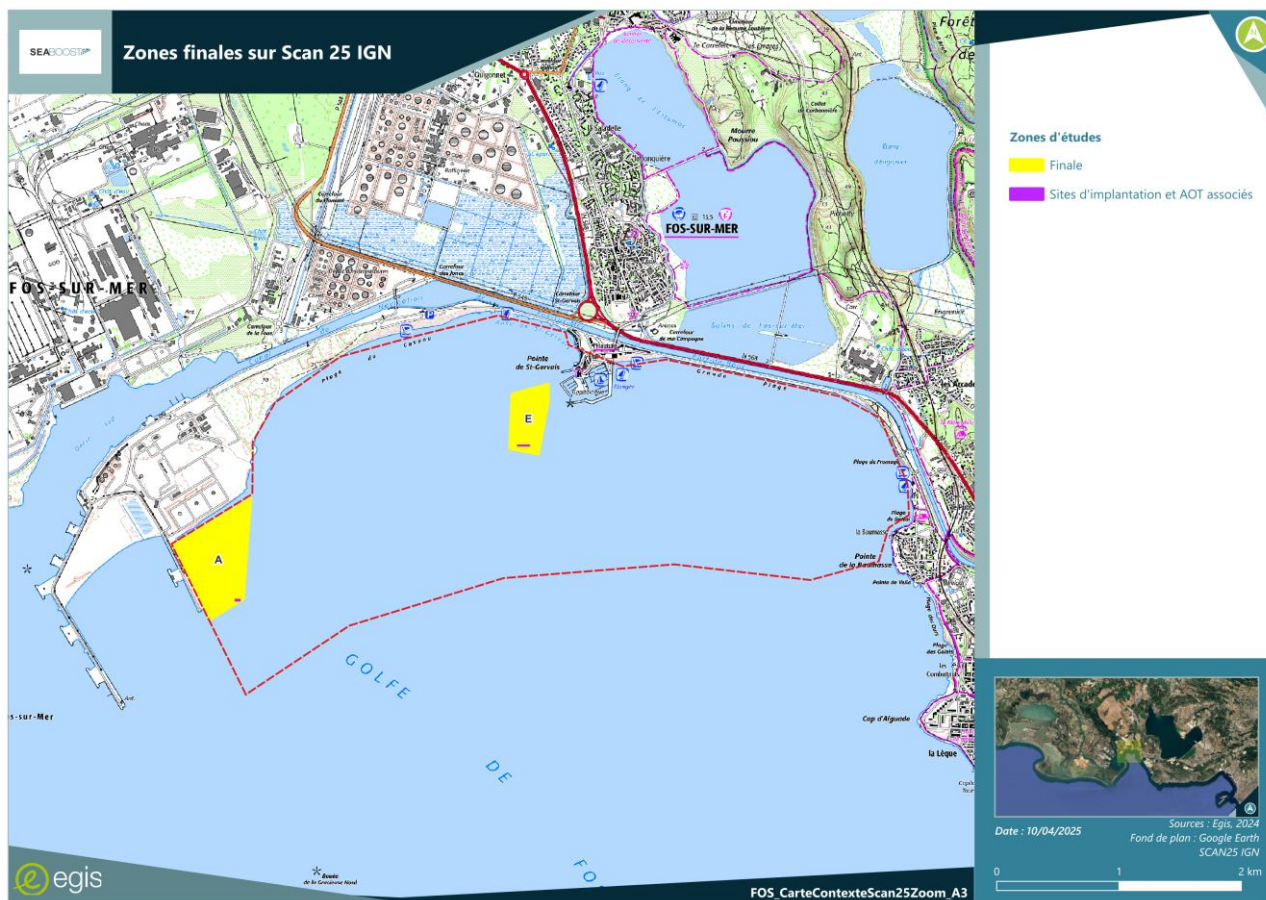


FIGURE 2 : LOCALISATION DU PROJET DANS LE GOLFE DE FOS-SUR-MER (EGIS, 2025)

Dans ce secteur, 10 zones ont été étudiées pour accueillir les futurs modules artificiels lors d'une étude de faisabilité technico-économique en 2023 (cf. Figure 2).

Les 10 zones ont fait l'objet d'une analyse multicritères, basée sur les paramètres suivants :

- **L'absence de pressions anthropiques** : remise en suspension, zone de mouillage du GPMM, zones de clapages des sédiments, usages spécifiques (glisse, plaisance, plongée sous-marine, etc.), présence d'entités archéologiques ;
- **La proximité avec des habitats marins remarquables** (roche à algues photophiles, herbier de *Posidonia oceanica*) et la possibilité de corridor écologique qui conditionne le succès de recrutement des juvéniles ;
- **Les paramètres physiques du milieu** : le type de substrat, la profondeur, la qualité du milieu.

Parmi ces zones, deux zones d'implantation prioritaires ont été retenues au regard des résultats : la zone A et E identifiées dans la carte ci-dessous et sont présentées plus en détail Partie 4.

A l'issu d'un comité technique, composé du Grand Port Maritime de Marseille, de la commune de Fos-Sur-Mer et des agents de Seaboost et Egis Environnement (14/01/25) et d'une plongée de reconnaissance (04/03/25), deux sous-zones ont été identifiées, par l'intermédiaire d'une analyse multicritères, en zone A et E (d'une surface de 0,1 à 0,4ha en proportion à la totalité des zones A et E), pour accueillir ces récifs et le pilote expérimental associé.

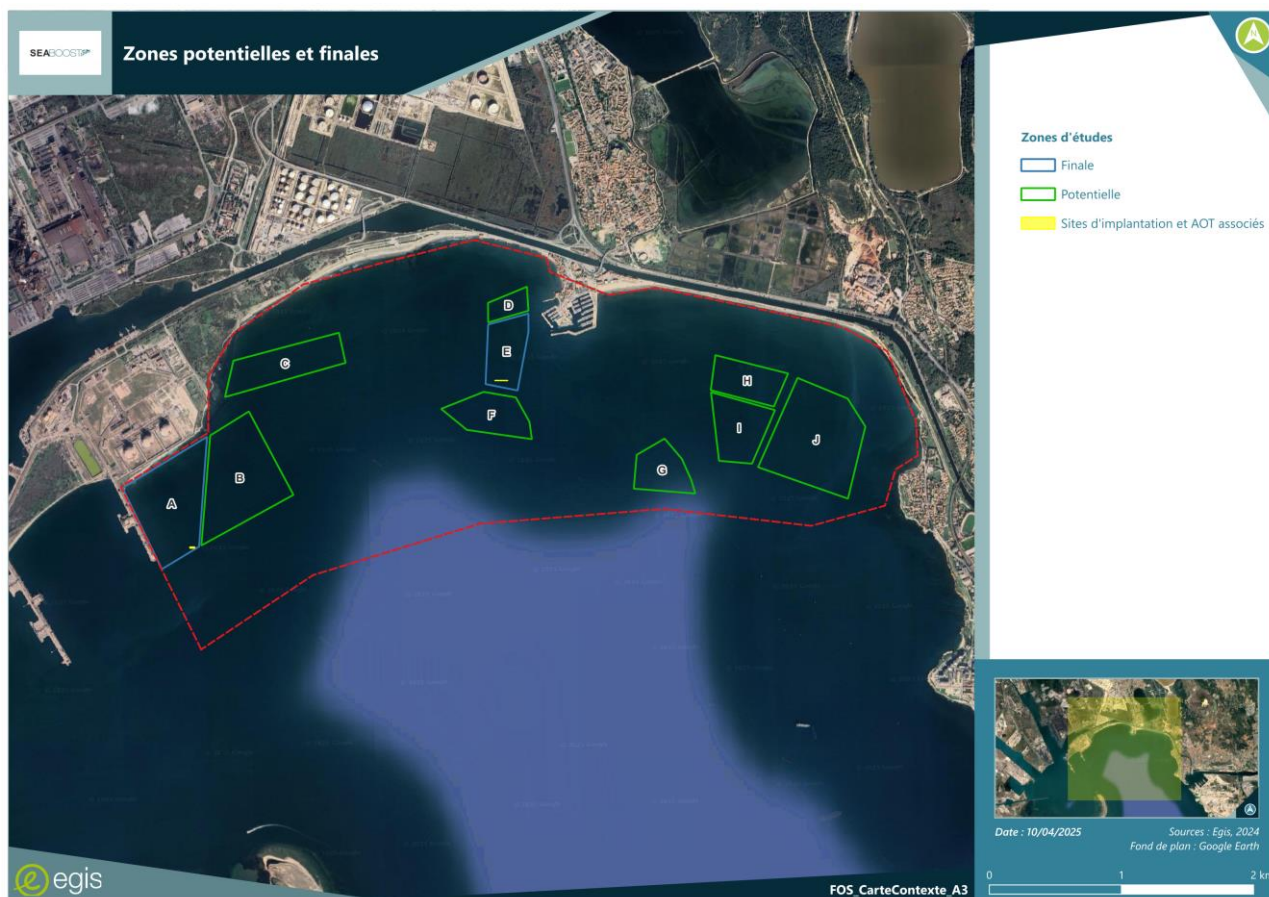


FIGURE 3 : LOCALISATION DES 10 ZONES D'IMPLANTATION ETUDIEES EN 2023 LORS D'UNE ETUDE DE FAISABILITE AMONT (EGIS, 2025)

2.1.4 - ETUDES PREALABLES

2.1.4.1 - Etude de faisabilité

Entre 2023 et 2024, une étude de faisabilité technique et financière du projet « Implantation des récifs artificiels dans le Golfe de Fos » a été menée par l'entreprise P2A Développement. Cette étude a permis de définir sur la base de données bibliographiques et de terrain, les sites d'implantation potentiels des futurs récifs. Ainsi, cette étude a permis de dresser un état initial de l'environnement marin grâce à des vérités terrain en plongée et de nouvelles analyses permettant de réaliser :

- Une évaluation de l'état des pressions sur le milieu et leur évolution au cours du temps
- Une évaluation EBQI de l'état de l'herbier de posidonie et de la roche infralittorale ;
- Une caractérisation des fonds de substrat meuble ;
- Une caractérisation de la présence de juvéniles ;
- Une analyse de la macrofaune benthique ;
- Une mesure de la qualité des sédiments ;
- Une concertation amont auprès des usagers.

2.1.4.2 - Etude techniques et de conception

En octobre 2024, la ville de Fos-sur-Mer et SEABOOST ont débuté un programme de R&D dédié à l'expérimentation d'une technique de reproduction d'habitats naturels pour la conception et le déploiement de récifs artificiels de nouvelles générations.

Le projet cible aujourd'hui la création d'un ouvrage expérimental en zone A et E associé à l'installation et au suivi d'une nouvelle solution co-développée dans le cadre du projet et intégrant un volet sur le biomimétisme et sur l'étude des matériaux dans des secteurs de surface plus petite (cf. § 4.2.2 - AOT demandées < 700 m² pour une emprise au sol maximale estimée à 60,5 m²) redéfinis en concertation avec les acteurs locaux tels que le GPMM, NaTran ou encore la prudhomie de pêche.

La définition d'une nouvelle solution s'articule autour de deux axes d'étude, le premier portant sur le biomimétisme des écosystèmes récréés, et le second portant sur l'optimisation des matériaux utilisés. Les études sont en cours et les principaux résultats sont décrits au § 4.3.2 -

- AXE 1 : Biomimétisme & optimisation des designs
- AXE 2 : biocompatibilité et optimisation des matériaux

En résumé, un premier volet se base sur une analyse photogrammétrique des récifs naturels de petits fonds rocheux de référence. Le site de référence de proximité sélectionné est celui de la Côte Bleue. Les plongées ont été réalisées fin novembre 2024 sur 6 stations de petits fonds rocheux historiquement suivies par le Parc marin pour étudier les communautés de poissons. Ainsi, 13 modèles photogrammétriques, entre -5m et -7m de profondeur, ont été réalisés. Ces photogrammétriques 3D ont permis par la suite des calculs sur ordinateur de métriques cibles. L'objectif du projet est de répliquer ces valeurs mathématiques pour le design des futurs modules artificiels s'inspirant de la complexité architecturale des roches naturelles avoisinantes et d'en étudier la colonisation.

En parallèle, des études de biocompatibilité des matériaux en laboratoire sont en cours afin de déterminer les matériaux adéquats pour la construction de ces récifs en privilégiant la technologie de l'impression 3D la plus même à même de se rapprocher des valeurs des métriques cibles. Pour cette étude, 4 matériaux de 4 entreprises différentes ont été retenus. Cette sélection s'est réalisée sur la base du Bilan carbone, de l'avancement R&D, de l'imprimabilité, du type de ciment, de la résistance du matériau, ainsi que des coûts impliqués. Cette étude conduit aux tests suivants :

- Tests laboratoire normalisés de biocompatibilité et lixiviation ;
- Tests innovants croissance et viabilité cellules animales et symbiontes végétaux anémones de Méditerranée.

L'ensemble des résultats de ces études sont présentés dans la partie concernant la description du projet.

Par ailleurs, des études complémentaires sont menées par Seabio en 2025 et portent sur les sujets suivants :

- Dimensionnement hydrodynamique ;
- Dimensionnement des ancrages ;
- Méthodes d'immersion ;
- Méthodes de suivi.

3 - ETAT INITIAL ET SENSIBILITE ENVIRONNEMENTALE DE LA ZONE DU PROJET

3.1 - ETAT INITIAL DU MILIEU PHYSIQUE

3.1.1 - VENTS

L'hydrodynamisme du Golfe de Fos est influencé par plusieurs régimes de vents : le mistral, qui chasse l'eau vers le large et génère l'érosion et l'évaporation ; le vent de sud et sud-est, responsable des fortes houles et tempêtes ; et le vent de sud-ouest (labech), également générateur de houles importantes.

3.1.2 - MAREES

Le régime marégraphique est microtidal semi-diurne, avec une amplitude modérée entre le niveau moyen et les extrêmes : la marée haute atteint en moyenne +0,71 m, et la marée basse descend à +0,27 m.

3.1.1 - HOULES

Le Golfe de Fos, exposé à des houles provenant principalement du sud, avec des vagues pouvant dépasser 6 mètres lors d'événements extrêmes, nécessite une étude approfondie des contraintes hydrodynamiques pour assurer la résistance et la durabilité des récifs artificiels, en particulier lors de tempêtes, en tenant compte des régimes de houle et des conditions locales.

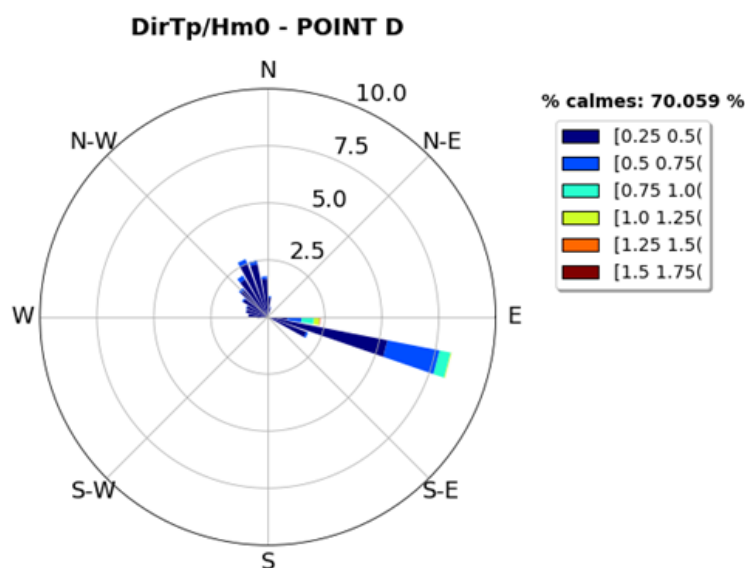


FIGURE 4 : ROSE DES HOULES HM0/DIRP AU POINT LOCALISE AU LARGE DU GOLFE DE FOS (GLOBOCEAN, 2023)

3.1.2 - COURANTOLOGIE

La circulation des eaux dans le golfe de Fos est influencée par trois principaux facteurs : le Courant Nord Méditerranéen, les eaux du Rhône, et les vents, avec des zones distinctes de renouvellement des eaux, où l'Anse de Carteau connaît un faible renouvellement dû à la protection des vents, tandis que l'est du golfe a un taux de renouvellement élevé selon les conditions météorologiques.

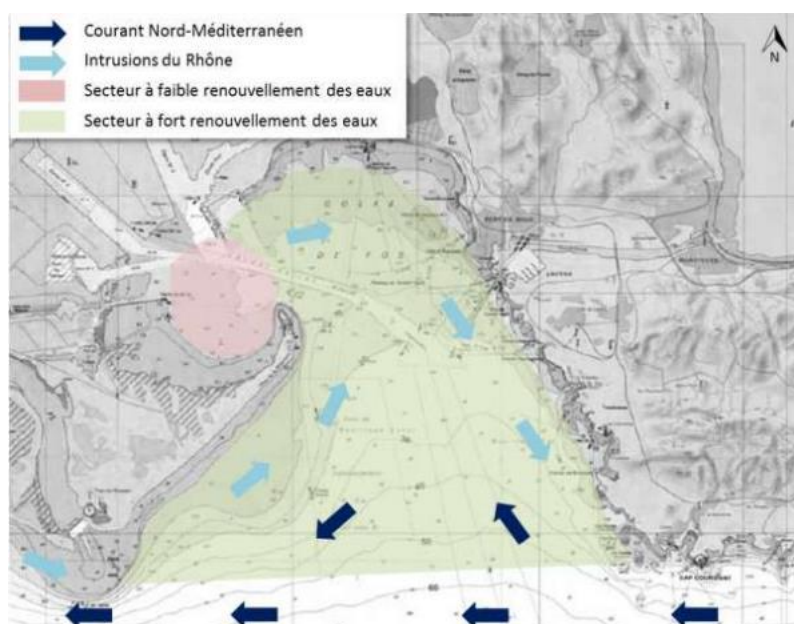


FIGURE 5 : CIRCULATION DES EAUX DANS LE GOLFE DE FOS (CONTRAT DE BAIE, 2019)

3.1.3 - GEOMORPHOLOGIE

3.1.3.1 - Bathymétrie

La zone d'étude se situe dans les plus petits fonds côtiers du golfe de Fos, avec un maximum de 10 m de profondeur. Quant aux zones d'implantation envisagées (AOT au sein des zones A et E), elles se situent entre 6 et 8 m de profondeur maximum. La faible profondeur des zones d'implantation envisagées représente un enjeu technique fort pour le projet.

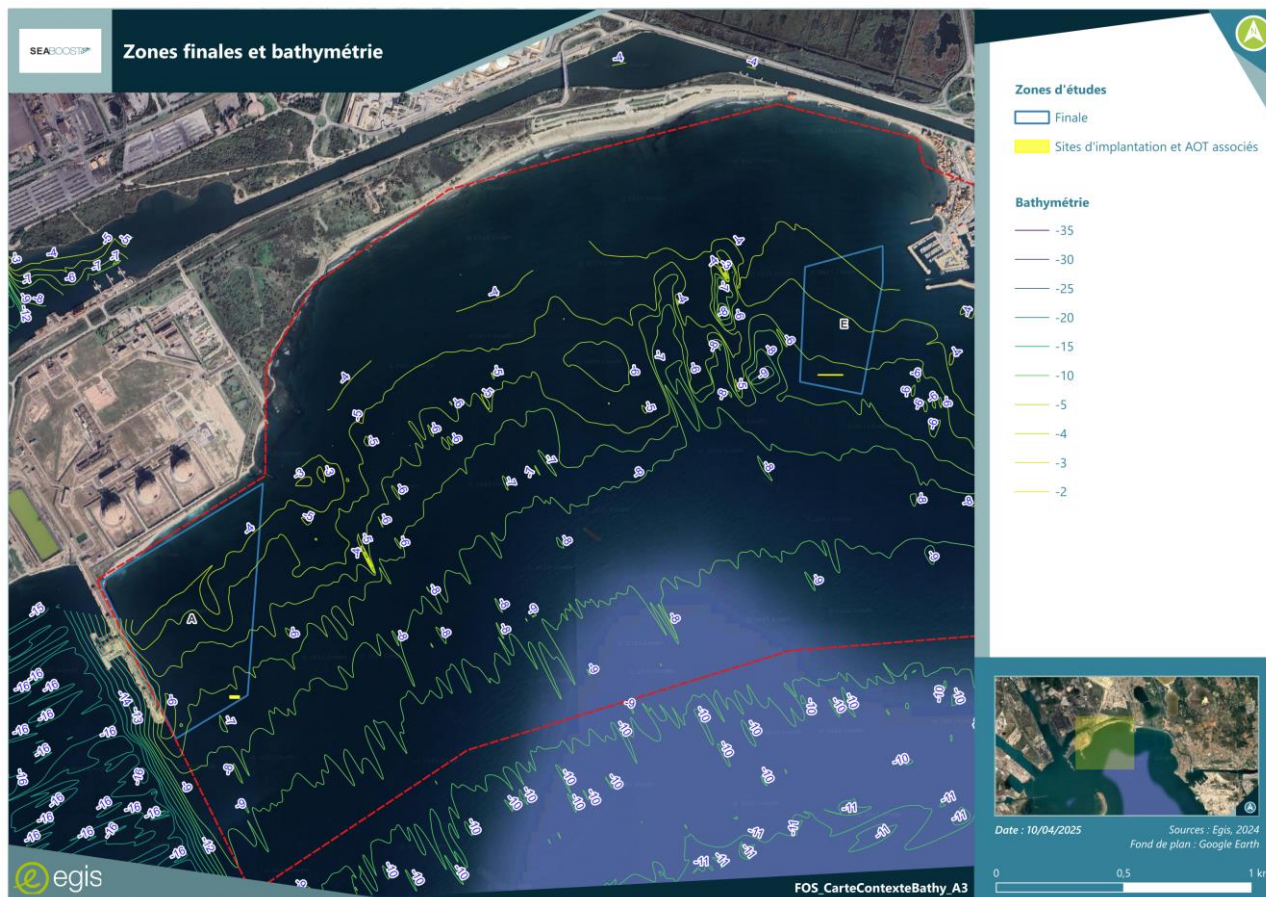


FIGURE 6 : BATHYMETRIE ET LOCALISATION DU PROJET (EGIS, 2025)

3.1.3.2 - Géologie

Selon la carte géologique du BRGM, le secteur A se situe sur une zone de vases sableuses composée de 75 à 50% de fraction fine et le secteur E sur une zone de sables composée de 25 à 5% de fraction fine. Par ailleurs, on constate que le secteur E se situe à proximité d'une zone composée de sables (25 à 5% de fraction fine) et de mattes d'herbiers dégradés.



FIGURE 7 : CARTE GEOLOGIQUE ET DES SEDIMENTS DU SECTEUR

3.1.3.3 - Sédiment et granulométrie

Dans le cadre de l'étude de faisabilité technique et financière du projet, la société P2A Développement a réalisé une analyse de la granulométrie dans les deux zones pressenties pour l'immersion des récifs.

Les résultats de l'analyse granulométrique confirment les observations réalisées grâce aux drop-caméras : au niveau de la zone A, le substrat est composé de galets et de secteurs sablo-vaseux), tandis que la zone E, située juste à la sortie du port de Saint-Gervais, est quant à elle composée de sables fins plus ou moins envasés.

3.1.4 - SCHEMA HYDROLOGIQUE DU GOLFE DE FOS

Les masses d'eau de cette zone ont trois origines principales :

- Les apports d'eau douce du Rhône par le canal de navigation reliant Arles et le Rhône au Port de Fos-sur-Mer ;
- Les apports d'eau douce par les canaux de drainage de la plaine de la Crau (roubines) ;
- L'eau de mer salée qui remonte le canal de navigation.

L'hydrologie des eaux de surface du Golfe de Fos-sur-Mer est complexe :

- Elle est la résultante du mélange du Rhône avec les eaux côtières de la mer Méditerranée. Elle est, à ce titre, assujettie aux variations saisonnières de débit de ces affluents naturels ou artificiels ;
- Elle est aussi fonction des conditions météorologiques et courantologies relativement instables sous le climat méditerranéen, qui assurent un déplacement des masses d'eau et leur mélange plus ou moins complet.

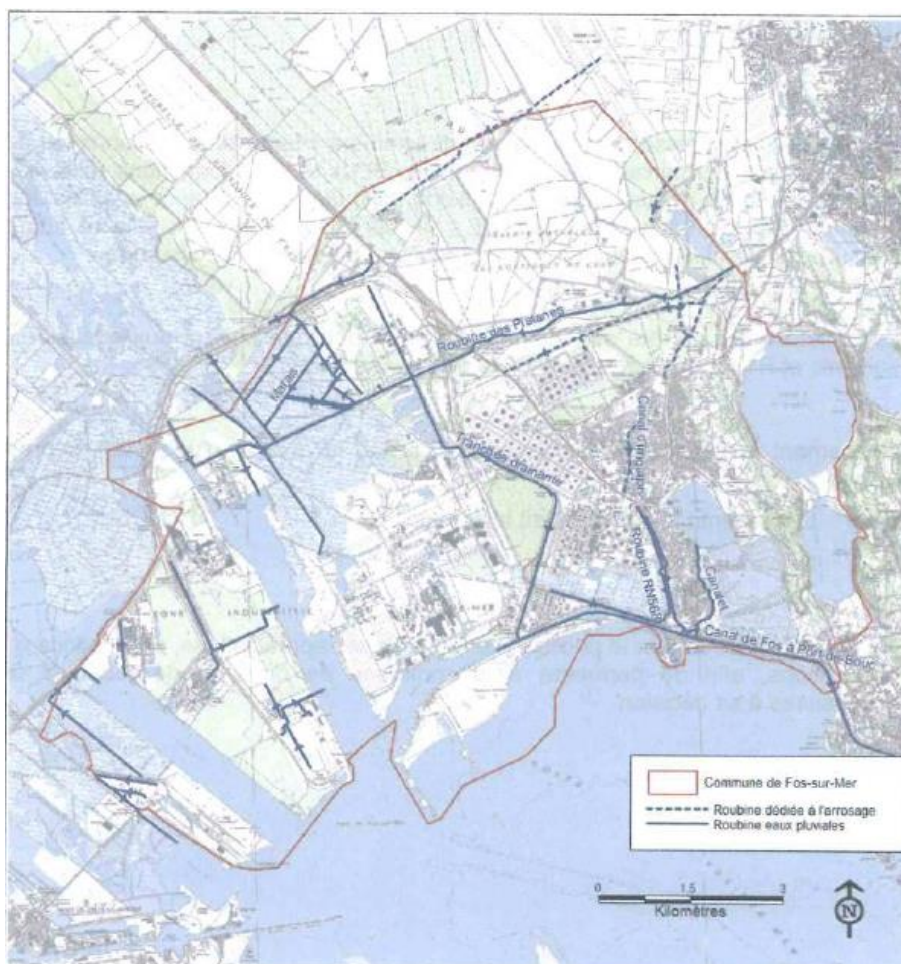


FIGURE 8 : RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE (PLU FOS-SUR-MER, TOME 2, ANNEXES 5.4.3. ASSAINISSEMENT EAUX PLUVIALES, 2022)

3.1.5 - QUALITE DE LA MASSE D'EAU COTIERE FRDC04

La zone d'étude fait partie de la masse d'eau côtière FRDC04. Elle est considérée comme une Masse d'Eau Fortement Modifiée (MFEM) en raison des altérations physiques dues à l'aménagement industrio-portuaire. Globalement, la qualité de la masse d'eau est moyenne, bien que l'on ait observé une amélioration pour plusieurs paramètres. Cependant, on note la présence marquée de contaminations historiques (métaux, polluants organiques et sous-produits de chloration).

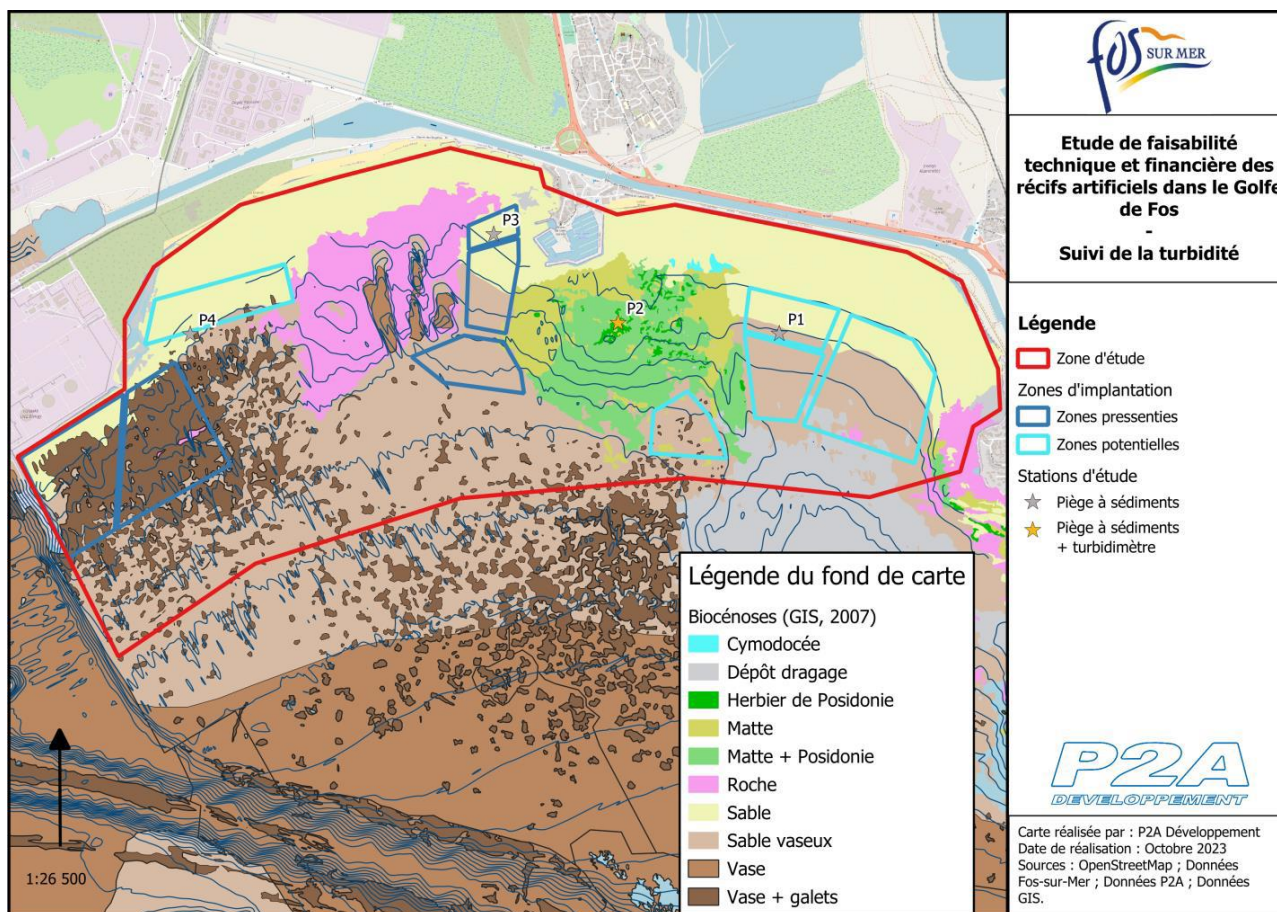


FIGURE 10 : LOCALISATION DES STATIONS DE SUIVI DE LA TURBIDITE ET DE LA SEDIMENTATION (P2A DEVELOPPEMENT)

Les résultats montrent que la turbidité évolue au cours du temps. Cette évolution peut se qualifier comme « en dents de scie » : de fortes variations de turbidité ont eu lieu durant la période d'enregistrement. L'évolution de la turbidité au cours du temps ne suit ni tendance ni cycle particulier, l'évolution de la turbidité se compose de variations ponctuelles.

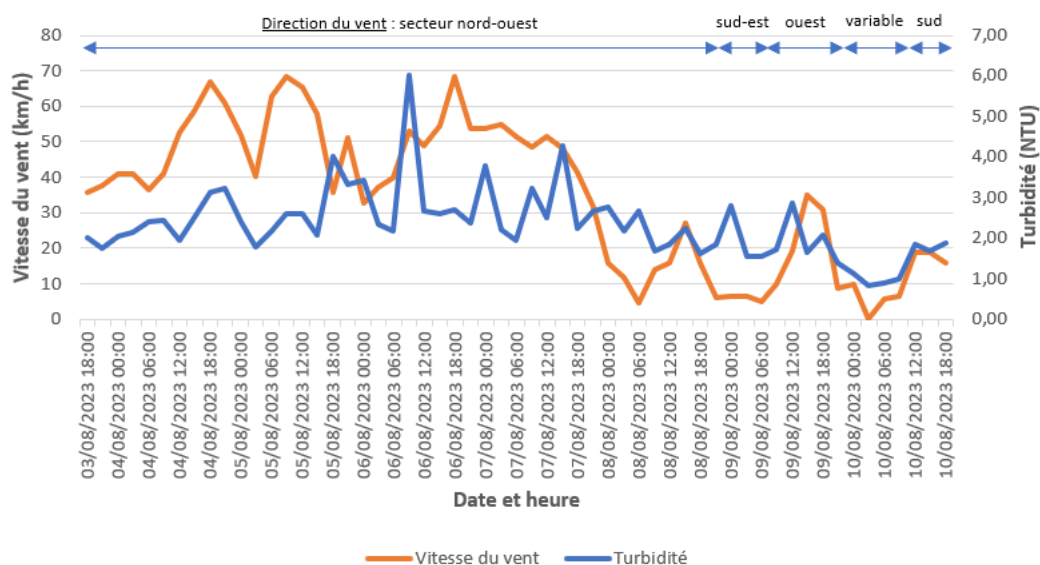


FIGURE 11 : ÉVOLUTION DE LA TURBIDITE MOYENNE ET DE LA VITESSE DU VENT AU COURS DU TEMPS (P2A DEVELOPPEMENT)

Le vent de nord-ouest (mistral) est un vent de terre, d'où un fetch réduit dans le Golfe de Fos, à la différence des vents de sud et de sud-est qui génèrent une houle venant du large. Malgré tout, c'est l'épisode de mistral

qui génère la turbidité la plus élevée sur la période estivale investiguée. Le graphique ci-dessus illustre une forte corrélation entre les niveaux de turbidité de l'eau avec la force du vent.

Comme indiqué dans le Tableau ci-dessous, les valeurs oscillent entre 0,6 et 14,0 NTU. Sa valeur moyenne sur la durée de l'enregistrement est de 2,3 ($\pm 1,3$) NTU. Des valeurs de 4 NTU ou plus, indiquant une turbidité élevée, sont dépassées à 21 reprises. La valeur la plus élevée est atteinte le 6 août.

	TURBIDITE (NTU)
MINIMUM	0,6
MAXIMUM	14,0
MOYENNE	2,3
ECART-TYPE	1,3

TABLEAU 1 : SYNTHESE DES VALEURS DE TURBIDITE

Une moyenne de turbidité inférieure à 3 NTU correspond à une masse d'eau peu turbide. Cette mesure en période estivale, propice à la stratification de la colonne d'eau, confirme des données à plus long terme, illustrées en figure suivante.

3.2 - ETAT INITIAL DU MILIEU NATUREL

3.2.1 - LES HABITATS MARINS ET COTIERS

Divers habitats sont présents dans le Golfe de Fos :

- **Zones rocheuses** à proximité du port de Saint-Gervais et de port de Bouc à Ponteau ;
- **Zones détritiques envasées**, principalement sur la partie Est infralittorale ;
- **Sables et de graviers** courant de fond, sables fins bien calibrés et de haut niveau vers la flèche de la gracieuse, l'Anse de Carteau et à l'intérieur du golfe dans la bande infralittorale ;
- **Transition sablo-vaseux et de vase terrigène**, des eaux profondes jusqu'à l'entrée des darses 1 et 2, dans le chenal de navigation sujet au dragage (dépôts de dragage à l'Est du golfe).

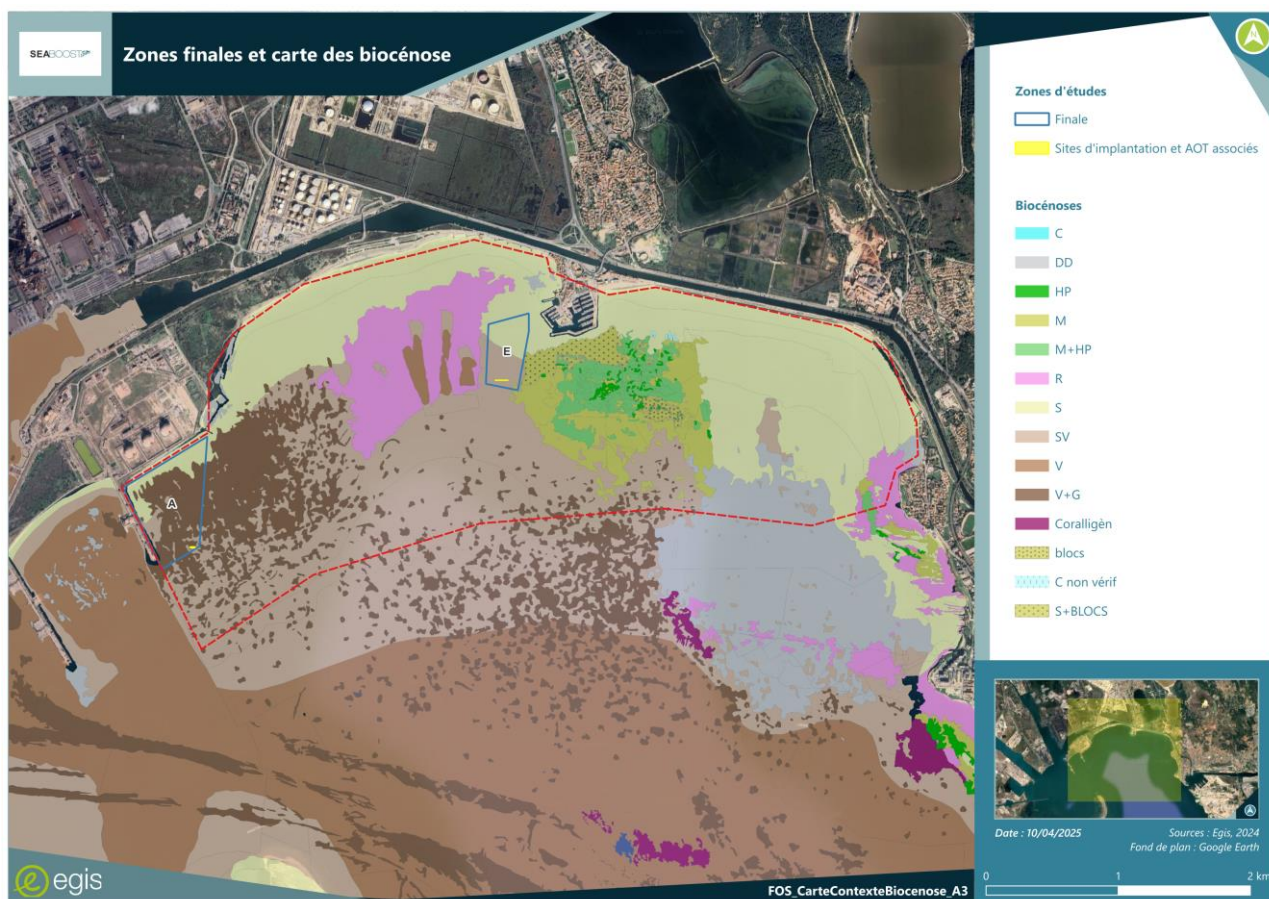


FIGURE 12 : LOCALISATION DES DIFFERENTS SUBSTRATS DU GOLFE DE FOS (EGIS, 2025)

Dans la zone d'étude, seuls les habitats remarquables d'herbiers de *Posidonia oceanica* et roche infralittorale à algues photophiles ont été observés.

TABLEAU 2 : STATUT ET ETAT DES ESPECES REMARQUABLES OBSERVEES DANS LA ZONE D'ETUDE

TYPES D'HABITATS/ ESPECES	TYPE DE PROTECTION	ÉTAT DE CONSERVATION	ENJEUX
HERBIERS DE <i>POSIDONIA OCEANICA</i> HABITAT 1120	- Convention de Berne (1979) - annexe I - Convention de Barcelone (1976) – annexe II - Directive habitat 92/43/CEE – annexe I - Arrêté ministériel 1988 – Natura 2000 - Code de l'environnement, article L.411-1.2 - Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel arrêté du 9 mai 1994	Médiocre A Mauvais	Fort
LA ROCHE INFRALITTORALE A ALGUES PHOTOPHILES (RIAP)	Directive "Habitats, Faune, Flore" (92/43/CEE) – Annexe I	Médiocre à Mauvais	Moyen

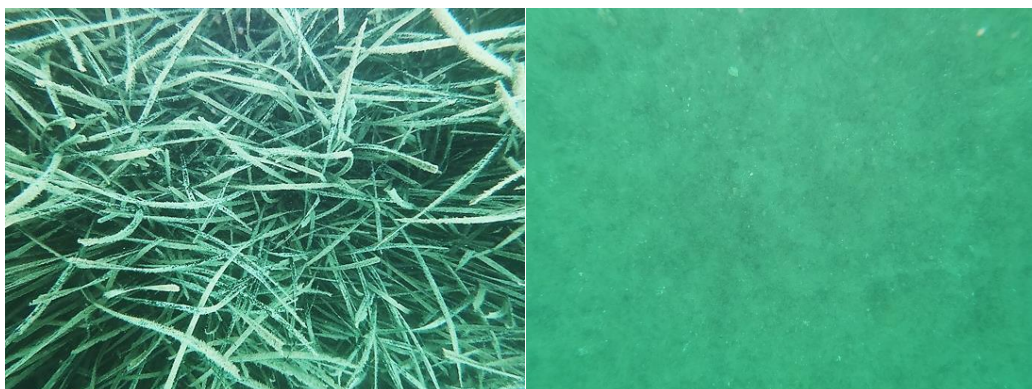


FIGURE 13 : ILLUSTRATION DES HERBIERS DE POSIDONIES (GAUCHE) ET DE LA MATTE MORTE OBSERVEE (P2A DEVELOPPEMENT)

Les scores EBQI calculés pour les stations d'herbier de posidonie comme pour les stations de la roche infralittorale à algues photophiles sont catégorisées **mauvais à médiocre**, traduisant **un mauvais état écologique de ces habitats dans la zone d'étude**.

Ce mauvais état écologique est **révélateur de pressions anthropiques** importantes sur l'environnement marin. Des actions en faveur de la limitation de ces pressions et de la restauration de ces habitats semblent prioritaires afin de restaurer leurs fonctions écologiques.

En outre, les études de terrain en plongée ont permis de réaliser une analyse de la biocénose et des espèces présentes dans la zone d'étude (cf. étude diagnostic). Cette étude a permis de relever la présence **l'algue invasive *Caulerpa cylindracea***. Par ailleurs, les analyses portées sur le macrofaune benthique ont révélé un EQR de type « très bon » sur l'ensemble de la zone d'étude.

Enfin, les données du projet MedHab font apparaître la présence de plusieurs **zones de nurseries** au niveau de la zone d'étude. Elles correspondent aux zones d'enrochements localisées le long du littoral. Elles sont principalement situées autour du port de Saint Gervais, à l'Ouest de la plage du Cavaou ainsi qu'à l'Est, côté Port de Bouc. Il est également mentionné que toute la zone présente un niveau de protection du littoral catégorisé comme « absent ».

3.2.2 - ESPECES OBSERVEES

Les vérités terrain menées par la société P2A Développement ont permis de dresser une liste des espèces observées sur le site du projet. Ces espèces sont listées dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 3 : LISTE DES ESPECES OBSERVEES (P2A DEVELOPPEMENT, 2023)

EMBRANCHEMENT	NOM COMMUN	NOM SCIENTIFIQUE	TRANSECT	ABONDANCE
Cnidaires	Dent de cochon	<i>Balanophyllia europaea</i>	Ouest	22
Echinodermes	Etoile de mer rouge	<i>Echinaster sepositus</i>	Ouest	17
Cnidaires	Aiptasie jaune	<i>Exaiptasia diaphana</i>	Ouest	12
Echinodermes	Oursin noir	<i>Arbacia lixula</i>	Ouest	11
Cnidaires	Gorgogne blanche	<i>Eunicella singularis</i>	Ouest	10
Cnidaires	Anémone de mer verte	<i>Anemonia viridis</i>	Ouest	5
Cnidaires	Oursin violet	<i>Paracentrotus lividus</i>	Ouest	5
Cnidaires	Anémone charnue	<i>Cribrinopsis crassa</i>	Ouest	3

EMBRANCHEMENT	NOM COMMUN	NOM SCIENTIFIQUE	TRANSECT	ABONDANCE
Echinodermes	Oursin granuleux	<i>Sphaerechinus granularis</i>	Ouest	3
Mollusques	Hervia processionnaire	<i>Cratena peregrina</i>	Ouest	3
Vertébrés	Sar commun	<i>Diplodus sargus</i>	Ouest	2
Annélides	Spirographe	<i>Sabella spallanzanii</i>	Ouest	1
Cnidaires	Grand cérianthe	<i>Cerianthus membranaceus</i>	Ouest	1
Cnidaires	Cérianthe solitaire	<i>Pachycerianthus solitarius</i>	Ouest	1
Cnidaires	Aiptasie verte	<i>Aiptasia mutabilis</i>	Ouest	1
Mollusques	Flabelline mauve	<i>Flabellina affinis</i>	Ouest	1
Tuniciers	Ascidie blanche	<i>Phallusia mammillata</i>	Ouest	1
Vertébrés	Serran-hépaté	<i>Serranus hepatus</i>	Ouest	1
Annélides	Spirographe	<i>Sabella spallanzanii</i>	Est	5
Cnidaires	Aiptasie verte	<i>Aiptasia mutabilis</i>	Est	5
Cnidaires	Anémone de mer verte	<i>Anemonia viridis</i>	Est	2
Mollusques	Murex tuberculé	<i>Hexaplex trunculus</i>	Est	2
Arthropodes	Bernard-l'hermite commun	<i>Pagurus bernhardus</i>	Est	1
Mollusques	Astrée rugueuse	<i>Bolma rugosa</i>	Est	1

Les vérités terrains ont permis de relever que les espèces diffèrent selon les transects. Pour le transect ouest, les espèces dominantes sont associées au milieu rocheux : la dent de cochon (*Balanophyllia europaea*), l'étoile de mer rouge (*Echinaster sepositus*), l'aiptasie jaune (*Exaiptasia diaphana*), l'oursin noir (*Arbacia lixula*) et la gorgone blanche (*Eunicella singularis*). Les cnidaires et échinodermes sont donc les deux groupes taxonomiques dominants. Pour le transect est (sable/sable vaseux), les deux espèces dominantes, avec seulement 5 individus observés pour chaque espèce, sont le spirographe (*Sabella spallanzanii*) et l'aiptasie verte (*Aiptasia mutabilis*).

3.2.3 - ZONAGES ENVIRONNEMENTAUX ET REGLEMENTAIRES

Plusieurs zones et inventaires environnementaux sont présents dans l'aire éloignée du projet (10km). Parmi eux :

- 27 ZNIEFF ;
- 6 sites du Conservatoire du Littoral ;
- 4 Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) ;
- 9 sites Natura 2000.

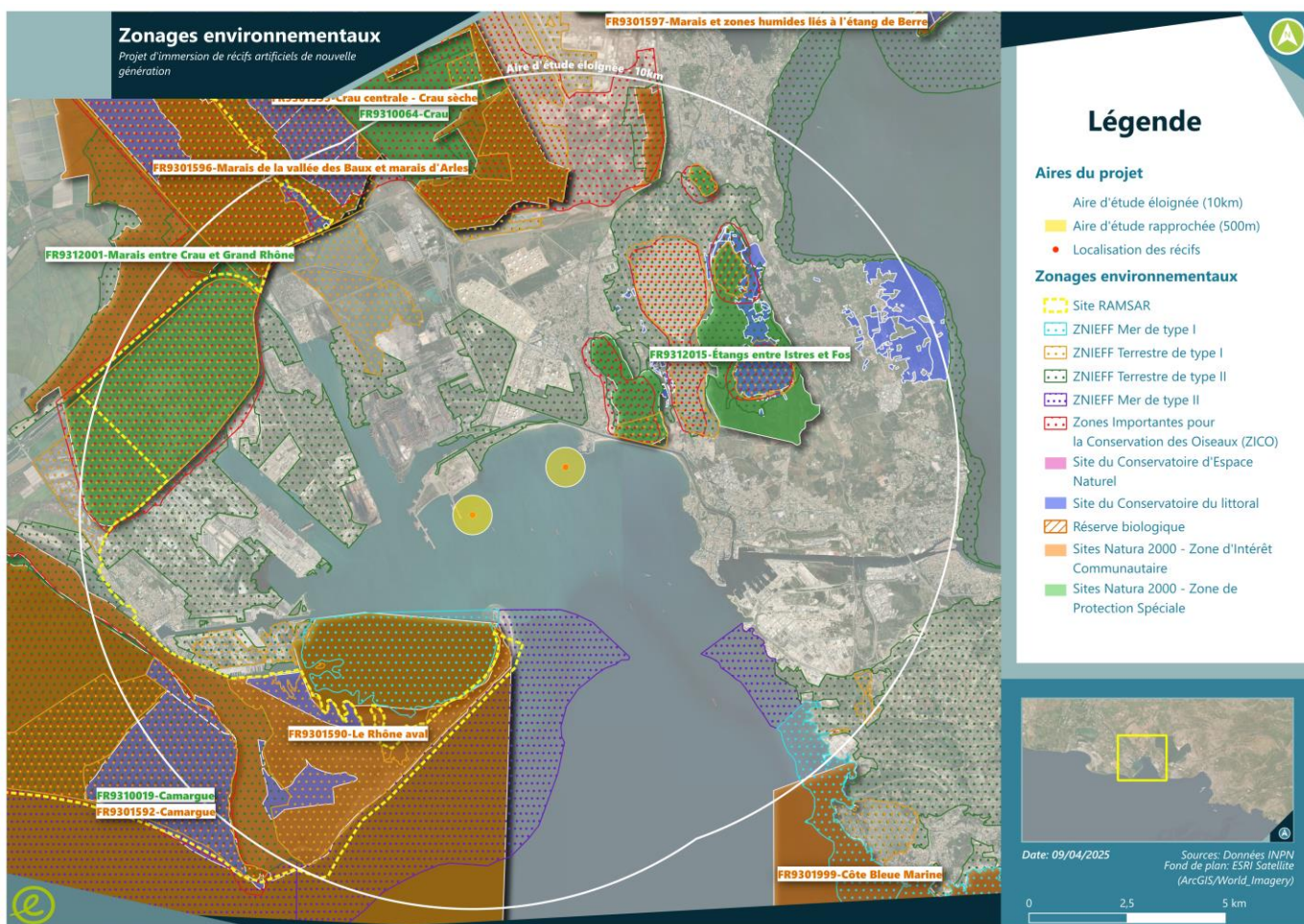


FIGURE 14 : LOCALISATION DES ESPACES PROTEGES DANS LE GOLFE DE FOS

3.2.3.1 - Sites Natura 2000

Le projet se situe en dehors des périmètres des sites Natura 2000 identifiés et n'entraîne pas de destruction directe d'habitats naturels d'intérêt communautaire. Les sites les plus proches sont les suivants :

■ **Sites Natura 2000 terrestres :**

- ZSC FR9301590 – Le Rhône aval, à 7 km ;
- ZPS FR9310064 – Crau à 7km ;
- ZPS FR9312001 - Marais entre Crau et Grand Rhône à 6,5km ;
- ZPS FR9312015 - Étangs entre Istres et Fos à 1,4km ;
- ZSC FR9301596 - Marais de la vallée des Baux et marais d'Arles à 8km ;
- ZSC FR9301595 - Crau centrale - Crau sèche à 7km.

■ **Sites Natura 2000 terrestres et marins :**

- ZSC FR9301592 – Camargue, à environ 3 km ;
- ZPS FR9310019 – Camargue, également à 3 km ;
- ZSC FR9301999 – Côte Bleue Marine, à 10 km.

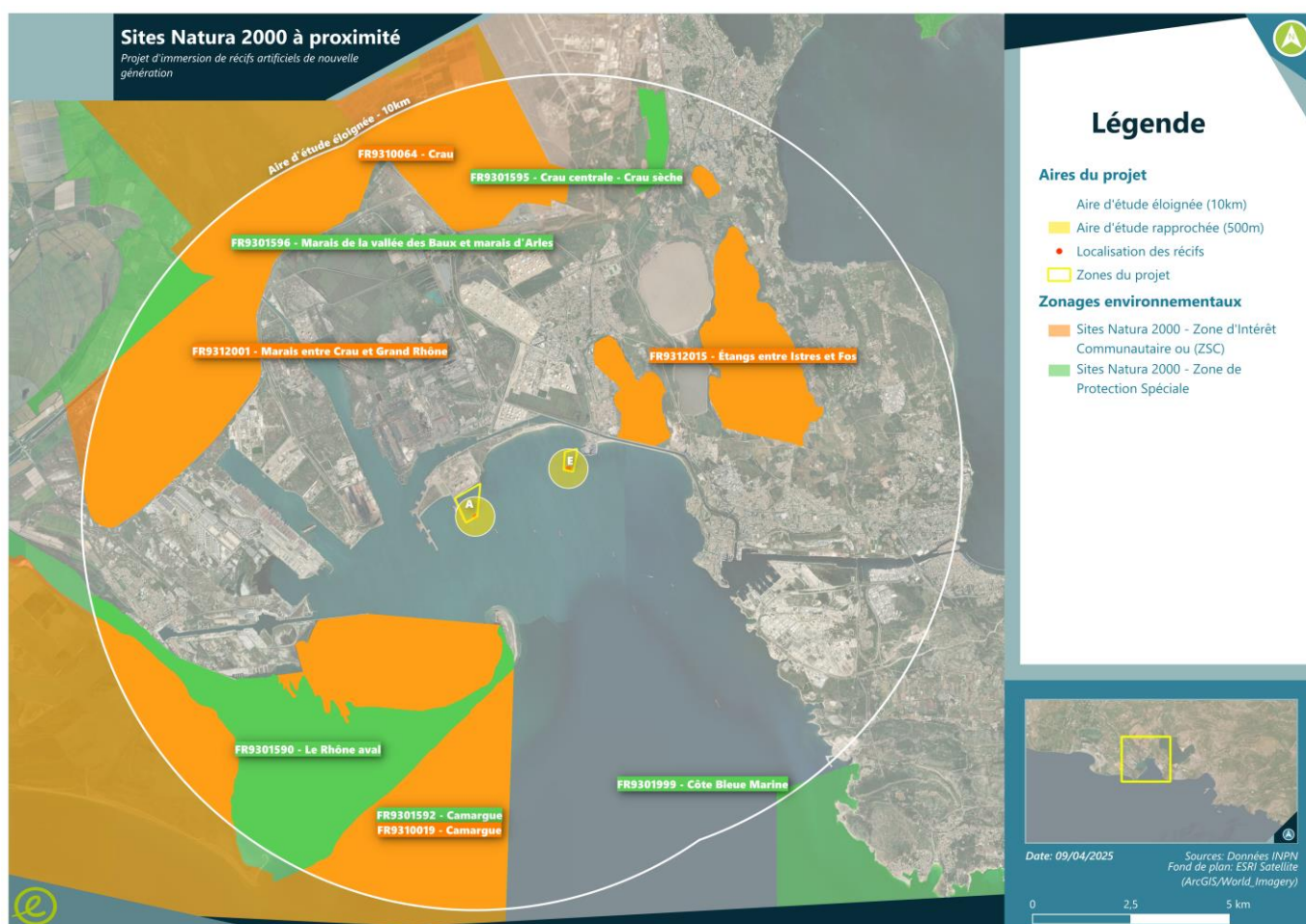


FIGURE 15 : LOCALISATION DES SITES NATURA 2000 A PROXIMITE DU PROJET

■ **Évaluation des incidences sur les objectifs de conservation**

■ **Un projet à distance des sites Natura 2000 et des sites d'intérêt**

Le projet est localisé en dehors des périmètres des sites Natura 2000, limitant ainsi les risques d'impacts directs sur les habitats naturels ou les espèces d'intérêt communautaire. La distance minimale de 3 km avec les zones protégées constitue un facteur d'atténuation supplémentaire, réduisant la probabilité d'effets significatifs. De plus, l'emprise du projet se situe dans un secteur déjà fortement anthropisé, caractérisé par une industrialisation maritime et terrestre intense, ainsi que par des niveaux sonores élevés. Il ne s'agit donc pas d'un site stratégique pour la conservation des espèces terrestres, aviaires ou marines.

Par ailleurs, le projet est implanté en mer à proximité d'un herbier de posidonie dont l'état de conservation est qualifié de médiocre à moyen, en raison d'une turbidité élevée d'origine anthropique. Compte tenu de la faible emprise au sol et du volume limité des modules prévues, ainsi que des techniques de mise en œuvre adaptées prévues durant la phase de travaux, aucune dégradation de cet herbier n'est à anticiper.

■ **Absence d'effets indirects significatifs**

Les principaux risques théoriques (turbidité lors de la pose, nuisance sonore ponctuelle, modification locale des courants) sont limités spatialement et temporellement en raison des préconisations suivantes :

- ▶ L'immersion sera réalisée avec précaution (pose depuis barge, faible profondeur, ancrage maîtrisé) ;
- ▶ Les matériaux utilisés seront inertes, non polluants et conformes à la réglementation (pH neutre, sans éléments lixiviables) ;
- ▶ Aucun dragage massif ni rejet de matériaux n'est prévu.

■ Un projet en cohérence avec les objectifs de conservation Natura 2000

Le projet consiste en l'immersion de récifs artificiels à des fins écologiques et halieutiques, dans le but :

- ▶ de favoriser la biodiversité marine locale,
- ▶ de restaurer des habitats dégradés ou appauvris par les activités humaines,

Ainsi, ces récifs ont pour objectif de contribuer à la résilience des écosystèmes locaux visant à créer des zones de refuges, favoriser la reproduction de certaines espèces de poissons, et à jouer un rôle de support pour des communautés benthiques diversifiées

Le projet vise donc, par nature, à améliorer l'état écologique du secteur, en s'inscrivant dans une démarche de gestion durable du milieu marin.

Ainsi, le projet s'inscrit en cohérence avec les objectifs de conservation des sites Natura 2000 à proximité, notamment en ce qui concerne :

- la restauration des habitats marins,
- la préservation des espèces halieutiques,
- la lutte contre certaines pressions anthropiques (tel que les ancrages forains)

Au regard de ces éléments, le projet d'immersion de récifs artificiels ne présente pas d'incidences significatives sur les objectifs de conservation des sites Natura 2000 environnants. Conformément à l'article R. 414-23 du Code de l'environnement, il est justifié que l'évaluation peut se limiter à la présente analyse.

3.2.3.2 - Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF)

■ Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) Terrestre

- ZNIEFF Terrestre de type I – Etangs des salins - pointe de Beauduc (identifiant : 930012418)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Crau sèche (identifiant : 930020454)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Salins de Rassuen (identifiant : 930020181)
- ZNIEFF Terrestre de type I – They de la gracieuse - They de Roustan (identifiant : 930012432)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Vallon de l'averon (identifiant : 930020228)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Etangs de Lavalduc et d'engrenier (identifiant : 930020178)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Etang de Citis (identifiant : 930020179)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Salins de Fos - la Marronède (identifiant : 930020195)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Etang du pourra (identifiant : 930020180)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Marais de l'audience - les grands paluds (identifiant : 930020168)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Salins du caban (identifiant : 930020505)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Plaine de saint-martin - plateau de ponteau (identifiant : 930020227)
- ZNIEFF Terrestre de type I – Dépression du Vigueirat - marais des costières de Crau (identifiant : 930012412)
- ZNIEFF Terrestre de type I – They de la palissade (identifiant : 930012420)
- ZNIEFF Terrestre de type II – chaînes de l'Estaque et de la Nerthe - massif du Rove - collines de Carro (identifiant : 930012439)
- ZNIEFF Terrestre de type II – le Rhône (identifiant : 930012343)

- **ZNIEFF Terrestre de type II – golfe de Fos-sur-mer (identifiant : 930020226)**
- ZNIEFF Terrestre de type II – Crau (identifiant : 930012406)
- ZNIEFF Terrestre de type II – grand plan du bourg (identifiant : 930020216)
- ZNIEFF Terrestre de type II – étang de Berre, étang de vaine (identifiant : 930020231)
- ZNIEFF Terrestre de type II – étang de l'estomac - salins de Fos - la Marronède (identifiant : 930020194)
- ZNIEFF Terrestre de type II – étangs de Lavalduc, d'engrenier, de Citis et du pourra - salins de Rassuen (identifiant : 930012434)
- ZNIEFF Terrestre de type II – Camargue Fluvio-lacustre et Laguno-marine (identifiant : 930012415)
- **Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) Mer**
 - **ZNIEFF Mer de type I – Anse de Carteau (identifiant : 93M000022)**
 - **ZNIEFF Mer de type I : De Ponteau à la Pointe de Carro (identifiant : 93M000023)**
 - **ZNIEFF Mer de type II : They de la Gracieuse (identifiant : 13004000)**
 - **ZNIEFF Mer type II : De Port-de-Bouc à Ponteau (identifiant : 13005000)**
- **Les sites du Conservatoire du littoral**
 - Collines et salins de Fos (FR1100992)
 - Theys de l'embouchure du Rhône (FR1100785)
 - Collines de Caderaou - Figuerolles (FR1100153)
 - La palissade (FR1100158)
 - La Crau (FR1100150)
 - Citis pourra (FR1100424)
- **Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO)**
 - Camargue
 - Crau
 - Marais entre Crau et grand Rhone: Meyranne, chanoine, plan de bourg et salins du caban
 - Etangs de Citis, Lavalduc, engrenier, pourra, l'estomac, Fos et salines de Rassuen et de Fos

En revanche, il est essentiel de rappeler qu'il s'agit d'un projet portant sur l'immersion de récifs comprenant des moyens de mises en œuvre adaptés et de moindre impact. Les zones sous protection, d'inventaires ou réglementées ne seront donc pas concernées par le projet. Toutefois, au regard de l'importance des habitats et des espèces patrimoniales et d'intérêts de ces zones et inventaires, et concernant l'emprise éloignée du projet, cette composante est sujette à une évolution relative dans le temps en raison des pressions anthropiques croissantes du secteur qui sont, du moins, atténuées par le caractère réglementaire de ces zones. Elle est, ainsi, considérée comme présentant un enjeu Moyen.

3.3 - ETAT INITIAL DU PAYSAGE SOUS-MARIN

Le paysage sous-marin du Golfe de Fos est une mosaïque de différents habitats marins. La zone concernée par le projet se traduit par la présence de substrats rocheux, souvent recouverts d'algues photophiles, forment un élément fondamental de ce paysage. Ils sont le théâtre d'une grande diversité d'espèces, allant des petites créatures fixées aux grands poissons. Cependant, l'introduction d'espèces invasives comme la *Caulerpa cylindracea* menace l'équilibre de ces habitats, réduisant la biodiversité et altérant la dynamique des écosystèmes.

Le secteur abrite notamment un herbier de Posidonie, un écosystème clé, mais en déclin. Ce dernier, souvent qualifié de "relique", présente une superficie restreinte au sud du port, où la régression de l'herbier est manifeste.

Les zones plus sableuses et vaseuses, en revanche, sont moins riches en biodiversité, mais elles jouent un rôle crucial dans le cycle écologique, servant de refuge temporaire pour certaines espèces. Ces zones subissent aussi des changements, comme le déplacement des fonds sableux vers des zones plus au sud, indiquant des modifications dans les dynamiques de l'habitat.

Le paysage est dominé par une forte sédimentation, avec une accumulation continue de sédiments fins qui modifient constamment l'environnement sous-marin. La remise en suspension des particules, stimulée par les courants ou les perturbations locales, donne un aspect trouble à l'eau, où la visibilité est souvent réduite. Ce phénomène crée un environnement gris et sableux, avec des fonds marins peu distincts et une impression de monotonie visuelle. Le relief est uniformément aplati, et la couleur dominante de l'eau et des sédiments évoque une atmosphère presque stérile, où l'activité marine semble limitée à de rares mouvements dans ce voile de particules en suspension.

Ainsi, le paysage sous-marin du Golfe de Fos est à la fois un lieu de grande biodiversité et un écosystème fragile, où la diversité des habitats marins, entre herbiers, coralligène, roches et substrats meubles, se trouve menacée par diverses pressions environnementales. La gestion de ces espaces exige une attention particulière pour préserver cet équilibre délicat.

Le paysage sous-marin du secteur d'étude, bien qu'altéré par une forte sédimentation et une visibilité limitée, demeure porteur de diversité écologique avec des substrats rocheux, des herbiers relictuels et des habitats meubles fonctionnels. La dynamique actuelle (recul des herbiers, prolifération d'espèces invasives, homogénéisation du relief) traduit une fragilité accrue du système.

Au regard de la valeur écologique de certains micro-habitats, de la sollicitation directe par le projet, et d'une faible évolution du paysage sous-marin, cette composante est considérée comme présentant un enjeu faible.

3.4 - ETAT INITIAL DU MILIEU HUMAIN

Les activités socio-économiques dans le golfe de Fos sont dominées par l'industrie, la pêche professionnelle et de loisir, ainsi que la plaisance. Le secteur industriel, particulièrement dense, exerce une pression importante sur l'environnement marin, notamment par les rejets et la circulation maritime. Les pêcheurs professionnels, bien que présents en nombre limité, exploitent la zone, mais préfèrent des zones plus riches en ressources. Les activités de loisir comme la plongée et la voile sont limitées par la turbidité des eaux, tandis que la plaisance et la pêche de loisir restent populaires, bien que peu influentes dans cette zone fortement industrialisée.

3.4.1 - CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE

3.4.1.1 - Pêche professionnelle

Le golfe de Fos est une zone d'intérêt halieutique qui fait partie du quartier maritime et de la prud'homie de Martigues. La pêche professionnelle est réglementée sur toute la zone du GPMM. Bien que seuls 3 pêcheurs petits métiers soient basés à Fos-sur-Mer, c'est plus de 50 bateaux de pêche qui exploitent cette zone, et 25 qui ont l'autorisation spécifique de travailler dans la zone de sureté maritime.

Les pêcheurs **ne sont pas opposés au projet**, mais ils souhaitent que cela n'entraîne pas d'interdiction de pêche supplémentaire, cela pouvant engendrer un report de pêche problématique. Ils indiquent également **que la zone d'étude** est actuellement **un secteur peu propice** car n'abritant pas de zones nurserie ou de frayère reconnues.

3.4.1.2 - Pêche de loisir

Dans la zone d'étude, la pêche de loisir se pratique de façon encadrée par des professionnels, dans le cadre associatif ou par des usagers individuels. Elle est réglementée par le règlement de pêche du GPMM. Globalement, **la zone d'étude n'est pas le secteur principal pour la pêche de loisir**, en raison de la faible abondance des poissons dans cette zone, fortement industrialisée, et en comparaison avec des zones plus attractives, plutôt situées vers Carro ou Carry-le-Rouet.

3.4.1.3 - Navigation plaisance

La petite et la grande plaisance sont présentes dans l'ensemble du Golfe de Fos et notamment à proximité de la côte.

3.4.1.4 - Plongée sous-marine

Bien qu'une activité de plongée sous-marine ait existé par le passé dans la zone d'étude, en particulier pour la recherche et d'étude de vestiges archéologiques, les plongeurs ne fréquentent plus ce secteur, où les eaux sont très turbides et les fonds peu intéressants. Ils préfèrent se rendre vers la côte bleue, et les secteurs de Carry-le-Rouet et Carro.

3.4.1.5 - Activités de voile et de glisse

Le golfe de Fos-sur-Mer est une zone où se pratiquent les activités de glisse. Les usagers de la plage du Cavaou (association Fun Fos), pratiquent toute l'année, le long de la plage, et peuvent évoluer jusqu'au They de la Gracieuse. Certains pratiquants considèrent le golfe de Fos comme peu attractif, voire dangereux, du fait de l'activité industrielle (pollution de l'air) et de l'aspect très turbide des eaux.

3.4.1.6 - Avis des usagers de la mer et défense de l'environnement sur le projet

Les enquêtes auprès des usagers de la mer et des associations de défense de l'environnement œuvrant dans le golfe de Fos ont été menées en septembre et octobre 2023.

Quatorze questionnaires ont été complétés, lors d'entretiens téléphoniques, concernant des associations ou sociétés des secteurs de l'environnement, de la pêche plaisance et professionnelle, de la plongée sous-marine et de la voile/glisse. Les quatre questionnaires transmis par courriel, sur demande orale des usagers ou parce que les interlocuteurs n'ont pas pu être joints par téléphone, n'ont pas reçu de réponse.

Les usagers sont globalement favorables à la mise en place d'actions en faveur de la biodiversité marine et en particulier à la mise en place de récifs artificiels. Cette action permettrait en outre de valoriser la zone du golfe de Fos, actuellement peu attractive et appréciée. Cette adhésion au projet est favorisée par le fait qu'il n'impactera que peu leurs activités car, en dehors des pêcheurs et de Fun Fos (club de voile), la zone d'étude n'est pas la zone de pratique des autres usagers de la mer (plongeurs, voile, professionnels de sorties pêche).

3.4.2 - RISQUE INDUSTRIEL ET REJETS

Le complexe de Fos-sur-Mer, né dans les années 1960, s'étend sur 10 000 ha de Port-Saint-Louis-du- Rhône à Fos-sur-Mer. La Zone Industrielle et Portuaire de Fos (ZIP) accueille de nombreuses entreprises industrielles couvrant plusieurs secteurs : pétrole, chimie, sidérurgie, construction métallique, cimenterie, production énergétique, traitement des déchets, logistique ainsi que des infrastructures portuaires d'envergure.

Ces industries conduisent à de multiples **pompages d'eau de mer** (utilisation pour réguler la température des installations) ainsi que des rejets, qui sont sources de contaminations (métaux, sous-produits de chloration, etc.).

■ Les rejets d'eaux usées

L'étang de Berre et le Rhône peuvent également impacter le Golfe de Fos, par **les rejets d'industries** dont ils sont récepteurs (Centrale hydroélectrique St Chamas sur l'étang de Berre, dépôts pétroliers du Port de Lyon et

nombreuses industries sur le Rhône). Les industries sont également **source de pollutions atmosphériques** qui peuvent impacter la qualité du milieu marin (Contrat de baie, 2019).

La présence de plusieurs **stations d'épurations** génère également des rejets multiples dans le golfe de Fos. Les eaux traitées, de la commune de Fos-sur-Mer sont rejetées dans la roubine longeant la RN 568 et rejoignant le canal de navigation de Fos à Port-de-Bouc après transit dans la zone de paluds située en partie sud du marais de Fos-sur-Mer.

A noter que **plusieurs projets industriels** sont actuellement à l'étude concernant le golfe de Fos : le passage d'un câble pour RTE, la mise en place d'un hydrogénoduc ainsi que le Développement d'Eolienne Offshore (DEOS) contribuant, s'ils voient le jour, à accentuer la pression anthropique dans la zone d'étude.

Au niveau de l'activité maritime, le Grand Port Maritime de Marseille (GPM) s'étend de Marseille, à l'Est jusqu'à Fos et Lavéra, à l'Ouest et engendre une **circulation maritime dense**. De nombreux navires de commerce, à fort tonnage, sont également au mouillage dans le golfe de Fos. Etant donné la faible granulométrie des sédiments, **les opérations de mouillage** des ancres des navires de commerce provoquent **la remise en suspension** de quantités importantes de sédiments, qui restent en suspension dans la colonne d'eau et participe à maintenir une turbidité élevée dans l'ensemble du golfe de Fos.

■ **Dragage d'entretien des darses**

En outre, la forte activité portuaire de ce port nécessite des **dragages réguliers**, entre 10 et 20 m de profondeur, des darses (au nombre de 4 dans le Golfe de Fos) pour veiller maintenir le trafic maritime. Les matières draguées ont été immergées entre le port de Saint-Gervais et le port de Bouc dans le passé (Figure 19) et sont actuellement immergées au large de la flèche de la Gracieuse. La présence de navires voyageant au niveau mondial peut également entraîner des introductions d'espèces invasives dues aux eaux de ballast.

■ **Plan de prévention des risques technologiques (PPRT)**

Le projet se situe en limite de la servitude du terminal méthanier de la société ELENGY, localisé entre la Darse sud et la plage du Cavaou.

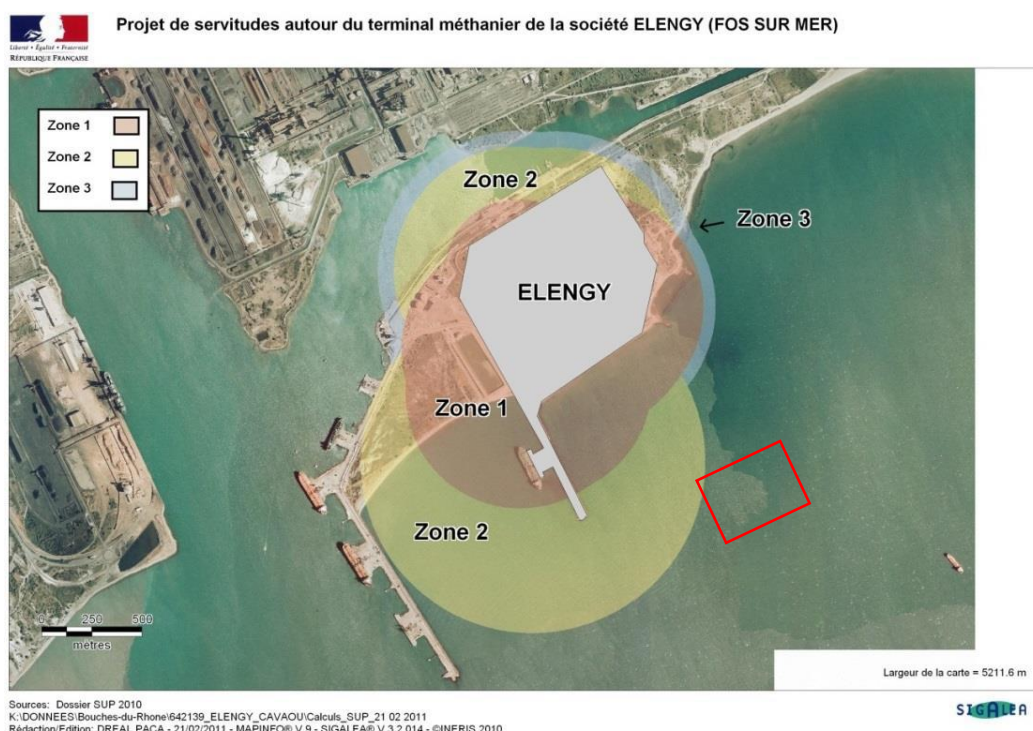


FIGURE 16 : LOCALISATION DES ZONES DE SERVITUDES DU TERMINAL METHANIER DE LA SOCIETE ELENGY

Bien que la zone A se situe dans le périmètre d'une zone de danger de la société Elengy, il ne figure pas parmi la liste des projets interdits. Cependant, le caractère dangereux de cette zone devra être pris en compte lors de l'immersion des récifs et tout au long de leur durée de vie.

3.5 - SYNTHESE DE L'ETAT INITIAL

TABLEAU 4 : SYNTHESE DES ENJEUX DE L'ETAT INITIAL

PARAMETRES	DESCRIPTION SYNTHETIQUE	NIVEAU D'ENJEU
MILIEU PHYSIQUE		
VENTS	L'hydrodynamisme du Golfe de Fos est influencé par plusieurs régimes de vents : le mistral, qui chasse l'eau vers le large et génère l'érosion et l'évaporation ; le vent de sud et sud-est, responsable des fortes houles et tempêtes ; et le vent de sud-ouest (labech), également générateur de houles importantes.	Faible
MAREES	Le régime marégraphique est microtidal semi-diurne, avec une amplitude modérée entre le niveau moyen et les extrêmes : la marée haute atteint en moyenne +0,71 m, et la marée basse descend à +0,27 m.	Faible
HOULES	Le Golfe de Fos, exposé à des houles provenant principalement du sud, avec des vagues pouvant dépasser 6 mètres lors d'événements extrêmes, nécessite une étude approfondie des contraintes hydrodynamiques pour assurer la résistance et la durabilité des récifs artificiels, en particulier lors de tempêtes, en tenant compte des régimes de houle et des conditions locales.	Faible
COURANTOLOGIE	La circulation des eaux dans le golfe de Fos est influencée par trois principaux facteurs : le Courant Nord Méditerranéen, les eaux du Rhône, et les vents, avec des zones distinctes de renouvellement des eaux, où l'Anse de Carteau connaît un faible renouvellement dû à la protection des vents, tandis que l'est du golfe a un taux de renouvellement élevé selon les conditions météorologiques	Moyen
GEOMORPHOLOGIE	La zone d'étude du projet dans le golfe de Fos présente des fonds peu profonds (4 à 10 m), avec des sédiments variant de vases sableuses à sables fins, une bonne qualité sédimentaire dans les zones étudiées, mais une pollution généralisée aux métaux lourds et micropolluants dans les bassins Est du Grand Port Maritime de Marseille, selon le suivi du REPOM.	Moyen
HYDROLOGIE	Le secteur du projet est localisé dans une zone à hydrologie perturbée, influencée par : des apports anthropiques canalisés, un mélange imparfait des masses d'eau, et des phénomènes de stagnation ou de stratification possibles. Cependant, cette dynamique est inhérente au fonctionnement global du golfe de Fos, dont les eaux sont déjà altérées et anthropisées (port industriel, rejets urbains, courants modifiés. Ainsi, en raison du caractère déjà perturbé et de l'évolution potentiellement amplifiée par le changement climatique, la composante "hydrologie" est considérée comme présentant un enjeu moyen pour le projet.	Moyen
QUALITE DE L'EAU	La masse d'eau côtière est considéré Eau Fortement Modifiée (MFEM) en raison des altérations physiques dues à l'aménagement industrialo-portuaire. Le site est marqué par une turbidité régulière complet à des pics importants en raison du vents et de dragage dans la zone portuaire.	Fort
MILIEU NATUREL		

PARAMETRES	DESCRIPTION SYNTHETIQUE	NIVEAU D'ENJEU
HABITATS MARINS ET COTIERS	Le Golfe de Fos abrite divers habitats marins et côtiers, tels que des zones rocheuses, des sables fins, des herbiers de Posidonia Oceanica et des roches infralittorales à algues photophiles, ces derniers étant en mauvais état écologique en raison de pressions anthropiques.	Fort
ZONAGES ENVIRONNEMENTAUX	Plusieurs zones et inventaires environnementaux sont présents dans l'aire éloignée du projet (10km). Soit 27 ZNIEFF, 6 sites du Conservatoire du Littoral, 4 Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) et 9 sites Natura 2000. En revanche, il est essentiel de rappeler qu'il s'agit d'un projet portant sur l'immersion de récifs comprenant des moyens de mises en œuvre adaptés et de moindre impact. Ainsi, au regard de l'importance des habitats et des espèces patrimoniales et d'intérêts de ces zones et inventaires, et concernant l'emprise éloignée du projet, cette composante est sujette à une évolution relative dans le temps en raison des pressions anthropiques croissantes du secteur qui sont, du moins, atténuées par le caractère réglementaire de ces zones. Elle est, ainsi, considérée comme présentant un enjeu Moyen.	Moyen
PAYSAGE SOUS-MARIN		
PAYSAGE SOUS-MARIN	Le paysage sous-marin du secteur d'étude, bien qu'altéré par une forte sédimentation et une visibilité limitée, demeure porteur de diversité écologique avec des substrats rocheux, des herbiers relictuels et des habitats meubles fonctionnels. La dynamique actuelle (recul des herbiers, prolifération d'espèces invasives, homogénéisation du relief) traduit une fragilité accrue du système. Au regard de la valeur écologique de certains micro-habitats, de la sollicitation directe par le projet, et d'une faible évolution du paysage sous-marin, cette composante est considérée comme présentant un enjeu faible.	Moyen
MILIEU HUMAIN		
CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE	Le Golfe de Fos est dominé par l'industrie, la pêche professionnelle, et la plaisance, avec des activités de loisir limitées par la turbidité des eaux. Les usagers soutiennent le projet de récifs artificiels, estimant qu'il valoriserait la zone sans perturber leurs pratiques.	Moyen
RISQUE INDUSTRIEL ET REJET	Le Golfe de Fos subit une forte pression industrielle avec des rejets d'eau, de métaux, et des polluants issus des industries de la zone, ainsi que des contaminations atmosphériques. Les activités portuaires génèrent une turbidité élevée due aux rejets de sédiments , au mouillage des navires et aux dragages réguliers . De plus, des projets industriels à venir pourraient intensifier cette pression. La circulation maritime dense et les introductions d'espèces invasives via les eaux de ballast ajoutent aux risques environnementaux.	Fort

4 - DESCRIPTION DU PROJET

Comme mentionné en introduction, le choix de la zone d'implantation des récifs s'est porté sur les zones A et E. Pour chaque zone, deux scénarios d'aménagement sont proposés. Leur configuration s'oriente autour de l'idée de village, dans l'objectif de créer une continuité écologique logique. Dans cette quatrième partie, nous présentons, de manière plus détaillée, les critères qui ont mené au choix des deux zones (4.1.), une synthèse des différentes options d'aménagements (4.2.), une définition des caractéristiques techniques des modules (4.3.) ainsi que les différentes étapes de mise en œuvre des modules (4.4.).

4.1 - PRESENTATION DES ZONES PRESSENTIES

Les deux zones d'aménagement prioritaires retenues sont présentées sur la carte ci-dessous.

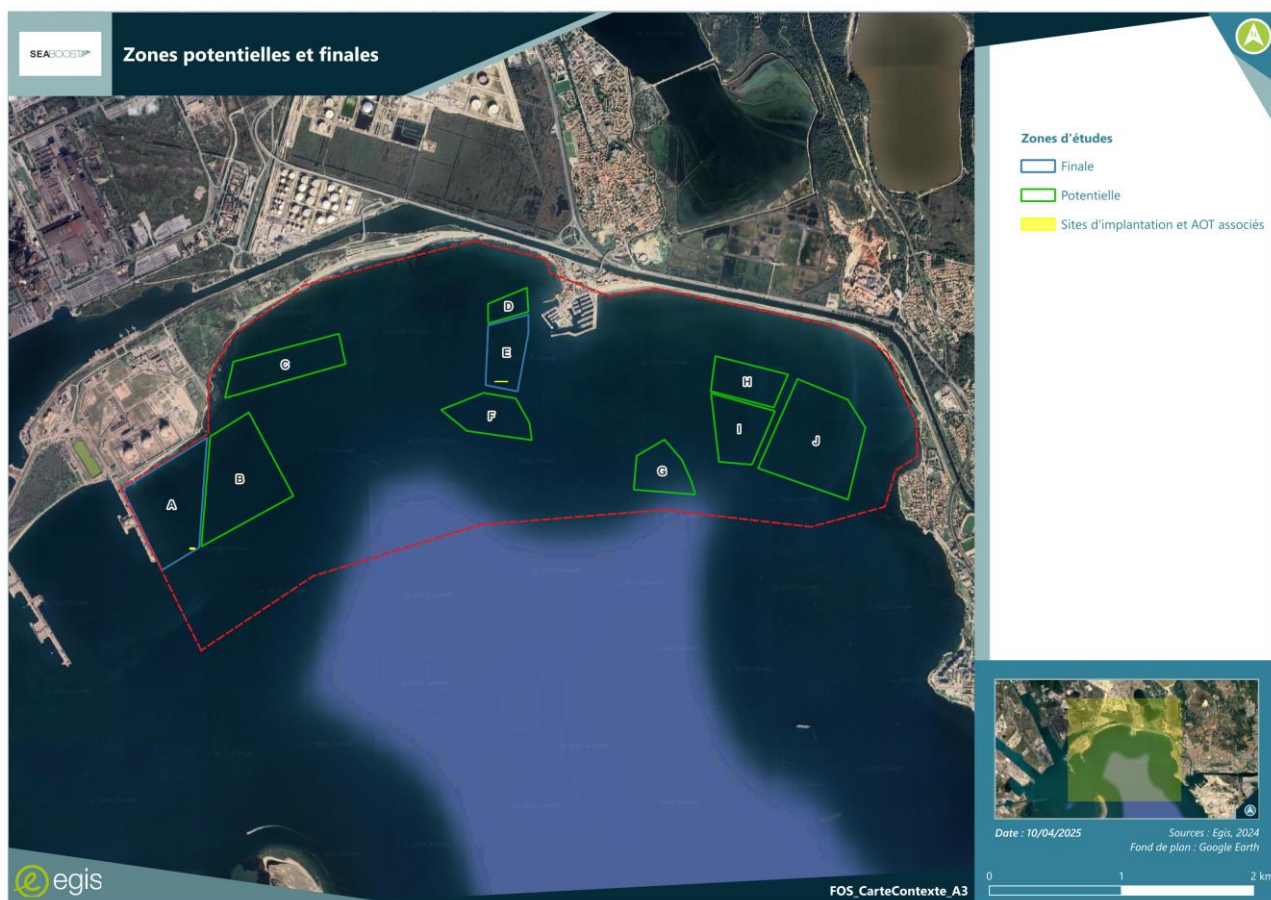


FIGURE 17 : LOCALISATION DES DEUX ZONES RETENUES POUR L'IMMERSION DES RECIFS (EGIS, 2025)

Le processus de sélection s'est basé sur une analyse multicritères présentée dans le tableau suivant. Les deux zones ont été sélectionnées en raison de leurs critères favorables à l'immersion de récifs artificiels. A cette analyse, s'est complété des échanges avec les services de l'Etat et les partenaires du projet notamment : le GPM, la commune de Fos-sur-Mer et NaTran (ancien GRTgaz) afin de valider la localisation de l'immersion des futurs récifs.

TABLEAU 5 : GRILLE DE NOTATION POUR LE CHOIX DE LA ZONE D'IMPLANTATION (P2A DEVELOPPEMENT)

SCORE	TYPE DE SUBSTRAT (ECOLOGIE)	TYPE DE SUBSTRAT (TECHNIQUE)	PROXIMITE HABITATS REMARQUABLES / CORRIDOR	PROFONDEUR MAXIMALE	PRESENCE D'ENTITES ARCHEOLOGIQUES	ZONAGE MOUILLAGE GPMM	USAGES SPECIFIQUES	PERTINENCE D'EMPLACEMENT (MAITRE D'OUVRAGE)
4	Cailloutis	Sable	Herbier	Supérieur à 10 m	Non	OK	Non	Pertinent
3	Sable	Sablo-vaseux	RAP / Matte	5 à 10 m	À retravailler / discuter			Moins pertinent
2	Sablo-vaseux	Vaseux	Digue	0 à 5 m	Oui	Contraignant	Oui	Peu pertinent
1	Vaseux	Cailloutis	Aucun	N/A	N/A	Très contraignant	N/A	Non pertinent

Ainsi, les résultats des analyses pour les deux zones A et E sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

TABLEAU 6 : CARACTERISTIQUES DE LA ZONE E

SUPERFICIE (EN HA)	TYPE DE FONDS (ECOLOGIE)	TYPE DE FONDS (TECHNIQUE)	PROXIMITE HABITATS REMARQUABLES /CORRIDOR	PROFONDEUR MAX	PRESENCE D'ENTITES ARCHEOLOGIQUES (DRASSM)	ZONAGE MOUILLAGE GPMM	USAGES SPECIFIQUES (PLONGEES, PLAISANCE, GLISSE)	AVIS MAIRIE (PERTINENCE D'EMPLACEMENT)
14,6	Sable/sablo-vaseux	sable/ sablo-vaseux	Roche à algues photophiles + matte d'herbier de posidonie	7 m (5 m pour partie Nord)	Oui	Non	Non	Pertinent

TABLEAU 7 : CARACTERISTIQUES DE LA ZONE A

SUPERFICIE (EN HA)	TYPE DE FONDS (ECOLOGIE)	TYPE DE FONDS (TECHNIQUE)	PROXIMITE HABITATS REMARQUABLES/CORRIDOR	PROFONDEUR MAX	PRESENCE D'ENTITES ARCHEOLOGIQUES (DRASSM)	ZONAGE MOUILLAGE GPMM	USAGES SPECIFIQUES (PLONGEES, PLAISANCE, GLISSE)	AVIS MAIRIE (PERTINENCE D'EMPLACEMENT)
36,5	Substrat durs	Cailloutis	Substrat meuble à proximité plutôt vaseux avec présence espèces caractéristiques vases terrigènes	8 m	Non	Non	Non	Pertinent

4.1.1 - PRESENTATION DU SECTEUR E : PROXIMITE DE L'HERBIER

4.1.1.1 - Avantages et particularités de la zone

Le secteur E se caractérise par la présence d'un plateau de substrats durs de roches à algues photophiles au faciès envasé et un herbier relique de Posidonie (*Posidonia oceanica*) en mauvais état, témoignant d'une dégradation progressive due aux pressions anthropiques du secteur. L'implantation de récifs artificiels dans cette zone vise à **renforcer la connectivité écologique** en créant un **corridor entre les habitats existants**, favorisant ainsi la recolonisation et le maintien de la biodiversité associée.

Le fond marin est composé de sédiments à granulométrie variable, allant du sable à la vase, offrant un substrat favorable aux espèces benthiques inféodées aux milieux meubles fins calibrés. La bathymétrie du secteur, comprise entre -4 et -8 mètres, constitue un environnement propice à l'installation des récifs artificiels, en permettant une colonisation efficace par la faune et la flore marine, tout en minimisant les perturbations hydrodynamiques.

4.1.1.2 - Contraintes de la zone

L'hydrodynamisme de la zone d'implantation est fort. Les récifs nécessitent un lestage ou un ancrage suffisamment profond afin de garantir un maintien face à la force de traction générée par le courant et la houle, mais aussi en raison de la possibilité d'une forte érosion sur la zone de déploiement.

Cette érosion peut survenir sur l'ensemble des modules, ou ponctuellement au niveau de la structure, ce qui génère un affouillement. Ce phénomène survient autour de tout élément disposé sur un substrat meuble et se manifeste par la création d'une cuvette autour de la structure. En fonction des conditions hydrodynamiques, de la géométrie de la structure et de la nature cohésive (vase) ou non-cohésive (sable, gravier) des sédiments, ce phénomène sera plus ou moins présent.

Par ailleurs, il est important de noter la présence d'activité de pêche professionnelle et de loisir ainsi que de navigation de plaisance sur le secteur. Ces pratiques engendrent des mouillages pouvant impacter les habitats et fonds marins par arrachement.

4.1.2 - PRESENTATION DU SECTEUR A : CONTRE DE LA DIGUE

4.1.2.1 - Avantages et particularités de la zone

Le secteur A est situé à proximité d'une digue artificielle en enrochements, offrant un habitat stable propice aux espèces inféodées aux substrats durs. Cette zone présente l'avantage d'être interdite à la pêche de loisir, ce qui limite les perturbations anthropiques directes et favorise le développement d'une faune benthique et pélagique diversifiée.

Le fond marin y est composé d'un substrat dur et caillouteux, avec des zones meubles vaseuses situées à proximité, caractérisées par la présence d'espèces adaptées aux vases terrigènes. La bathymétrie du secteur varie de 0 à -8 mètres, offrant des conditions idéales pour l'installation de récifs artificiels et leur colonisation par les espèces ciblées.

Un point commun essentiel avec le secteur E réside dans le fait que ces deux zones sont situées en dehors des zones soumises à une forte pression de mouillage, garantissant ainsi une meilleure stabilité des habitats créés et une réduction des risques de dégradation liés aux ancrages.

4.1.2.2 - Contraintes de la zone

La proximité de la digue peut induire des variations locales du courant et des turbulences, pouvant influencer la sédimentation et l'implantation des récifs artificiels. Bien que le substrat soit principalement caillouteux, la présence de zones meubles vaseuses à proximité peut poser des contraintes en termes de stabilité des structures immergées et de colonisation biologique.

Enfin, même si la zone est interdite à la pêche professionnelle, la présence d'autres usages (navigation, entretien de la digue, activités industrielles) peut générer des perturbations indirectes.

4.2 - SYNTHESE DES DIFFERENTES OPTIONS D'AMENAGEMENT

A ce stade, le projet prévoit l'immersion de récifs artificiels dans la zone A que dans la zone E selon un nombre égal (Scenario 1). Le total d'unités maximal sera de 50 récifs artificiels.

Dans l'objectif d'évaluer l'emprise maximale sur le fond marin associé à l'immersion des récifs artificiels, deux scénarios d'aménagements sont illustrés pour chaque zone intégrant soit 25 unités (emprise maximale à ce stade du dimensionnement estimée à $25 \times 1,21 \text{ m}^2$ soit $30,25 \text{ m}^2$) soit 50 unités (emprise maximale à ce stade de dimensionnement estimée à $50 \times 1,21 \text{ m}^2$ soit $60,5 \text{ m}^2$). Ces derniers sont résumés au Tableau 8 : Synthèse des scénarios selon la zone .

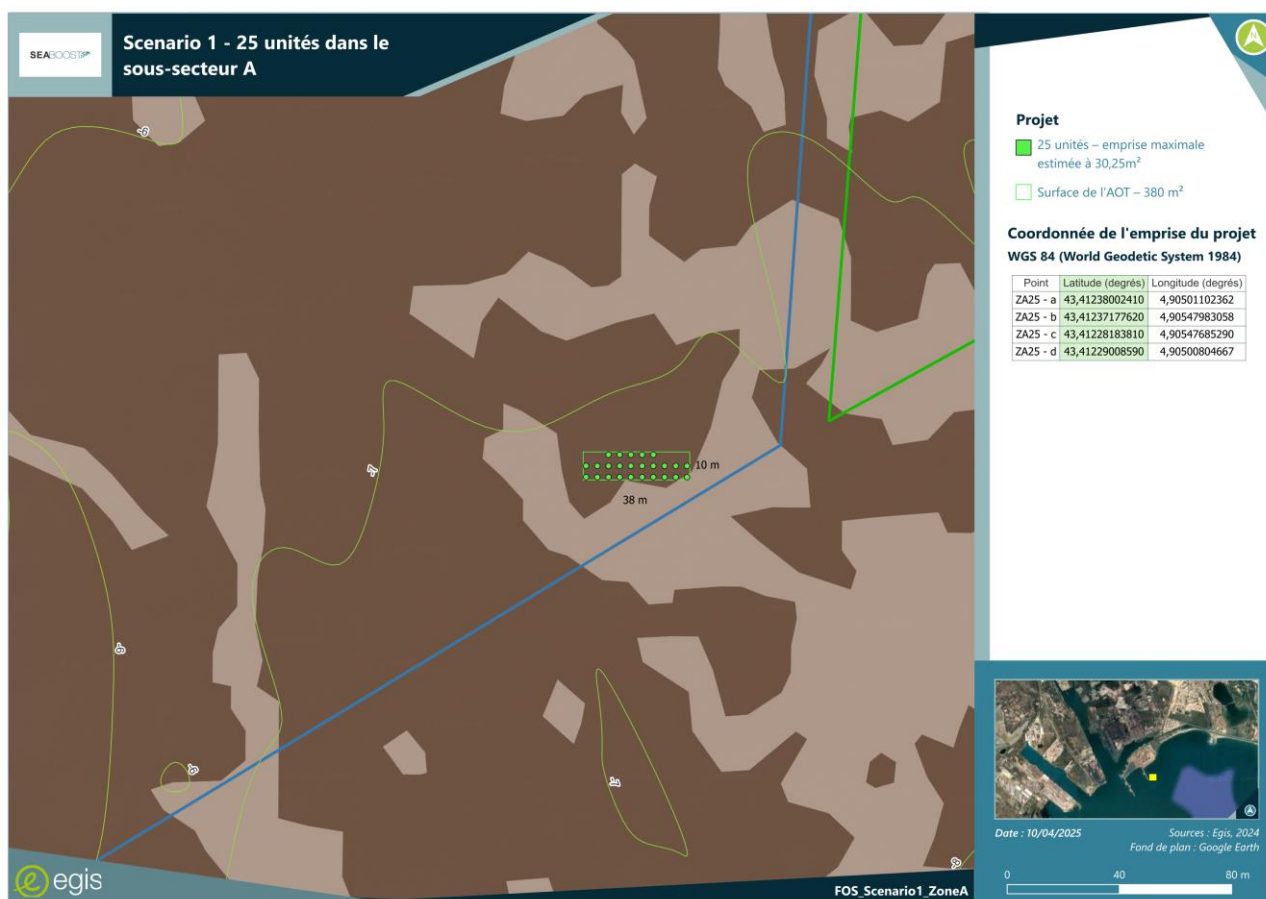
A noter que la surface des AOT demandées au GPMM est celle correspondant aux scénarios 50 unités.

Différentes études de dimensionnement, d'assemblage et d'ancrage sont actuellement en cours de finalisation de façon à continuer à réduire l'emprise directe au sol.

4.2.1 - SCENARIOS D'AMENAGEMENT POUR LA ZONE A

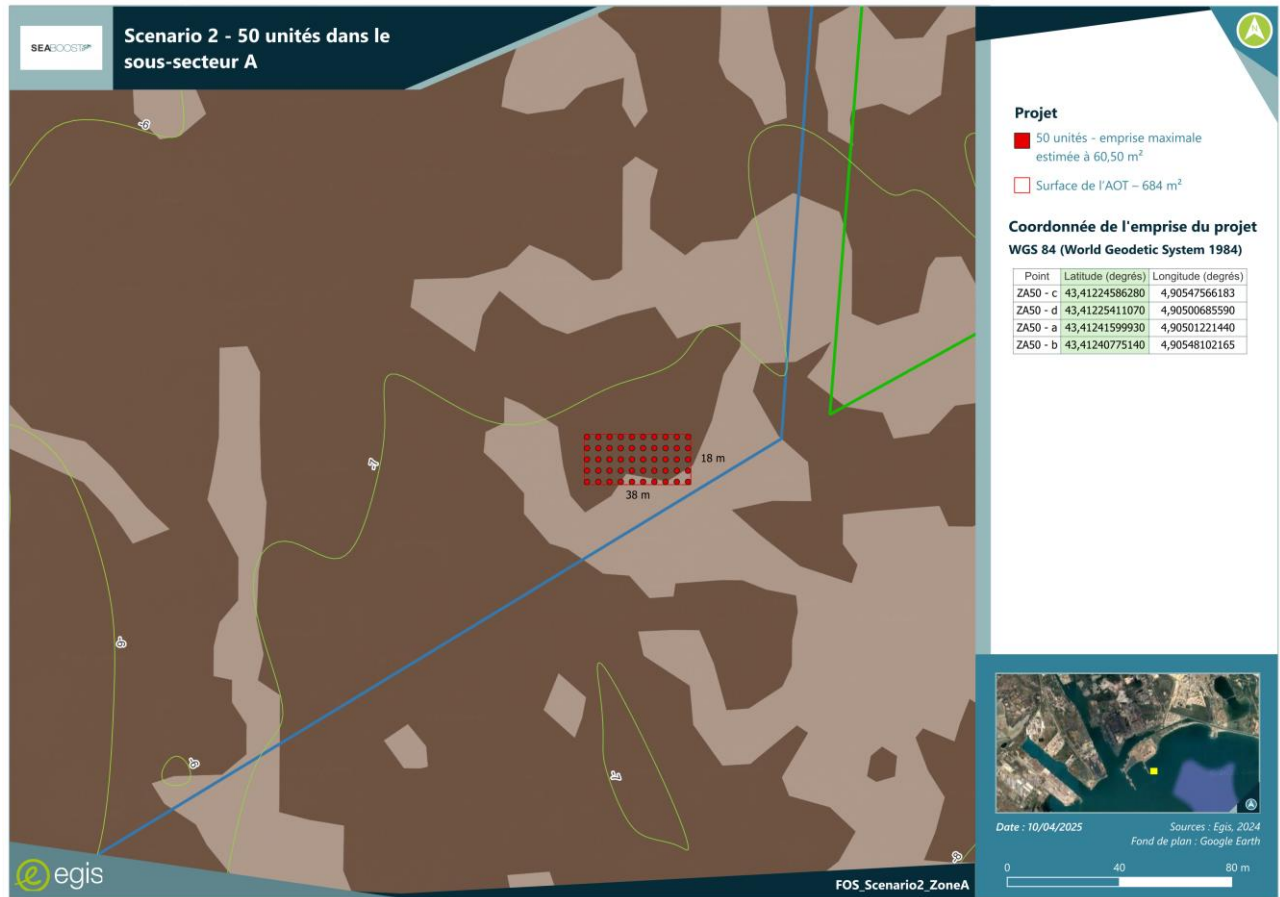
4.2.1.1 - Scénario 1 - A

Un premier scénario proposant l'immersion de 25 récifs avec un calcul de l'emprise maximale de $30,25 \text{ m}^2$ à ce stade du dimensionnement technique



4.2.1.2 - Scénario 2 - A

Un second scénario proposant l’immersion de 50 récifs avec un calcul de l’emprise maximale de 60,5 m² à ce stade du dimensionnement technique



4.2.1 - SCENARIOS D'AMENAGEMENT POUR LA ZONE E

4.2.1.1 - Scénario 1 - E

Ce scénario propose l'immersion de 25 modules avec un calcul de l'emprise maximale du projet de 30,25 m² à ce stade du dimensionnement technique

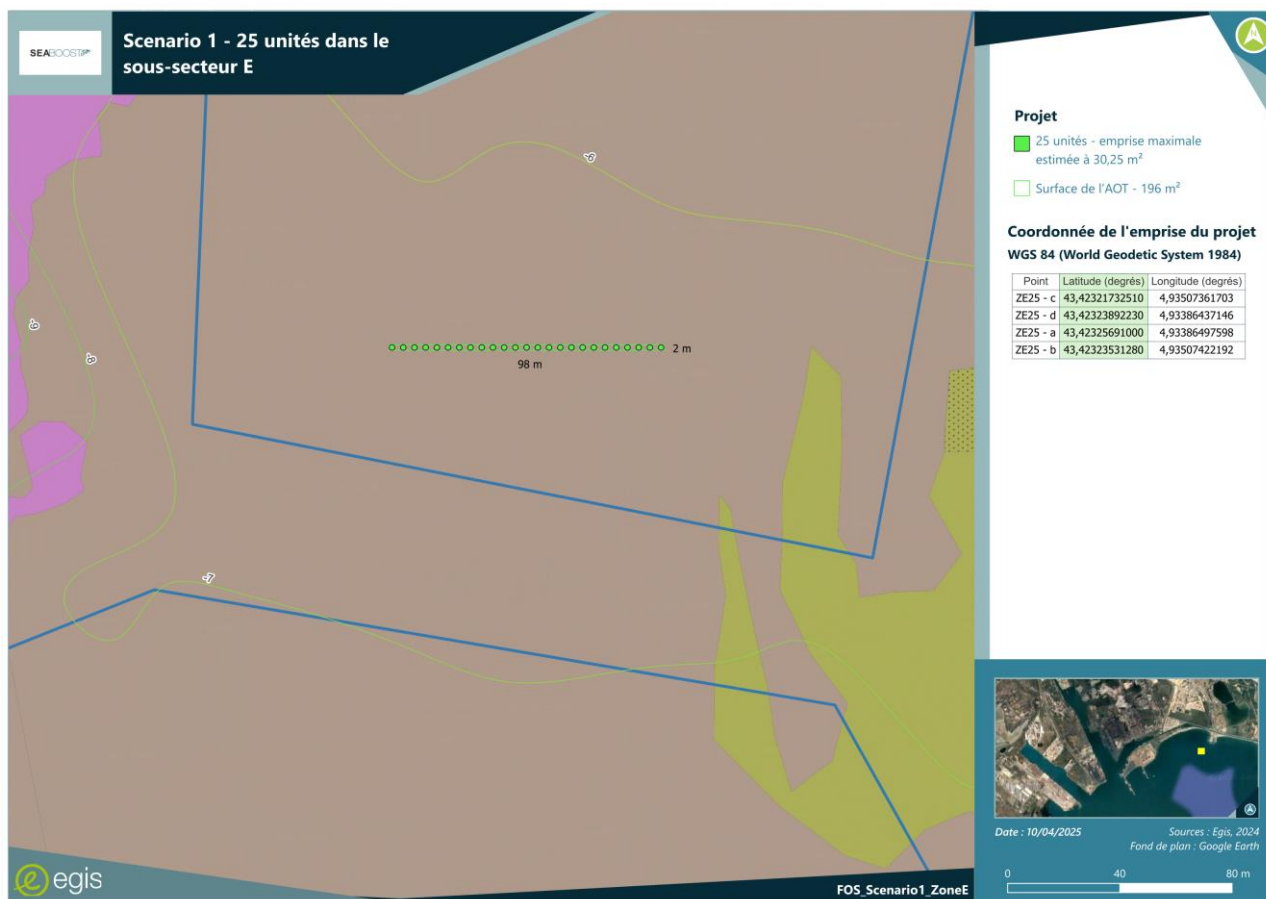


FIGURE 20 : SCENARIO 1 DE LA ZONE 5 AVEC 25 UNITES (EGIS, 2025)

4.2.1.2 - Scénario 2 - E

Ce scénario propose l'immersion de 50 modules avec un calcul de l'emprise maximale du projet de 60,5 m² à ce stade du dimensionnement technique

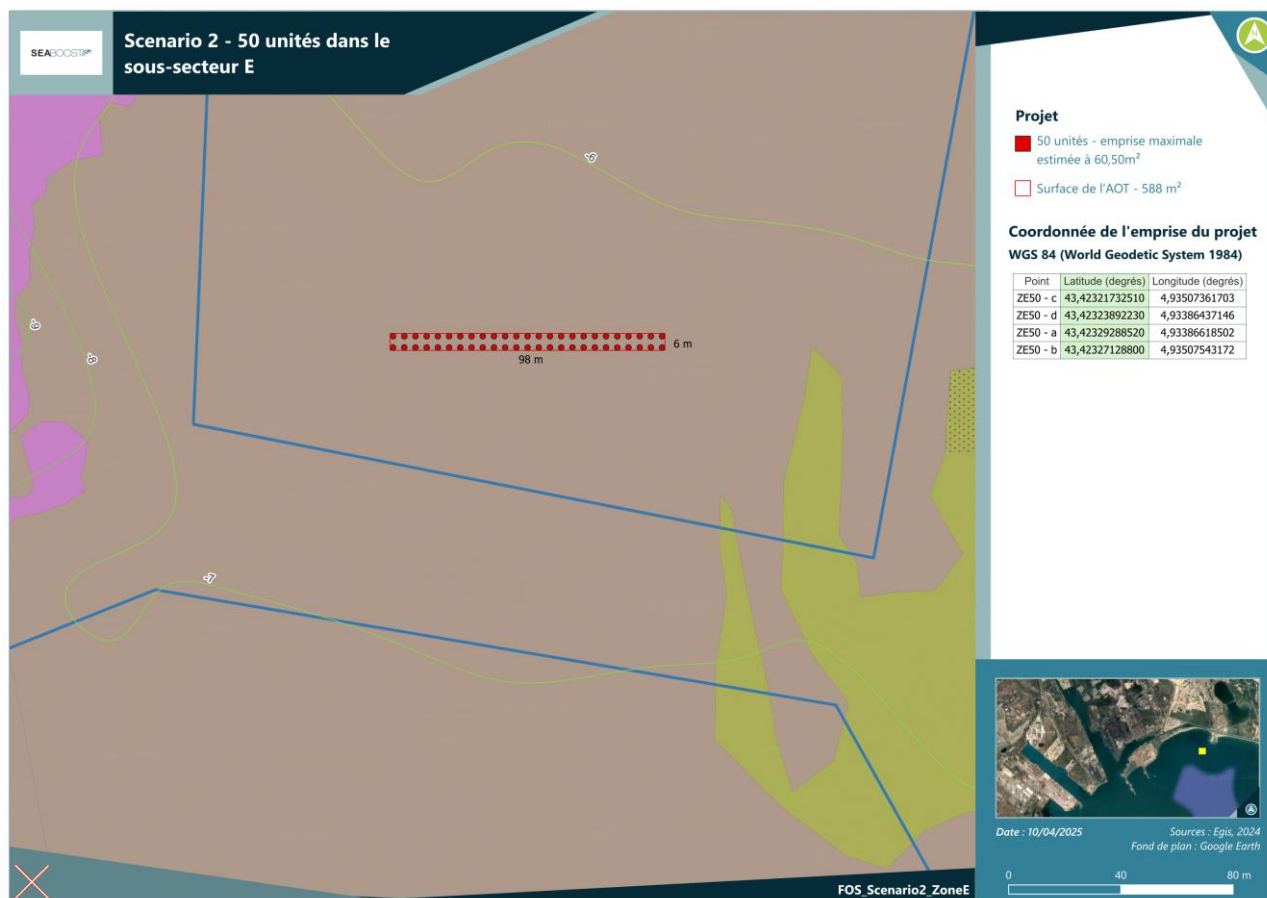


FIGURE 21 : SCENARIO 2 DE LA ZONE 5 AVEC 50 UNITES (EGIS, 2025)

4.2.2 - SYNTHESE DES OPTIONS SELON LE SECTEUR

Le tableau ci-dessous fait la synthèse des dimensions de projet en fonction des scénarios et des zones pressenties.

Pour rappel, le projet prévoit à ce stade l'immersion de récifs artificiels dans la zone A que dans la zone E selon un nombre égal (Scénario 1). Le nombre maximal d'unités sera de 50 récifs artificiels.

TABLEAU 8 : SYNTHESE DES SCENARIOS SELON LA ZONE SELECTIONNEE

Zone A : 36 500 m ² /3,65 ha					Zone E : 14 600 m ² / 1,46 ha			
	Nombre de récifs	Surface AOT (m ²)	% d'occupation Zone A	Emprise maximale au sol (m ²)*	Nombre de récifs	Surface AOT (m ²)*	% d'occupation Zone E	Emprise maximale au sol (m ²)
Scénario 1	25	380	0,1%	30,25	25	196	0,2%	30,25
Scénario 2	50	684	0,2%	60,5	50	588	0,4%	60,5

* Différentes études de dimensionnement, d'assemblage et d'ancrage sont en cours de finalisation de façon à continuer à réduire l'emprise directe au sol du projet en adaptant le design et les systèmes d'ancrages.

4.3 - CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES RECIFS ARTIFICIELS

4.3.1 - DIMENSIONNEMENT DES MODULES

4.3.1.1 - Caractéristiques des récifs artificiels

L'illustration ci-dessous présente un premier design de récif artificiel. Ce dernier résulte d'une démarche de R&D dont les principales étapes sont décrites dans le chapitre suivant. Les dimensions maximales (hauteur, largeur, emprise au sol) sont ici précisées.

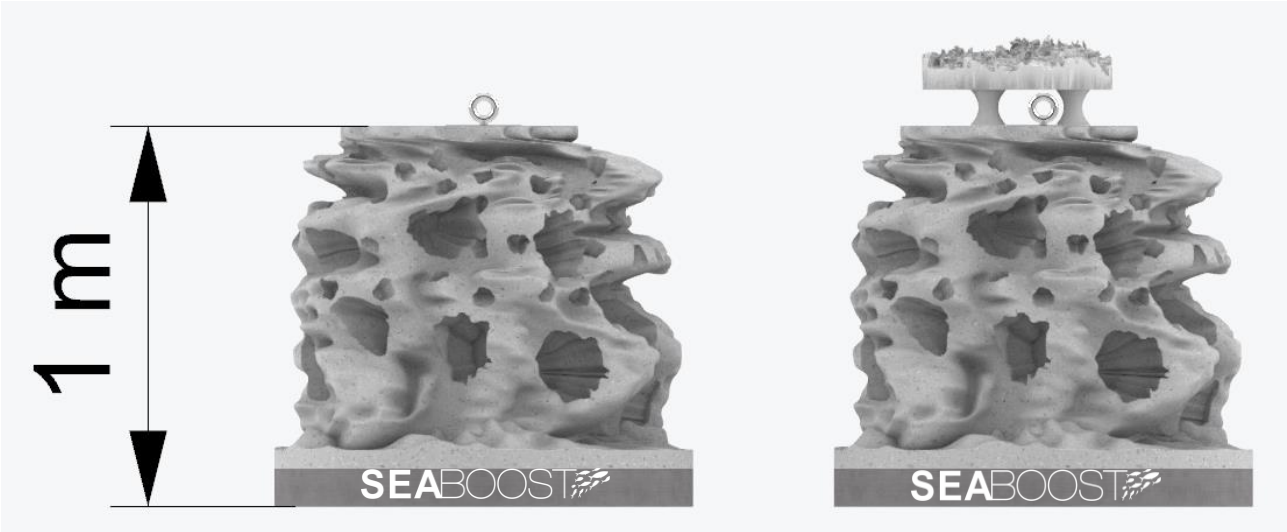


FIGURE 22 : DESIGN DES RECIFS EN COURS

Ces récifs s'inspirent directement des roches naturelles poreuses et complexes situées dans le périmètre du Parc marin de la côte de bleue. Nous détaillons dans un prochain chapitre les méthodes qui ont permis de conduire à ce dimensionnement et se design.

TABEAU 9 : SYNTHES DES PARAMETRES GEOMETRIQUES DES RECIFS

PARAMETRES	VALEURS ESTIMEES ACTUELLES		
RUGOSITE LINEAIRE	 $\frac{\text{distance 3D}}{\text{distance 2D}}$	Vue de face	2,38
		Vue de droite	2,03
		Vue de gauche	2,42
		Vue arrière	2,00
		Moyenne	2,21
RUGOSITE DE SURFACE	$\frac{\text{Aire 3D}}{\text{Aire 2D}}$	Vue de face	2,96
		Vue de droite	2,96
		Vue de gauche	3,44
		Vue arrière	3,20
		Moyenne	3,14
NOMBRE DE PETITES CAVITES (5-7cm)	84 (sur une surface de 1,73 m2)		
NOMBRE DE GRANDES CAVITES (15-20cm)	18		
CAVITE CENTRALE	1 (ouverture de 60cm sur 15cm de haut)		
FAILLES	Présence de failles verticales de 5cm de profondeur		
VOLUME DE REMPLISSAGE (CUBE)	47 %		
MASSE	984 kg avec dalle imprimée (1214 kg avec dalle coulée)		

4.3.1.2 - Fonctionnalités des modules

L'immersion des récifs a pour objectif d'atteindre les fonctionnalités suivantes :

- **La réhabilitation des fonctionnalités** perdues ou dégradées des écosystèmes des petits fonds côtiers de substrat dur ;
- **La valorisation et le développement durable des ressources halieutiques** afin de soutenir la pêche locale artisanale.
- **La suppression des pressions anthropiques** sur les biocénoses marines et l'optimisation des connexions écologiques ;

4.3.1.3 - Matériaux employés

Les récifs artificiels seront réalisés en béton (mélange de granulats, sable, ciment et eau) selon deux méthodes de fabrication, l'impression 3D (majoritaire et permettant de réaliser des designs bioinspirés innovants) et la préfabrication par moulage (coffrage classique et moulage siliconé)

Jugé inerte et colonisable, le béton est largement utilisé en milieu marin que ce soit pour la réalisation des infrastructures portuaires, côtières ou des récifs artificiels.

Ce projet de R&D intègre néanmoins une analyse multicritères de plusieurs formulations de béton innovants présents ou émergents sur le marché selon des critères issus de la bibliographie internationale : bilan carbone, niveau d'avancement en recherche et développement (R&D), biocompatibilité, retour d'expérience, imprimabilité, type et provenance du ciment utilisé, résistance mécanique et coût.

Les différentes formes de béton à l'étude sont les suivantes :

■ **CYBE : 3D Mortar**

Le mortier d'impression *3D mortar* est non métallique, à base de CEM I et de granulats de quartz avec une très faible concentration en chlorure et sulfate (% massique non spécifiés). Ce mortier a l'avantage de commencer à prendre en 3 minutes et atteint une résistance structurelle après 1 heure, avec la possibilité d'imprimer sur une couche au bout de 10 secondes. Le *3D mortar* possède une empreinte carbone plus élevée que les autres mortiers du projet mais néanmoins avec 27 % d'émission en moins que le ciment Portland, soit une émission de 488 kg CO₂ éq./t.

■ **LAFARGE-HOLCIM : Tector print 846LC 2k Micromortar**

Le mortier étudié dans le cadre du projet est un mortier spécialement conçu par *Lafarge-Holcim* pour une utilisation 3D, le *Tector print 846LC 2k micromortar*. Il a été choisi pour ses propriétés mécaniques hautes et sa faible émission de CO₂. En effet, ce mortier possède une proportion de clinker réduite grâce à l'incorporation d'un résidu de l'extraction de roches calcaires, le filler calcaire. Ainsi, la production du mortier d'impression émet 178,3 kg CO₂ éq./t soit une réduction de 76% par rapport au ciment Portland.

■ **VICAT : Mortier à base de liant CARAT V-BCN 133H**

Ce matériau est un mortier à base du liant *CARAT V-BCN 133H*, développé par *VICAT*, cimentier français à réputation internationale qui accorde une grande part de R&D dans ses formulations. Le ciment *CARAT* est un ciment bas carbone avec l'innovation majeure d'un impact carbone négatif, de -15,3 kg CO₂éq./t. L'utilisation d'un matériau biosourcé, le biochar, lors de la fabrication du liant permet d'arriver à ce résultat. Le biochar est un matériau poreux et carboné issu de la pyrolyse de la biomasse (résidus forestiers et chutes de scierie). Il permet de stocker le carbone accumulé par la biomasse sous une forme stable, évitant ainsi la libération graduelle du carbone dans le cas où la plante se serait décomposée naturellement. *VICAT* affirme que 2,9 tonnes de CO₂ sont stockées par tonne de biochar utilisé pour la fabrication du liant *CARAT*.

■ D-SHAPE: mortier D-SHAPE

L'innovation du matériau D-SHAPE réside dans le fait qu'il est compatible avec la technologie d'impression 3D développée par cette même entreprise. Le procédé dit "Binder Jetting" est un procédé d'impression 3D par dépôt de couches successives de solvant liant (eau) dans un lit de prémix de mortier et de chaux. Le lit de prémix faisant office à la fois de matériau d'impression et de support d'impression pour la couche suivante, cette technique permet d'achever des structures complexes et très détaillées (par exemple des structures Voronoï ou présentant de nombreuses cavités), là où la technique d'impression 3D classique ne peut pas faire de variation de trajectoire importante sur des couches consécutives.

Les quatre formulations les plus prometteuses sont testées en laboratoire pour ainsi trouver le matériau le plus performant, les tests étant notamment :

- **Tests de biocompatibilité et de lixiviation normalisés** type Microtox®FX afin d'évaluer leur inertie chimique et leur impact potentiel sur l'environnement marin.
- **Tests innovants sur la croissance et la viabilité des cellules animales** et des symbiotes végétaux d'*Anemonia viridis*



TABEAU 10 : ILLUSTRATION DES 4 MATERIAUX PRE-SELECTIONNES ET ENVOYES EN LABORATOIRE AU T1 2025.
A. CYBE B. VICAT C. LAFRAGE-HOLCIM D. D SHAPE

Le matériau principal retenu pour la fabrication des récifs sera celui jugé le plus performant à l'issue des tests menés en cours tant d'un point de vue technique, économique qu'en terme de biocompatibilité.

Le béton sera non ou faiblement armé, les armatures à béton seront en fibre de verre GLASSPREE® ou en acier inoxydable type 316 A4 UGIGRIPP®.

Les systèmes de levage et d'ancrage des récifs seront en acier inoxydable, acier brut ou acier galvanisé.

Tout est conçu pour minimiser les quantités de béton et d'acier au strict minimum, afin d'avoir un bilan carbone réduit.

4.3.1.4 - Modules et problématique sédimentaire

Les villages s'étendent sur une distance maximale de 50 m. **Ils ne constituent en rien des barrages sédimentaires** car très ouverts au passage des flux, chaque unité étant espacée d'environ 2m. Ils permettent au transit sédimentaire de poursuivre son déplacement quel que soit sa quantité et sa direction, contrairement aux digues traditionnelles qui contraignent le sédiment à contourner l'infrastructure. Néanmoins, il est possible que les anfractuosités des récifs permettent un dépôt à l'intérieur de ces derniers notamment sur les niveaux inférieurs, mais à la vue du volume occupé par les modules, la quantité de sédiments piégés reste négligeable.

à l'échelle du golfe. Notons qu'aucune cavité verticale (pouvant se remplir par le haut par un dépôt progressif au cours du temps) ne sera réalisée afin d'éviter tout risque d'envasement du module.

4.3.1.5 - Organisation des modules en « village »

L'organisation en village présente de nombreux avantages, reconnus depuis des décennies (des siècles en Asie). Localement, cette approche a démontré son efficacité dans le cadre du plus grand projet de récifs artificiels en Méditerranée : les récifs du Prado (32 000 m³ de récifs). Ce projet a permis d'accroître et de diversifier les ressources marines, soutenant ainsi la pêche artisanale professionnelle tout en contribuant à la réhabilitation écologique de fonds marins dégradés, marqués notamment par une régression importante de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans le passé (N. Susperregui, L. Soulier, 2009).

L'organisation en village poursuit plusieurs objectifs :

- Renforcer l'attractivité et les transferts biologiques pour les espèces marines.
- Augmenter la richesse et la densité des populations présentes sur les récifs.
- Diversifier les habitats grâce à une variété de modules adaptés aux besoins écologiques.
- Optimiser l'agencement spatial, notamment par une disposition triangulaire, offrant le meilleur compromis entre surface et volume pour maximiser les interactions biologiques.
- Créer une discontinuité physique, favorable aux habitats de transition, comme les interfaces entre l'herbier de *Posidonia oceanica* et les zones sableuses.
- Comparaison entre les deux sites

4.3.1.6 - Types d'ancrages

4.3.1.6.1 - Description des modes d'ancrage étudiés

Les récifs à l'étude pourront être ancrés selon les quatre modes suivants :

■ Auto-lestage

La masse propre du récif permet d'assurer sa stabilité face aux efforts hydrodynamiques.

Cette solution nécessite une masse de récif d'environ 2,5 T d'après les calculs de stabilité préliminaires.

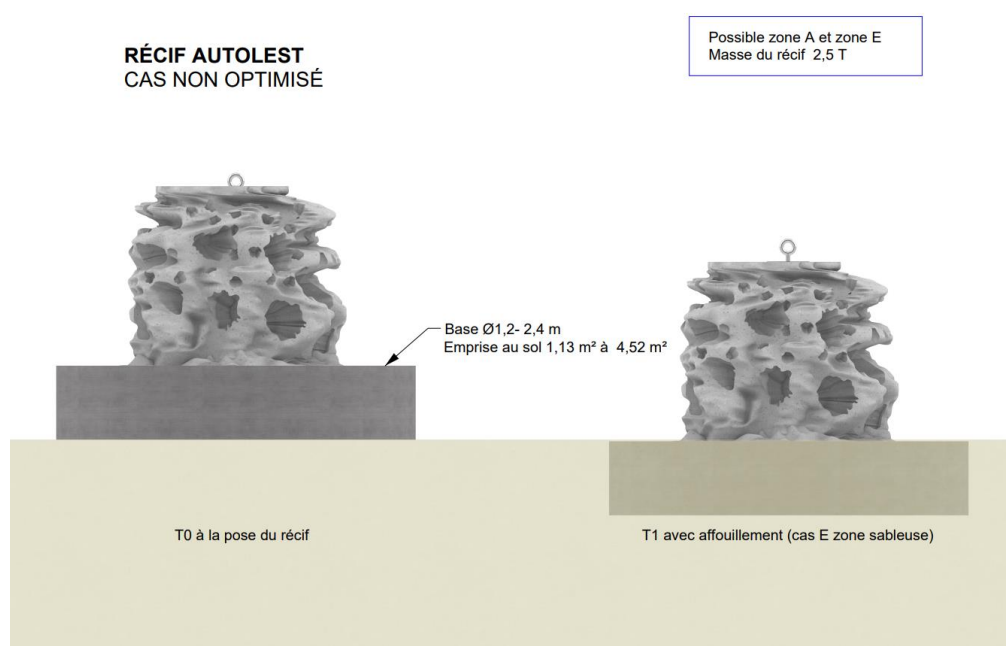


FIGURE 23 : RECIF AUTOLEST AU MOMENT DE LA POSE (A T0) ET APRES MOUVEMENT SEDIMENTAIRE EVENTUEL (A T1)

■ Crampons :

Le récif comporte des crampons qui permettent d'assurer la stabilité tout en diminuant sa masse propre. Les crampons apportent de la résistance aux efforts hydrodynamiques et permettent de limiter l'ensablement du récif en cas d'affouillement.

Cette solution nécessite une masse de récif d'environ 1.5 T d'après les calculs de stabilité préliminaires.

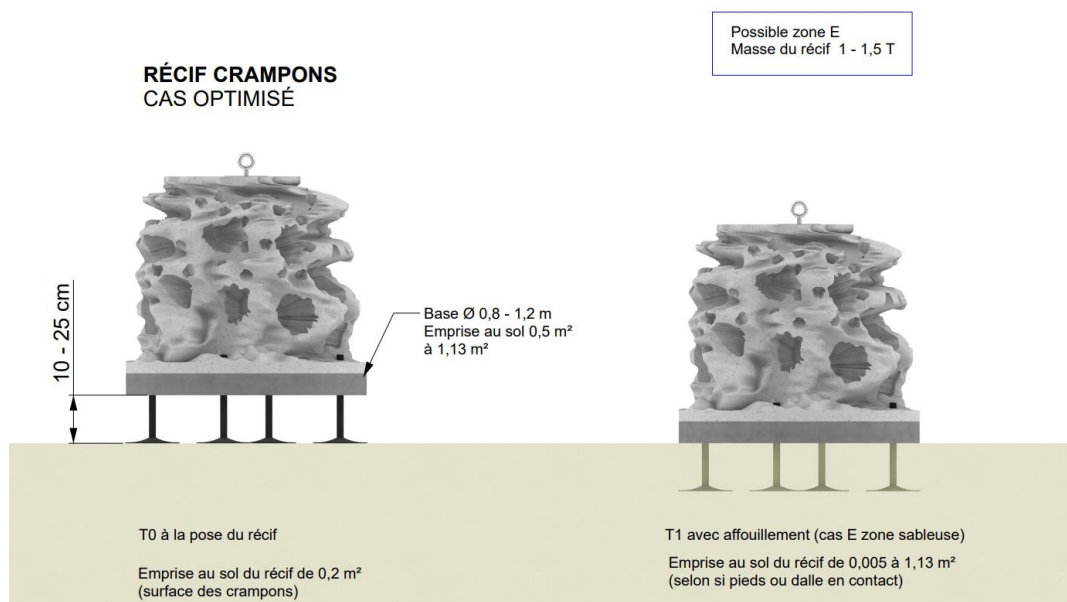


FIGURE 24 : RECIF CRAMPONS AU MOMENT DE LA POSE (A T0) ET APRES MOUVEMENT SEDIMENTAIRE EVENTUEL (A T1)

■ Micro-pieu

Lorsque le poids propre de chaque récif ne suffit pas à assurer la stabilité ou que l'on souhaite alléger le récif, il est possible de rajouter un micro-pieu, battu avec un outil manuel sous-marin, pour augmenter la tenue du récif face aux efforts de houle. Le micro-pieu est alors disposé au centre du récif, battu par un plongeur.

Cette solution nécessite une masse de récif d'environ 1.2 T d'après les calculs de stabilité préliminaires.

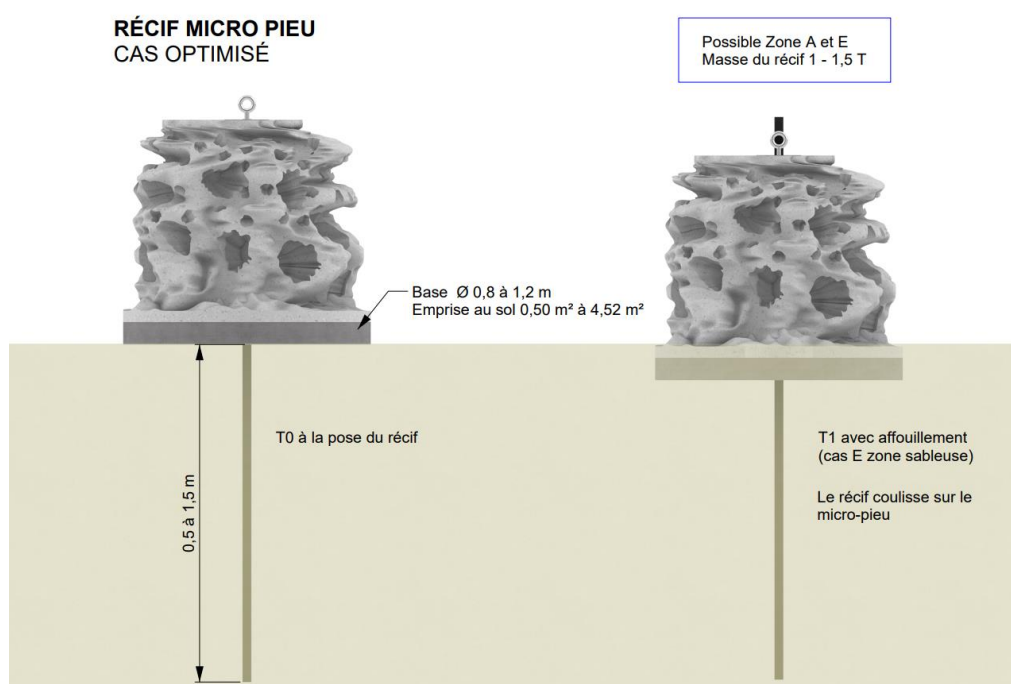


FIGURE 25 : RECIF MICRO-PIEU AU MOMENT DE LA POSE (A T0) ET APRES MOUVEMENT SEDIMENTAIRE EVENTUEL (A T1)

■ Ancrage à vis (ou vis à sable)

Lorsque le poids propre de chaque récif ne suffit pas à assurer la stabilité, que l'on souhaite alléger le récif, ou que l'on souhaite empêcher le récif de s'ensabler après affouillement, il est possible de rajouter une ancre à vis (vissée dans le sol à la tarière hydraulique ou enfoncé au motopompe) pour augmenter la tenue du récif face aux efforts de houle. L'ancre à vis sera disposée au centre du récif, battu par un plongeur.

Cette solution nécessite une masse de récif d'environ 1.2 T d'après les calculs de stabilité préliminaires.

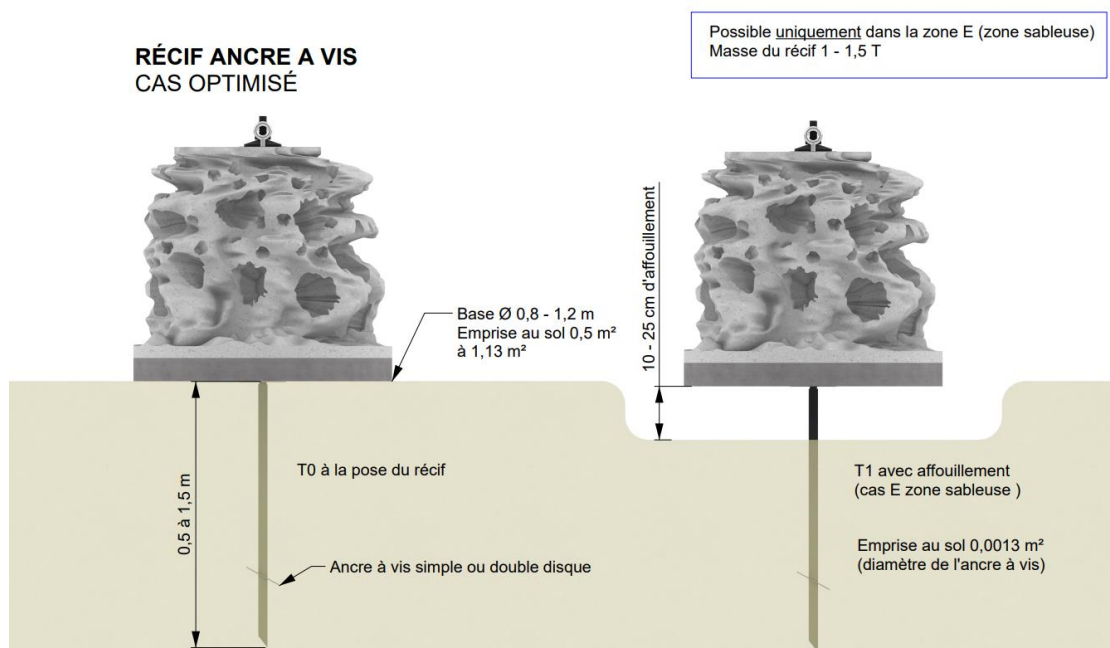


FIGURE 26 : RECIF ANCRE A VIS AU MOMENT DE LA POSE (A T0) ET APRES MOUVEMENT SEDIMENTAIRE EVENTUEL (A T1)

Les choix des modes d'ancrage sont à l'étude, il pourra être différent selon la zone A et E car le substrat diffère. Notre objectif est d'avoir une masse de récif minimale (corrélée à l'empreinte au sol) pour un ancrage maximal avec un coût travaux (matériel et déploiement) optimisé.

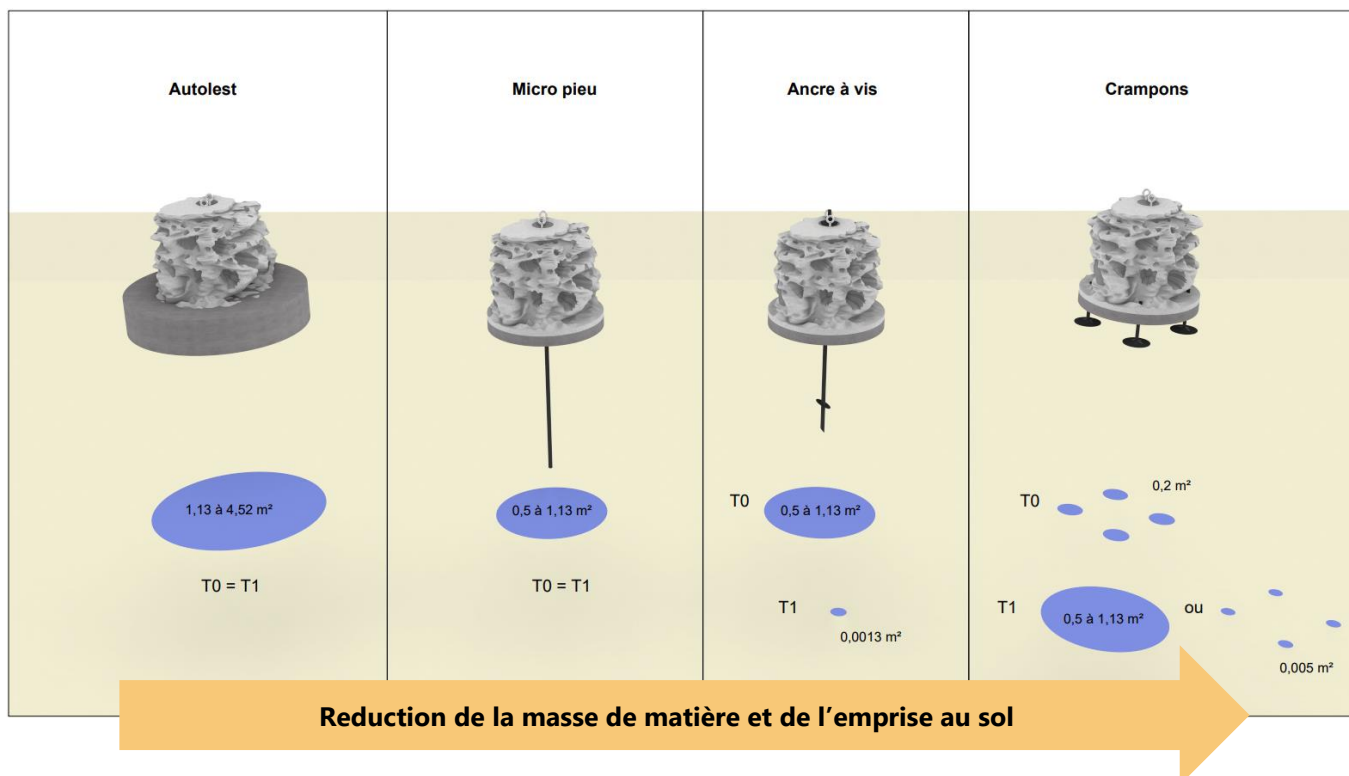


FIGURE 27 : COMPARAISON DES DIFFERENTES SCENARIOS D'ANCRAGE ET LEUR EMPRISE AU SOL EVENTUELLES A T0 ET T1. L'OBJECTIF EST DE LIMITER L'EMPRISE AU SOL A 1,2M2 PAR UNITE AU MAXIMUM

4.3.1.6.2 - Mode d'ancrage pressentis par zones A et E

La zone A, caillouteuse et vaseuse ne présente pas de signe de mouvement de sédiment, le niveau de sédiment est stable et la portance du substrat bonne puisque des blocs de roches (1-20kg) visibles sur le substrat n'ont pas disparu.

- Sur cette zone nous pressentons un ancrage des récifs par poids propre et micropieu.

La zone E, sableuse ne présente pas de mouvement de sédiment visible. Mais étant donné la non-cohésivité du sable, les récifs peuvent s'affouiller et légèrement s'ensabler dans le temps (généralement entre 10-30cm). Il apparaît donc nécessaire de prévoir l'affouillement dans le dispositif d'ancrage.

- Nous pressentons un ancrage des récifs avec crampons et/ou ancrage à vis.

4.3.2 - PHASE DE CONCEPTION

L'immersion des récifs artificiels dans le Golfe de Fos ont pour objectif d'assister activement à la régénération de composantes biotiques et abiotiques impactées par le passé de façon à proposer de nouveaux habitats et d'étudier la réhabilitation de certaines fonctionnalités écologiques dégradées.

Ainsi, la construction et le design des futurs récifs s'articulent autour de deux axes d'étude, le premier portant sur le biomimétisme des écosystèmes récréés, le second portant sur l'optimisation des matériaux utilisés.

4.3.2.1 - Analyse photogrammétrique

Le secteur du futur pilote expérimental à Fos-sur-Mer est fortement anthropisé et les roches naturelles en présence ont subi historiquement de nombreuses pressions historiques (mouillages, envasement...). Ainsi dans l'objectif de modéliser des roches naturelles de petits fonds en bon état, les zones naturelles adjacentes ont été ciblées. Le secteur de la Côte bleue a de ce fait été prospecté. Plus précisément, les stations de petits fonds rocheux faisant l'objet d'un suivi historique « Indicateur Poisson » par le Parc Marin de la Côte Bleue ont été retenus, et ce à des profondeurs similaires, afin de réaliser les modèles photogrammétriques 3D. Les

caractéristiques architecturales et mathématiques de ces modèles ont vocation à être intégré dans les objectifs de design du cahier des charges des récifs artificiels du projet.

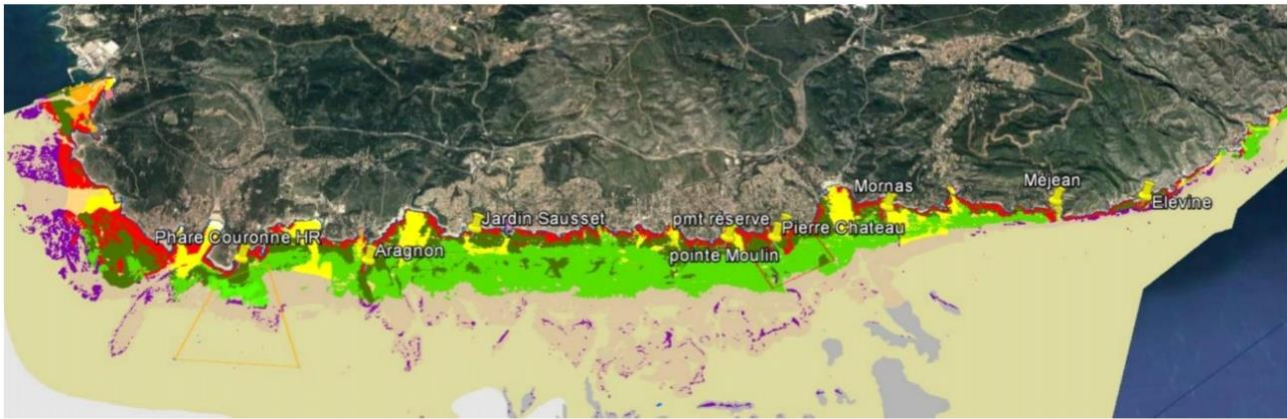


FIGURE 28 : CARTE DES DIFFERENTS SITES ETUDIES

TABLEAU 11 : LOCALISATION DES SITES DE PROSPECTION

NOM DU SITE	LATITUDE	LONGITUDE	N° DU SITE	N° DU MODELE	PROFONDEUR	TYPE
Île de L'Érevine	49°19'59"N	5°14.179'E	Site 1	Modèle 1	5-7m	Surfacique
				Modèle 2-3	5-7m	Objet
Aiguille de Méjean	43°19.713'N	5.13.076'E	Site 2	Modèle 4	5-7m	Surfacique
				Modèle 5	5-7m	Objet
Anthenors Sud	43°19.810'N	5°12.149'E	Site 3	Modèle 6	5-7m	Objet
				Modèle 7	5-7m	Surfacique
Îlot Grand Mornas	43°19.760'N	5°11.032'E	Site 4	Modèle 8	5-7m	Surfacique
				Modèle 9	5-7m	Objet
Corniche Sausset les pins	42°19.705'N	5°6.079'E	Site 5	Modèle 10	5-7m	Objet
				Modèle 11	5-7m	Objet
				Modèle 12	5-7m	Surfacique
Île Aragnon Sud	43°19.420'N	5°4.816'E	Site 6	Modèle 13	5-7m	Surfacique

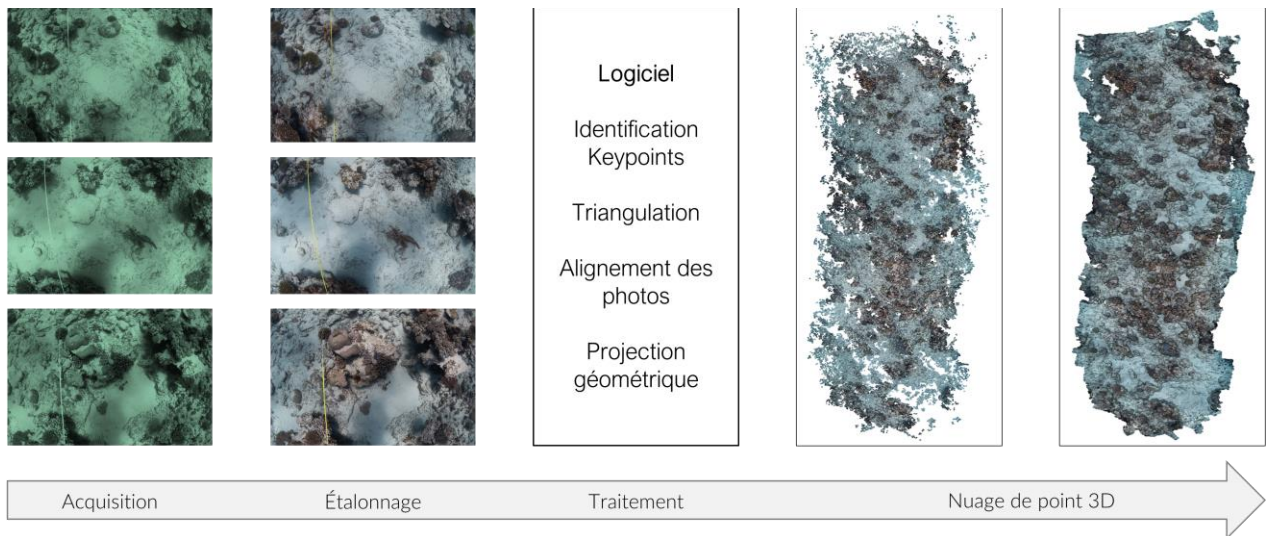


FIGURE 29 : SCHEMA DU PREMIER TRAITEMENT DE DONNEES, CONSTRUISANT UN NUAGE DE POINTS DANS UN ESPACE 3D

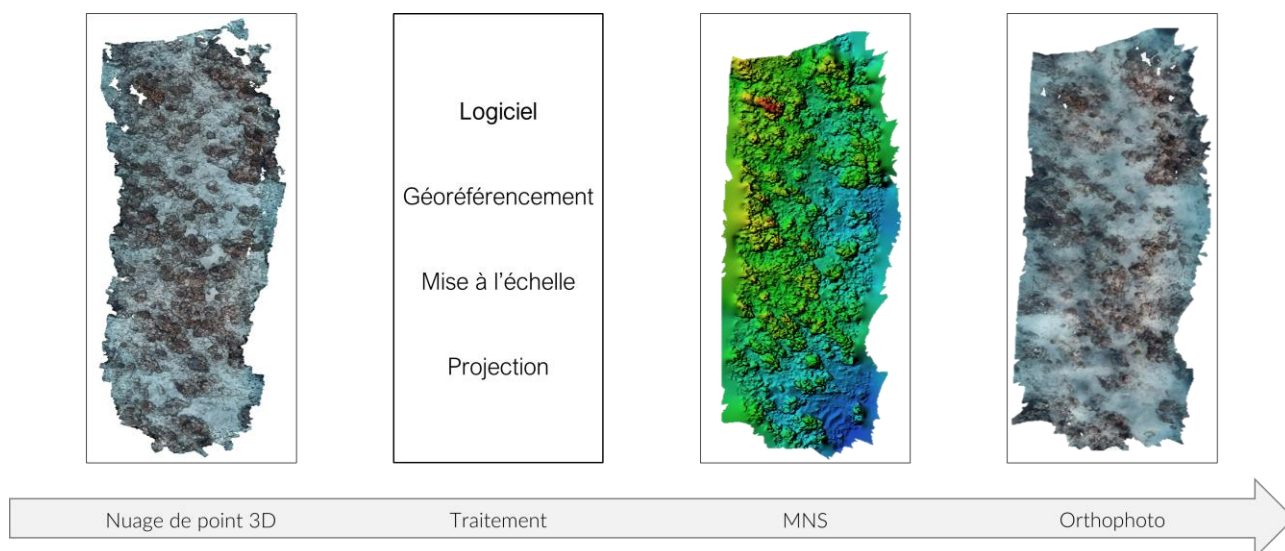


FIGURE 30 : SCHEMA DE LA CONSTRUCTION D'UN MODÈLE D'ELEVATION ET D'UNE ORTHOPHOTO

Au total, six sites ont été étudiés permettant la réalisation d'un total de 13 modèles avec une surface totale de 295m². L'objectif était de sélectionner des modèles qui répondent à des besoins spécifiques comme des caractéristiques ou des fonctionnalités écologiques précises, ciblées en fonction des besoins du projet.

Les modèles ont été sélectionnés puis analysés selon les caractéristiques suivantes au travers de transects et de quadrats : forte rugosité, pente, cavités, etc.

Les résultats montrent une grande variation des indices. Les modèles avec des fissures et des cavités ont montré une rugosité plus élevée que les modèles avec une seule orientation. La **rugosité linéaire variait de 1,2 à 3,9** entre les modèles et la **rugosité de surface variait de 1,6 à 7,7** pour les photoquadrats et de **1,5 à 7,7 pour la surface totale**. Le volume rempli variait entre 26% et 88% entre les modèles. **La taille des cavités varie entre 1,8 et 7 cm**, avec **un diamètre moyen de 3,5 cm** et **une médiane de 2,9 cm**.

La moyenne sur l'ensemble des sites pour chaque indicateur calculé sur la base des modèles photogrammétrique est la suivante :

- **Rugosité linéaire** : 2,18 (mesuré sur 1 mètre linéaire)
- **Rugosité surfacique** : 3,04 (mesuré sur des quadrat de 1 mètre carré, 3,59 par modèle complet)
- **Pente** : 2,95 m par modèle complet
- **Volume** : 61% par mètre carré
- **Diamètre ouverture des cavités** : 3,5cm
- **Profondeurs des cavités** : Dominée par petites cavités de 2 à 9 cm / Présence régulière cavités moyennes de 15 à 20 cm / Présence ponctuelle de grandes cavités sur le fond de > 1 m de profondeur / Présence de failles ponctuelles de plusieurs mètres de long
- **Densité des cavités** : 28 – 48 petites cavités par mètre carré

4.3.2.2 - Conception du récif 3D

Les analyses photogrammétriques et le cahier des charges géométriques qui en découlent ont permis de concevoir un modèle innovant de récif en 3D à l'aide des logiciels Rhino 3D et Grasshopper.

Le récif est décomposé en différentes parties utiles : une partie imprimée en 3D béton avec la technologie 'Binder Jetting', une partie en béton coulé structurante et un « chapeau » en béton moulé au silicone représentant exactement la surface d'un récif naturel. La partie imprimée en 3D béton est constituée d'une partie biomimétique, le rocher, et d'une partie support, la dalle imprimée. Dans la suite de cette note est

détaillée la partie conception du rocher. Ce dernier sera recouvert par une rague biomimétique réalisée à partir d'un moule en silicone.

4.3.2.3 - Conception du rocher

Le récif est conçu de manière à remplir un cube de 1,1 x 1,1 x 1 m avec la présence d'un plateau sur son sommet pour fixer le chapeau (non inclus dans le calcul du volume de remplissage). Les courbes du rocher sont faites de manière à anticiper la présence des cavités et renforcements observés sur les récifs naturels étudiés et offrir différents degrés d'exposition à la lumière. Les détails de leur conception sont fournis dans la suite de cette note. Le volume de remplissage du récif sans anfractuosité et aspérité détaillée est de 47% ce qui répond au critère d'un volume de remplissage inférieur à 60%.

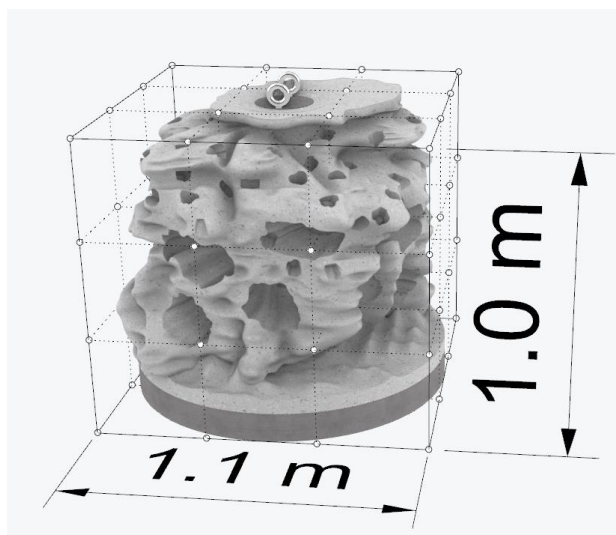


FIGURE 31 : DIMENSIONS DU RECIF

4.3.2.4 - Décomposition du récif

■ Rague

Présence d'une rague traversante de largeur 60 cm et de hauteur de 10 et 15 cm, dont l'ouverture s'élargie à l'intérieur du récif pour atteindre une hauteur de 20 cm (Figure 32).

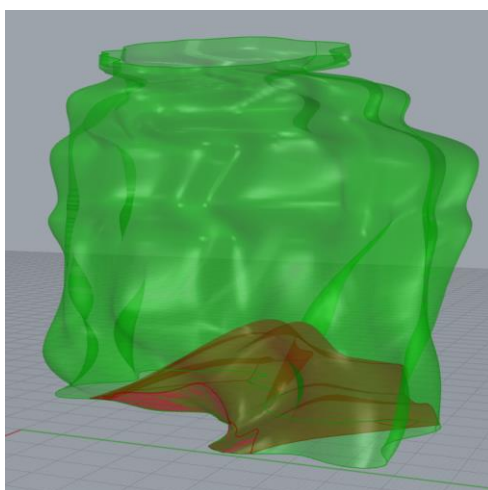


FIGURE 32 : RAGUE TRAVERSANTE (EN ROUGE) AU SEIN DU RECIF (ENVELOPPE EN VERT)

■ Renforcements

Des renforcements de hauteur 5 à 15 cm et de profondeur jusqu'à 20 cm sont intégrés sur les côtés du récif en référence aux modèles photogrammétrique observé (Réf). Ces renforcements permettent de créer des zones moins exposées à la lumière en plus de créer plus de surface utile.

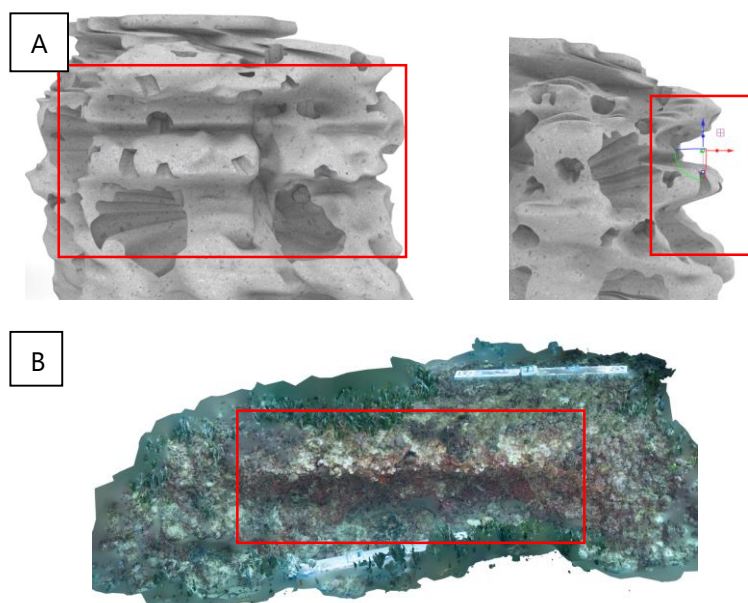


FIGURE 33 : RENFORCEMENTS SUR LE RECIF ARTIFICIEL (A) INSPIRES D'UN RENFORCEMENT OBSERVE SUR UN RECIF NATUREL (B)

■ Failles

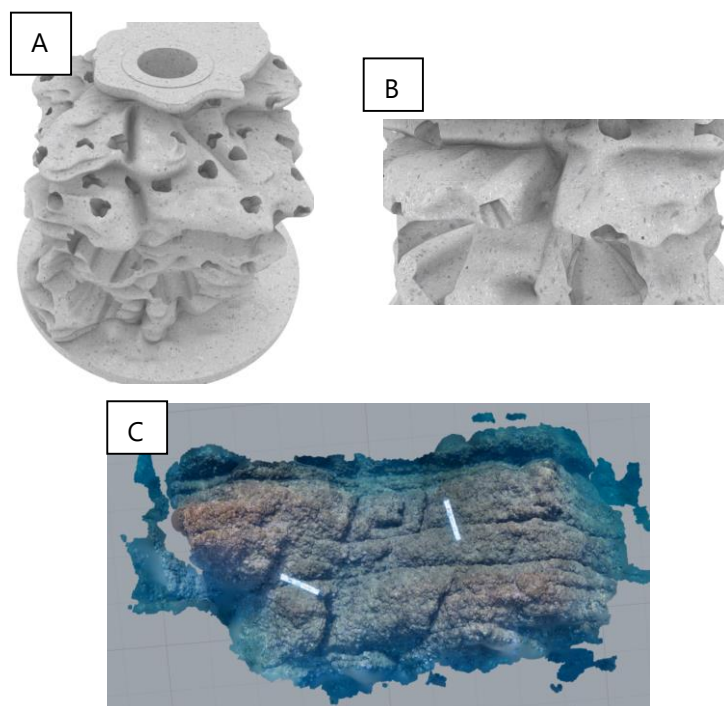


FIGURE 34 : FAILLES MODELISEES (A ET B) INSPIREES DE FAILLES OBSERVEES SUR UN RECIF NATUREL (C)

Les failles sont des anfractuosités observées sur les récifs naturels étudiés à des échelles plus importantes : certaines peuvent atteindre un mètre de profondeur. Dans certains modèles 3D des strates géologiques de la roche entrecoupées de fissures transversales de profondeur de 20 à 30 cm sont observées. Le récif artificiel conçu présente des failles plus courtes et moins profondes (5 cm et 7 cm) qui imitent ces dernières.

■ Cavités moyennes

18 cavités moyennes de géométrie variable sont réparties sur une hauteur de 61 cm soit une présence sur 57% de la surface du récif.

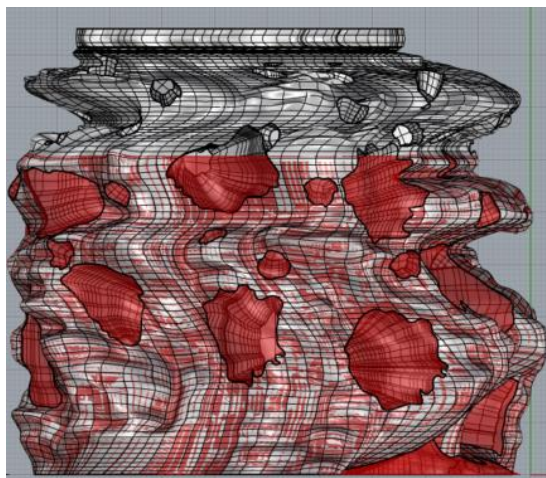


FIGURE 35 : ZONE DE REPARTITION DES CAVITES MOYENNES SUR LA SURFACE DU RECIF

■ Petites cavités

Trois motifs de petites cavités sont répartis sur la partie haute du récif, occupant 45% de la surface totale de celui-ci. Au total, 84 cavités sont créées ce qui correspond à la densité de 48 cavités par mètre carré sur la surface cible. L'ouverture des cavités est comprise entre 5 et 7 cm de diamètre pour pallier la résolution d'impression.

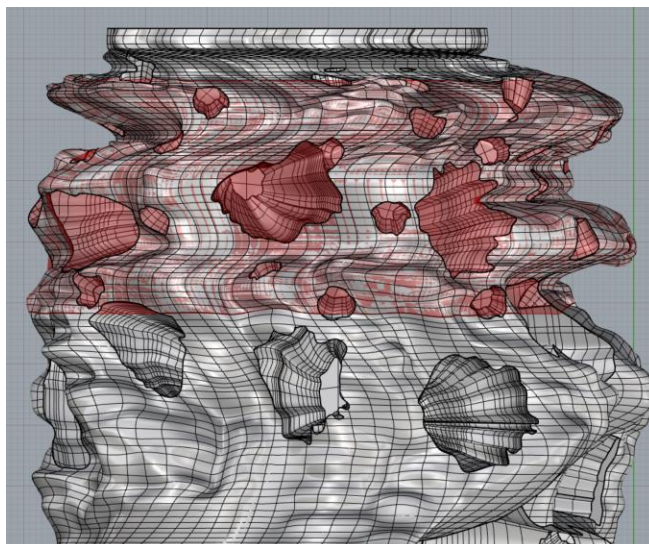


FIGURE 36 : ZONE DE REPARTITION DES PETITES CAVITES SUR LA SURFACE DU RECIF

Ces premières itérations ont ensuite servi de base pour le développement d'un prototype initial. Grâce à un processus de bio-inspiration et d'optimisation architecturale, le design a été affiné et complexifié pour aboutir à une version finale en cours de finalisation, adaptée aux contraintes d'impression.

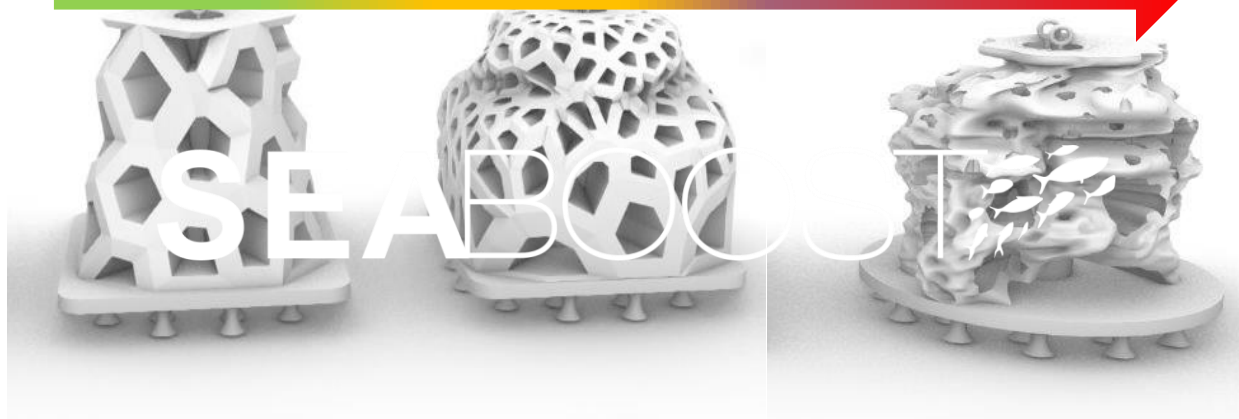


FIGURE 37 : PROCESSUS DE DESIGN BIOINSPIRÉ EN COURS DE REALISATION

4.3.2.1 - Etude hydrodynamique et de stabilité

L'implantation des récifs artificiels nécessite une étude de stabilité afin de dimensionner au mieux les récifs et leur moyen d'ancrage face aux efforts induits par la houle, en période de tempête. Pour cette étude, nous avons retenu des valeurs d'une houle trentennale. Les récifs sont considérés installés à une profondeur entre 6 et 8m.

4.3.2.1.1 - Hypothèses sur la houle incidente au large et au niveau des récifs

Dans cette première itération de calcul hydrodynamique les données de houles sont issues des données de bouées Candhis 1305 et 1306 (données du CEREMA) à proximité de notre zone d'installation des récifs artificiels. Les données sont compilées pour fixer une valeur de houle correspondant à un retour trentennal au large dans une profondeur d'eau de 55m.

Un calcul de propagation de la houle (méthode de *Shoaling Goda*) est ensuite réalisé pour obtenir les valeurs de houle trentennales à la profondeur des récifs de 7.5m.

La houle résultante trentennale préliminaire aux récifs est la suivante :

- Hauteur significative: **Hs = 4,05m**
- Hauteur max des vagues : **Hmax = 5,73m**
- Période de vague : **Tp = 9,6s**
- Direction dominante: **Dir = 190°**

CANDHIS : 01306 – Golfe de Fos

Informations générales

Durée d'observation : 2,33 ans
du 03/12/18 au 30/06/21

Latitude : 43°18,967' N

Longitude : 04°55,222' E

Distance à la côte : 2,7 milles

Profondeur : 55 mètres

Marnage (VEM) : -



CANDHIS : 01305 – Le Planier

Informations générales

Durée d'observation : 9,60 ans
du 18/01/11 au 31/12/21

Latitude : 43°12,500' N

Longitude : 05°13,800' E

Distance à la côte : 4,6 milles

Profondeur : 70 mètres

Marnage (VEM) : -



Période de retour	$H_{1/3}$ (mètres)		Int. de Conf. 70% (mètres)		T_{av} Int. Conf. 70% (secondes) ⁽¹⁾	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	4,16	4,32	3,96 à 4,26	4,12 à 4,54	6,61 à 7,43	6,74 à 7,57
10 ans	4,32	4,62	4,07 à 4,43	4,37 à 4,89	6,74 à 7,57	6,96 à 7,83
20 ans	4,47	4,92	4,15 à 4,62	4,62 à 5,24	6,85 à 7,70	7,19 à 8,08

$$^{(1)} T_{av} = \sqrt{2\pi L_{med} / g} \cdot \tanh(2\pi Prof / L_{med}) \text{ avec } L_{med} = H_{1/3} / Cambrure$$

Ajustement statistique :

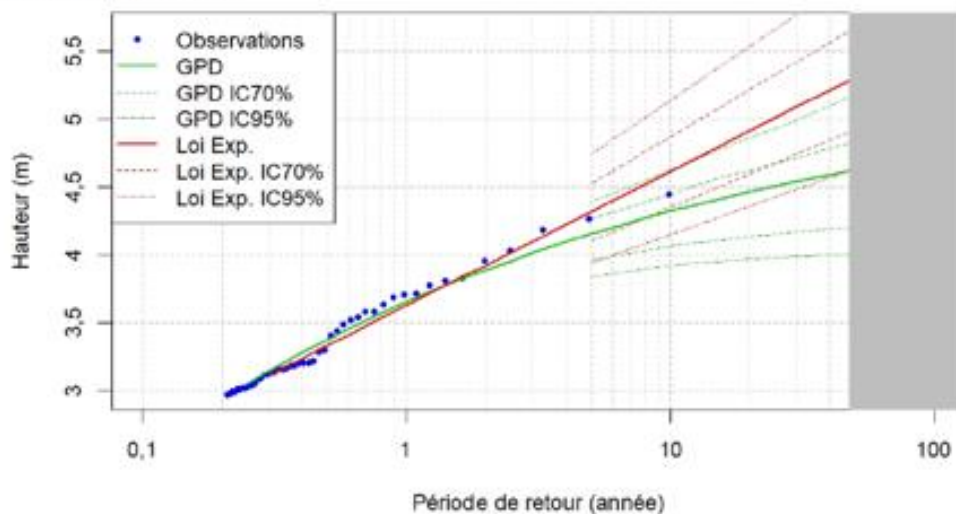


FIGURE 38 : LOCALISATION DES POINTS DE DONNEES CANDHIS DISPONIBLES POUR L'ANALYSE DE LA HOULE AU LARGE

Données de houle au large issue des données CANDHIS (CEREMA)						
Cas de houle au large	N° Bouée Candhis	Profondeur à la bouée	Hs	Hmax	Tp	Direction
		m	m	m	s	°
Tempête réelle 19	1306	55	4,01	6,1	9,6	186
Tempête réelle 20	1306	55	4,03	5,85	8	207
Tempête réelle 19	1305	70	4,45	7,7	9,6	248
Tempête réelle 20	1305	70	3,83	5,68	7,9	225
loi GDP 30 ans	1305	70	4,75	7,59	9,6	
Retour 30 ans estimé bouée du Golfe de FOS	1306	55	4,28	6,36	9,6	190°

Données de houle aux récifs (ZONE A ou E)						
Cas de houle en zone d'installation des récifs		Profondeur minimum (incluant surcôte)	Hs	Hmax	Tp	Direction
		m	m	m	s	°
Retour 30 ans estimé sur zone de récif		7,5	4,05	5,73	9,6	190°

FIGURE 39 : DONNEES PRELIMINAIRES DE LA HOULE POUR LE CALCUL HYDRODYNAMIQUE

La zone d'installation des récifs est située dans en tout début de la zone de déferlement (critère mathématique qui considère que les premières vagues commencent à casser à cette profondeur). D'après la bibliographie, Il est estimé que les efforts induits par la houle en zone de déferlement peuvent être jusqu'à 2 fois supérieurs aux efforts induit en zone non déferlante. Néanmoins, étant donnée la position amont de nos récifs en zone de déferlement, le coefficient de sécurité lié au déferlement sera challengé pour ne pas se pénaliser au dimensionnement et optimiser les quantités de matière et l'ancrage.

4.3.2.1.2 - Méthode de calcul des efforts hydrodynamiques et modèle de récif calculé (préliminaires)

La méthode de calcul pour l'estimation des forces hydrodynamique est la méthode de Morison qui calcule la vitesse orbitale et l'accélération des particules d'eau selon la profondeur, la force de trainé, la force d'inertie et la force de portance sur un récifs aux coefficients hydrodynamique données.

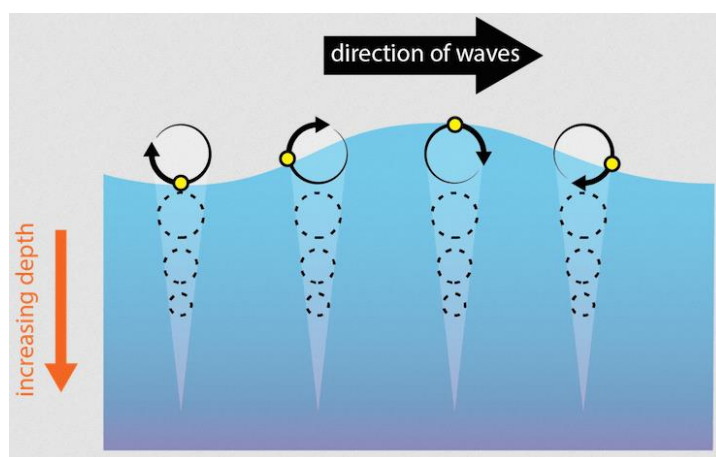


FIGURE 40 : SCHEMA DE DECROISSANCE DE LA VITESSE DE COURANT EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

FORCES HYDRODYNAMIQUES- Calcul de Morison	
• Calculation of the design orbital velocity	
$U_b = \frac{\pi H \cosh(k(z+d))}{T \sinh(kd)}$	With: ▪ H the height wave, ▪ T its period, ▪ k the number of waves ($= 2\pi / T$), ▪ z the depth at the point of calculation ▪ d the total water height.
• Drag and inertia forces calculation	
$f_{trainée-inertie} = \frac{1}{2} \rho C_D A U U + \rho C_M S \dot{U}$	With: ▪ ρ, density of water ▪ C_D, drag coefficient (depending on the shape) ▪ A, characteristic dimension considered ▪ U, flow velocity ▪ $C_M = 1 + C_m$, coefficient of inertia ▪ S, characteristic cross section considered ▪ $\dot{U}$, particle acceleration.
• Lift forces (perpendicular to flow / vertical)	
$f_{portance} = \frac{1}{2} \rho C_L A U^2$	With: ▪ ρ, density of water ▪ C_L, lift coefficient (corresponding to C_y or C_z depending on the case) ▪ A, characteristic dimension considered ▪ U, velocity of the flow.

FIGURE 41 : FORMULES UTILISEES POUR LE CALCUL DES FORCES HYDRODYNAMIQUES

Dans le calcul hydrodynamique le modèle de récif est considéré par ses valeurs dimensionnelles (géométrie, masse, densité) et des coefficients hydrodynamiques (issue de bibliographie, et de modélisation en canal à houle physique sur des structures similaires)

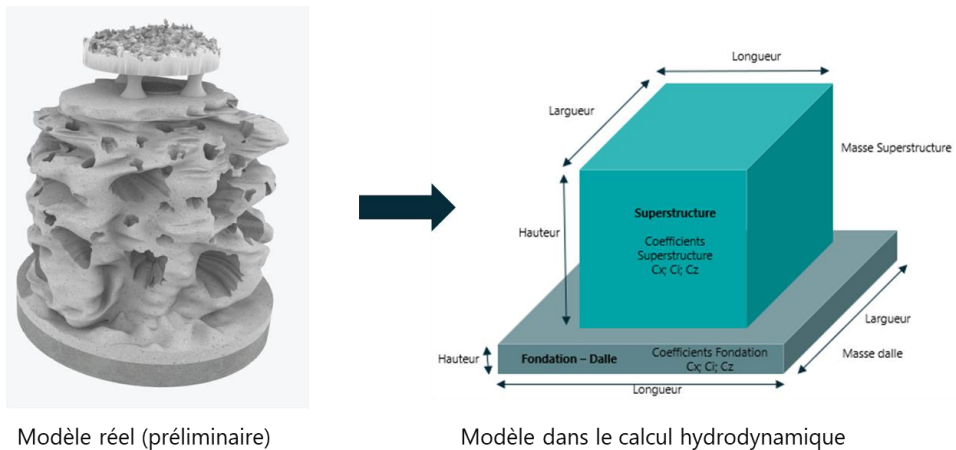


FIGURE 42 : MODELE REEL ET CONSIDERE DANS LE CALCUL HYDRODYNAMIQUE

4.3.2.1.3 - Résultats des calculs hydrodynamiques (préliminaires)

La stabilité des récifs artificiels est évaluée selon 3 critères :

- Le **SOULEVEMENT** : les courants de houle qui s’engouffrent dans les cavités du récif génèrent une force verticale de bas en haut, en raison de la portance des sections horizontale de chaque récif dans le flux. . Notre analyse compare d’une part cette force issue de portance verticale exercée de bas en haut, avec d’autre part la force exercée de haut en bas par le poids déjaugé et un système supplémentaire d’ancrage complémentaire, si présent. L’objectif est de compenser la force qui tend à soulever le récif par les forces qui visent à le plaquer au fond.
- Le **GLISSEMENT** : les courants de houle génèrent une force de poussée horizontale sur la structure. Notre analyse compare la force horizontale de la houle avec les forces qui tendent à limiter le mouvement horizontal du récif, à savoir la force de frottement résistante du récif avec le substrat (angle de frottement sable-béton) et la force apportée par un système supplémentaire d’ancrage si présent.

- Le **RENVERSEMENT** : selon le design et la position du centre de gravité du récif, ce dernier peut se renverser. Ce renversement est dû principalement à l'effet de levier exercé par le flux en un point éloigné du centre de gravité du récif. Notre analyse compare le moment induit par les forces de houle et le moment résistant du récif (poids propre + système supplémentaire d'ancrage si présent).

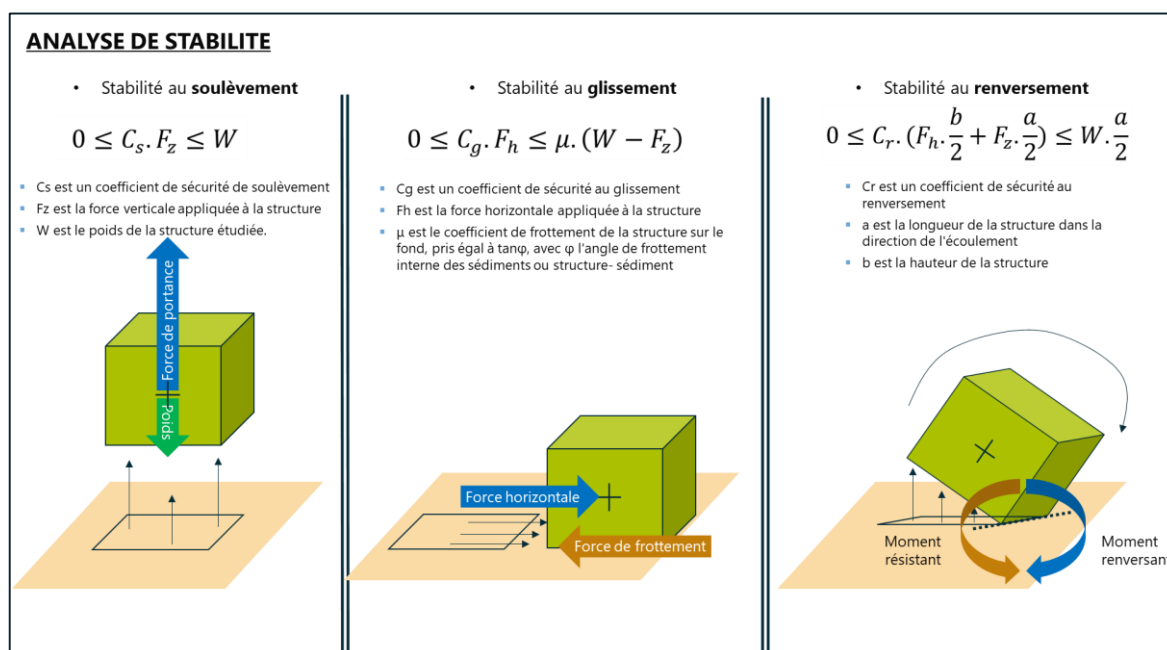


FIGURE 43 : SCHEMA DE SYNTHESE DE L'ANALYSE DE STABILITE

Les résultats du calcul préliminaire de stabilité sont les suivants, pour les 4 modes d'installation, une solution stable est possible suivant des paramètres d'ancrage acceptables. La suite de l'étude va préciser les calculs et le mode d'ancrage retenu par zone.

Caratéristiques		Récif AUTOSTABLE	Récif à CRAMPONS OPTIMISES	Récif à MICROPIEU	Récif à ANCRE A VIS
Plan de houle		Retour estimé 30 ans	Retour estimé 30 ans	Retour estimé 30 ans	Retour estimé 30 ans
Profondeur du récif	m	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5
Période de retour considéré pour le calcul	ans	30	30	30	30
Hauteur max des vagues au niveau du récif Hmax	m	5,73	5,73	5,73	5,73
Période des vagues au niveau du récif Ts	s	9,6	9,6	9,6	9,6
longueur du dispositif d'ancrage SANS AFOUILLEMENT	m		0,10	1,00	1,00
longueur du dispositif d'ancrage AVEC AFOUILLEMENT (20cm)	m		0,30	1,20	1,20
Coefficients de sécurité					
Sur le calcul en ZONE DE DEFERLEMENT (2)		2,00	2,00	2,00	2,00
Resultats du calcul de stabilité minimum					
Sur le critère de SOULEVEMENT (≥1)	C≥1	1,31	3,24	2,06	3,24
Sur le critère de GLISSEMENT (≥1)		1,27	2,83	2,34	2,83
Sur le critère de RENVERSEMENT (≥1)		1,12	2,95	2,07	2,95
STABILITE		STABLE	STABLE	STABLE	STABLE

FIGURE 44 : TABLEAU DE RESULTATS PRELIMINAIRES DU CALCUL DE STABILITE SUIVANT LES CAS D'ANCRAGE

4.3.2.2 - Analyse de biocompatibilité des matériaux en laboratoire

L'une des particularités innovantes du projet se trouve dans cette analyse de biocompatibilité des matériaux en laboratoire, permettant ainsi de s'assurer de leur durabilité et compatibilité avec le milieu dans lequel ils s'inséreront.

Différents matériaux peuvent servir à constituer un récif artificiel selon l'utilisation de celui-ci. Le choix logique serait de construire un récif à moindre coût autant environnemental qu'économique. A cela, la Convention de Londres ajoute d'autres préconisations :

- Les récifs artificiels devraient être construits avec des matériaux inertes afin de résister à la détérioration dans l'eau de mer. En effet, ces matériaux n'entraînent pas de pollution par lessivage, autre dégradation physique ou chimique dues aux intempéries ou activités biologiques.
- Les matériaux utilisés peuvent entraîner des répercussions sur leur environnement et la nature des espèces qui vont les coloniser. Il est donc primordial d'éprouver leur biocompatibilité avant immersion dans la zone cible.
- La fonction du récif artificiel détermine sa conception : une surface rugueuse et des anfractuosités permettent d'accroître le potentiel de colonisation du biote comparé à une surface lisse

Les matériaux et procédés de construction utilisés sont très divers, on peut notamment citer le bois, le béton, la roche, les métaux, la technique d'électrodéposition, des structures revalorisées (épaves, carcasses de navire ou de plateforme). Parmi ces options, le béton est le matériau le plus employé car il répond aisément aux différents critères cités plus haut : c'est un matériau stable dans le temps, qui peut être moulé ou imprimé en 3D, et dont la texture est semblable à celle des récifs naturels (« Directives pour l'implantation de récifs artificiels » 2009).

Ainsi, sur la base d'une analyse multicritères quatre matériaux issus de 4 entreprises différentes ont été retenus selon leur Bilan carbone, l'avancement R&D, l'imprimabilité ainsi que la résistance du matériau.

Pour cela, des tests normalisés lixiviation, bioluminescence bactérienne, croissance et viabilité cellules anémones de Méditerranée ont été menés. Une étude de la colonisation des biofilms bactériens et l'évaluation du bilan carbone a été réalisée. Par ailleurs, des tests d'écotoxicité ont été réalisés, tels que le test de lixiviation et la fluorescence d'algues, en collaboration avec l'Université de Cantabrie et 3DPARE pour les biofilms. Un laboratoire français analyse la toxicité sur les cellules d'*Anemonia viridis*, garantissant une approche cruelty-free. L'objectif est d'étudier l'impact des molécules présentes dans l'eau après l'immersion des récifs artificiels, en observant les effets sur les cellules d'anémones et leur environnement.

Ces analyses en laboratoire ont pour objectif de sélectionner le matériau le plus adapté et durable pour une immersion dans le secteur.

4.3.2.3 - Production locale

La provenance des matières premières et la production sera faite au maximum à proximité du lieu de déploiement dans la mesure du possible (bassin méditerranéen, France, Europe)

4.3.3 - PHASE DE TRAVAUX

Au vu de leur poids léger et leur nombre restreint (max 50 unités), l'installation des modules ne nécessiteront pas de grands efforts technologiques et humains. Cependant, leur mise en place nécessite de clarifier les modalités de livraisons et de stockage des équipements ainsi l'acheminement vers leur zone d'immersion.

4.3.3.1 - Modalité de transport, livraison et de stockage

Depuis leur lieu de fabrication, les modules seront acheminés par camion jusqu'à un lieu de temporaire de stockage ou port de départ.

Une étude amont a permis de dresser un tableau synthétisant les besoins et apports des ports environnants pour accueillir et immerger les modules.

Il leur a été demandé de se positionner par rapport à plusieurs points, à savoir :

- Besoins d'une surface de 300 à 500 m² pendant 1 mois, pour un stockage de 30 récifs qui feraient 1m3 chacun d'un poids unitaire alors de 700 kg ;
- Mise à l'eau d'un tirant d'eau de 4-5m (remorquage éventuel des récifs) ;
- Possibilité d'un grutage et autres matériels de transport ;
- Possibilité d'un appontement pour l'embarquement des structures par barge ;
- Commodités pour le personnel du chantier.

A la suite de ces échanges le port de Napoléon pourrait répondre au besoin du projet. La logistique possible est présentée ci-dessous :



FIGURE 45 : LOGISTIQUE DE STOCKAGE DES RECIFS AU PORT DE NAPOLEON (ZONE ROUGE : LIEU DE STOCKAGE DES RECIFS, TRAIT BLEU : TRANSPORT DES RECIFS JUSQU'À LA ZONE DE GRUTAGE, ZONE VERTE : MISE A L'EAU DES RECIFS PAR LA GRUE 4 M DE TIRANT D'EAU DISPONIBLE)

Le mode de transport, l'acheminement, la localisation possible du stockage reste encore à l'étude et seront définis plus précisément ultérieurement.

4.3.3.2 - Acheminement sur zone et immersion

Il peut être envisagé les modalités d'acheminement et de pose suivantes :

- **Le remorquage des structures par flottabilité** : cette technique privilégie les ressources humaines et limite l'empreinte écologique par la mobilisation d'une petite barge légère. Elle est peu coûteuse mais peut l'être en temps.

Cette solution nécessite une météo clémente, une durée des travaux longue et une équipe de plongeurs scaphandriers pendant toute la durée des opérations d'immersion.

La durée des travaux d'installation des récifs par cette méthode (hors aléa météo) est estimé à 5-12 jours.



FIGURE 46 : PHOTO 1 REMORQUAGE DE RECIFS ARTIFICIELS DANS LE LAGON DE TAHITI (© PROJET P2A DEVELOPPEMENT). PHOTO 2 REMORQUAGE DE RECIFS ARTIFICIELS ET VUE SOUS-MARINE AVEC DES BALLONS DE LEVAGE (© PROJET P2A DEVELOPPEMENT)

- **Le transport par une barge ponton :** cette technique fait appel à des moyens lourds, coûteux mais avec des temps de pose et d'acheminement plus rapides. Cette solution permet une durée de travaux plus courte, de travailler dans une fenêtre météo plus large, et ne nécessite pas de plongeur pendant toutes les phases des opérations (utilisation de crochet auto-largable). Selon la taille de la barge 1 à 3 voyages peuvent être suffisant pour immerger l'ensemble des récifs.



FIGURE 47 : MISE A L'EAU DE RECIF DEPUIS UNE BARGE LOURDE AU CAP D'AGDE POUR LE DEPLOIEMENT DE 32 LESTS DE BALISAGE ECOCONCUS PAR CROCHET AUTOLARGABLE(© SEABOOST, 2019)

La durée des travaux d'installation des récifs par cette méthode (hors aléa météo) est estimé à 2-5 jours.

4.3.4 - PHASE D'EXPLOITATION ET SUIVI POST-IMMERSION

Les projets d'immersions de récifs artificiels doivent cependant répondre aux contingences énoncées par l'Etat dans le Document stratégique sur l'implantation des récifs artificiels en Méditerranée continentale. Ce document énonce les principes de réalisation des projets d'implantation, mais aussi et surtout, les modalités de leur suivi et de leur gestion.

Le suivi de récif artificiel a lieu pendant toute la durée de validité du titre d'occupation domaniale (dans notre cas : 15 ans). La composition du suivi est liée aux objectifs des récifs, soit la reconstitution des biocénoses marines (préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur *et al.*, 2012). Le tableau ci-dessous récapitule les composantes de suivi à mettre en œuvre en fonction des objectifs du projet :

COMPOSANTES	OBJECTIF HALIEUTIQUE	OBJECTIF PROTECTION	OBJECTIF RESTAURATION	OBJECTIF LUDIQUE ET PEDAGOGIQUE
Suivi de la structure et de la qualité des fonds	X	X	X	X
Suivi de l'évolution physique des structures immergées (3D)	X	X	X	X
Suivi ichtyofaune	X		X	
Suivi de la faune et de la flore fixée	X		X	X
Suivi des pêches	X			
Suivi des activités développées sur les récifs artificiels	X	X	X	X
Suivi des milieux sensibles d'intérêt patrimonial		X	X	

TABLEAU 12 : COMPOSANTES DU SUIVI SCIENTIFIQUE PAR OBJECTIF DE RECIF (PREFET DE LA REGION PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR ET AL., 2012)

Ainsi, les récifs feront l'objet d'un programme de suivi, sur les différents compartiments biologiques et techniques des modules, afin d'évaluer l'atteinte des différents objectifs du projet tel que préconisé dans le document stratégique de la DIRM Méditerranée. Les 3 volets suivants seront prioritaires (Suivi de l'évolution physique des structures immergées (3D), Suivi ichtyofaune, Suivi de la faune et de la flore fixée).

La composition du suivi est directement liée aux objectifs poursuivis par le récif, il s'articule autour des 7 composantes mentionnées dans le tableau ci-haut : suivi de la structure et la qualité des fonds, suivi de l'évolution physique des structures immergées (3D), suivi ichtyologique, suivi de la faune et de la flore fixées, suivi des pêches, suivi des activités développées autour des récifs artificiels, et suivi des milieux sensibles d'intérêt patrimonial. Par ailleurs, compte-tenu du secteur et de la qualité du substrat sablo-vaseux, il sera pertinent de mener **un suivi de l'« envasement »** du récif.

Les suivis sur site seront assurés par des plongeurs professionnels et seront menées stratégiquement afin d'éviter et limiter tout dérangement d'espèces et des activités humaines. Les campagnes consisteront en **l'analyse de photoquadrats** afin d'évaluer le niveau de colonisation des récifs et de comptage poisson pour mesurer l'abondance, les tailles, et la biomasse qui ce serait développée autour du récif artificiel.

La fréquence des suivis se réaliseront de la manière suivante :

- T0 : année qui précède l'immersion (réalisation de l'état des lieux initial réalisée lors de l'étude de faisabilité amont),
- T1 : 1^{re} année après l'immersion (2 campagnes au printemps et en octobre),
- T2 : 2^{de} année après l'immersion (2 campagnes au printemps et en octobre),
- T3 : 3^{de} année après l'immersion (2 campagnes au printemps et en octobre),

- La suite des suivis sera déterminée dans l'arrêté préfectoral.

4.3.5 - PHASE DE DEMANTELEMENT

Comme l'impose la réglementation, le projet saura s'inscrire dans l'obligation de dépose et de démantèlement si les services de l'Etat le jugent nécessaire. Il est donc acquis que les structures et leurs accessoires devront être dans un état compatible avec leur enlèvement sur site au terme de la concession sur le DPM.

Par ailleurs, la durée de la concession d'utilisation du domaine public en dehors des ports délivrée pour les projets d'immersion de récifs artificiels porte sur une durée de **30 ans renouvelable**. Cependant, **dans le cas de notre projet, l'AOT est demandée pour une durée de 15 ans.**

Pour ce qui est du démantèlement, en premier lieu, l'ancrage sera dissocié du module, un parachute de levage sera installé sur chaque module pour les remonter en surface. Une fois en surface, les parachutes seront, soit grutés un à un sur la barge ou bien attaché ensemble pour être tracté. Par la suite, l'ancrage sera extrait du substrat, le site d'implantation devant être vierge après la fin de la concession. Ces opérations seront menées par des plongeurs scaphandriers.

Toutefois, le démantèlement des récifs artificiels, bien que prévu par la réglementation, peut s'avérer contre-productif d'un point de vue écologique. En effet, une fois immergés, ces récifs deviennent rapidement des habitats pour de nombreuses espèces marines, favorisant la biodiversité et la recolonisation des fonds dégradés. Leur retrait engendrerait une destruction brutale des communautés biologiques qui s'y sont installées, provoquant une perte soudaine d'habitats et de ressources alimentaires pour la faune locale.

4.4 - CALENDRIER ET BUDGET PREVISIONNELS

Le projet se structure en 3 grandes phases présentées dans le tableau ci-dessous. Dans le cas où, le calendrier prévisionnel est respecté, le projet d'installation devrait trouver son terme en mars 2029.

TABLEAU 13 : PHASAGE ET COUT DU PROJET

PHASE	DUREE	COUTS HT	COUTS TTC
PHASE I - ANALYSE DE SITE D'EXPERIMENTATION ET DESIGN DE L'OUVRAGE EXPERIMENTAL	12 mois à partir du 10 octobre 2024	170 000 €	204 000,00 €
PHASE II - PRODUCTION ET DEPLOIEMENT DE L'OUVRAGE EXPERIMENTAL	4 mois	330 000 €	396 000,00 €
PHASE III - SUIVI DE L'OUVRAGE EXPERIMENTAL ET VALORISATION CONJOINTE DES RESULTATS	36 mois	30 000 €	36 000,00* €
TOTAL	4 ans et 4 mois	530 000 €	432 000 €

* Le budget des suivis sera réajusté au regard des attentes de l'arrêté préfectoral

Le projet se trouve actuellement dans la première phase de son déroulement détaillé ci-dessous.

PHASE 1 – ETUDE PREALABLES	2024			2025										
	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov
Dimensionnements techniques et stabilité des scénarios d'équipements des récifs artificiels														
Photogrammétrie récifs coralligène, création modèles 3D et calcul des métriques cibles														
Etudes de biocompatibilité des matériaux en laboratoire														
Etudes règlementaires - Rédaction														
Etudes règlementaires - instruction														

TABLEAU 14 : CALENDRIER PREVISIONNEL DE LA PREMIERE PHASE

5 - IMPACTS PREVISIBLES DU PROJET

5.1 - IMPACTS POTENTIELS DU PROJET

Les impacts potentiels du projet sont listés dans le tableau ci-dessous.

Après avoir identifié les enjeux associés à chaque composante, il s'agit désormais d'évaluer les incidences du projet sur ces composantes.

5.1.1 - MILIEU PHYSIQUE

5.1.1.1 - Phase travaux

■ **Effet : Remobilisation des sédiments et augmentation temporaire de la turbidité de l'eau**

Des élévations temporaires de la turbidité sont à prévoir lors de l'installation des structures, notamment en raison du soulèvement des sédiments à proximité du fond marin. Ces épisodes restent toutefois localisés, réversibles et temporaires.

Niveau d'incidence associé : Modérée

■ **Effet : Risques de pollution (rejets de substances ou matériaux)**

La mobilisation d'engins de chantier en mer présente un risque de fuite d'hydrocarbures ou de déversement de matériaux. Toutefois, des préconisations seront prises afin d'éviter et réduire les risques de pollutions liés aux fuites d'hydrocarbures. Par ailleurs, les matériaux ont fait l'objet d'analyses de biocompatibilité en laboratoire afin de favoriser leur immersion et l'acceptation des espèces à ce nouvel environnement.

Niveau d'incidence associé : Modérée

5.1.1.2 - Phase d'exploitation

■ **Effet : Modification de la dynamique des courants et de l'hydrodynamisme local**

Certaines structures immergées peuvent localement modifier la dynamique des courants à très petite échelle, entraînant une sédimentation accrue en aval immédiat. Toutefois, l'emprise et le volume des modules étant réduites, l'impact sur l'hydrodynamisme locale reste local et sur une très courte durée.

Niveau d'incidence associé : Moyen

5.1.1.3 - Phase de démantèlement

■ **Effet : Remobilisation des sédiments**

Le retrait des modules pourrait provoquer une remobilisation ponctuelle des sédiments, accompagnée d'une turbidité temporaire.

Niveau d'incidence associé : Modérée

■ **Effet : Risques de pollution (retrait des matériaux)**

La mobilisation d'engins de chantier en mer présente un risque de fuite d'hydrocarbures ou de déversement de matériaux qui viendrait dégrader la qualité de l'eau. Toutefois, des préconisations seront prises afin d'éviter et réduire les risques de pollutions liés aux fuites d'hydrocarbures. Par ailleurs, les matériaux ont fait l'objet d'analyses de biocompatibilité en laboratoire afin de favoriser leur immersion et l'acceptation des espèces à ce nouvel environnement.

Niveau d'incidence associé : Modérée

5.1.2 - MILIEU NATUREL

5.1.2.1 - Phase travaux

■ **Effet : Perturbation du benthos et du substrat**

L'ancrage et la pose des récifs entraîneront un arasement localisé du fond, affectant les communautés benthiques présentes. Néanmoins, l'emprise au sol reste très réduite au regard du faible volume des modules et l'aire impactée restera circonscrite à la zone d'implantation directe.

Niveau d'incidence associé : Modérée

■ **Effet : Perturbations temporaires (bruit, remous, vibrations)**

L'usage d'engins peut générer des émissions sonores et vibrations susceptibles de perturber la faune marine (notamment les espèces sensibles aux basses fréquences). Toutefois, cette perturbation reste temporaire.

Niveau d'incidence associé : Modérée

■ **Effet : Perturbation des habitats sensibles**

Les zones d'herbiers ou de reproduction seront évitées. Toutefois, une vigilance est maintenue pour prévenir toute perturbation indirecte (turbidité, dépôt de particules) des espèces à proximité. Par ailleurs, le projet se trouve en dehors des limites des sites Natura 2000, réduisant l'atteinte directe des habitats ou espèces d'intérêt communautaire.

Niveau d'incidence associé : Moyen

■ **Effet : Risques de pollution (rejets de substances ou matériaux) et d'intoxication des espèces environnantes**

La mobilisation d'engins de chantier en mer présente un risque de fuite d'hydrocarbures ou de déversement de matériaux qui pourrait venir perturber et dégrader les habitats marins. Toutefois, des préconisations seront prises afin d'éviter et réduire les risques de pollutions liés aux fuites d'hydrocarbures. Par ailleurs, les matériaux ont fait l'objet d'analyses de biocompatibilité en laboratoire afin de favoriser leur immersion et l'acceptation des espèces à ce nouvel environnement.

Niveau d'incidence associé : Modérée

5.1.2.2 - Phase d'exploitation

■ **Effet : Risque d'introduction possible de nouvelles espèces (invasives)**

La colonisation progressive des modules peut induire une transformation de la composition faunistique locale et engendrer un déplacement voir une exclusion des espèces endémiques. Une surveillance adaptée sera prévue et détaillée dans la partie des mesures ERC-AS.

Niveau d'incidence associé : Modérée

■ **Effet : Contamination de la chaîne trophique**

L'effet récif recherché peut conduire à un double effet. Soit l'enrichissement potentiel de la biodiversité, soit le risque de contamination de la chaîne trophique si les substrats restent contaminés par des micropolluants.

Niveau d'incidence associé : Modérée

■ **Effet : Dérangement des espèces lors des suivi environnementaux**

Les opérations de suivi environnemental (plongées, navires) peuvent entraîner de faibles perturbations, particulièrement en cas de proximité avec des zones sensibles (nurseries, zone de repos). Par ailleurs, l'utilisation de navires et la pratique de la plongée peuvent aussi engendrer des nuisances sonore et des

vibrations. Toutefois, la proximité des côtes favoriser le départ de la plage en plongée ce qui réduit l'impact lié la pollution sonore.

Niveau d'incidence associé : Faible

■ **Effet : Réhabilitation de certaines fonctions écologiques d'une zone sous pression**

Les récifs constituent une opportunité de réhabilitation de certaines fonctions écologiques dans une zone très anthropisée, contribuant à la productivité halieutique et à la création de microhabitats.

Niveau d'incidence associé : Positif

5.1.2.3 - Phase de démantèlement

■ **Effet : Perturbations temporaires (bruit, remous, vibrations)**

Le retrait des structures pourra engendrer des nuisances sonores, une remise en suspension des sédiments et la destruction d'habitats colonisés.

Niveau d'incidence associé : Modérée

■ **Effet : Dégradation de la biodiversité marine et des espèces qui se sont développés sur les modules**

Les espèces fixées et qui se sont développés autour des modules seront intrinsèquement impactés par le retrait de leur « nouvel » habitat.

Niveau d'incidence associé : Forte

■ **Effet : Risques de pollution et dégradation des habitats**

La mobilisation d'engins de chantier en mer présente un risque de fuite d'hydrocarbures ou de déversement de matériaux qui pourrait venir perturber et dégrader les habitats marins. Toutefois, des préconisations seront prises afin d'éviter et réduire les risques de pollutions liés aux fuites d'hydrocarbures. Par ailleurs, les matériaux ont fait l'objet d'analyses de biocompatibilité en laboratoire afin de favoriser leur immersion et l'acceptation des espèces à ce nouvel environnement.

Niveau d'incidence associé : Modérée

5.1.3 - MILIEU HUMAIN

5.1.3.1 - Phase travaux

■ **Effet : Perturbation des activités maritimes (pêche et transport) et de navigation de plaisance**

Au regard de la localisation du projet qui se trouve dans une zone de mouillage et autorisée à la pêche, des perturbations temporaires des activités et des usages maritimes (pêche, plaisance) sont envisagés de manière temporaire. Toutefois, les activités de pêche ne sont pas localisées sur les zones d'implantation. Une sensibilisation des pêcheurs locaux est recommandée.

Niveau d'incidence associé : Faible

5.1.3.2 - Phase d'exploitation

■ **Effet : Perturbation des zones de mouillages**

La présence des récifs pourrait modifier les habitudes de mouillage ou de passage, notamment pour la plaisance. Ces évolutions resteront marginales, compte tenu de la faible emprise du projet.

Niveau d'incidence associé : Faible

■ Effet : effet récif et enrichissement des ressources halieutiques

Les récifs peuvent à terme constituer des zones de refuge halieutique, favorables à l'activité de pêche.

Niveau d'incidence associé : **Positif**

5.1.3.3 - Phase de démantèlement

■ Effet : Perturbation des activités maritimes (pêche et transport) et de navigation de plaisance

Des perturbations temporaires des activités maritimes (pêche, plaisance) sont possibles, les secteurs identifiés sont localisés dans une zone de mouillage autorisée.

Niveau d'incidence associé : **Faible**

5.1.4 - SYNTHES DES INCIDENCES

Le tableau ci-dessous synthétise les incidences du projet sur le milieu physique, naturel et humain.

TABLEAU 15 : SYNTHESE DES INCIDENCES DU PROJET SUR LE MILIEU ENVIRONNANT

PHASE	MILIEU	IMPACT POTENTIEL	NIVEAU D'INCIDENCE
PHASE TRAVAUX	MILIEU PHYSIQUE	Remobilisation des sédiments et augmentation temporaire de la turbidité de l'eau	Modérée
		Risques de pollution (rejets de substances ou matériaux)	Modérée
	MILIEU NATUREL	Perturbation du benthos et du substrat	Modérée
		Perturbations temporaires (bruit, remous, vibrations)	Modérée
		Perturbation des habitats sensibles	Faible
		Risques de pollution (rejets de substances ou matériaux)	Modérée
	MILIEU HUMAIN	Perturbation des activités maritimes (pêche et transport) et de navigation de plaisance	Faible
PHASE D'EXPLOITATION	MILIEU PHYSIQUE	Modification de la dynamique des courants et de l'hydrodynamisme local	Faible
	MILIEU NATUREL	Introduction possible de nouvelles espèces (invasives)	Modérée
		Contamination de la chaîne trophique	Modérée
		Dérangement des espèces lors des suivi environnementaux	Faible
		Réhabilitation de certaines fonctions écologiques d'une zone sous pression	Positif
	MILIEU HUMAIN	Perturbation des zones de mouillage	Faible
		Effet récif et enrichissement des ressources halieutiques	Positif
PHASE DE DEMANTELEMENT	MILIEU PHYSIQUE	Remobilisation des sédiments et augmentation temporaire de la turbidité de l'eau	Modérée
		Risques de pollution (retrait des matériaux)	Modérée
	MILIEU NATUREL	Perturbations temporaires (bruit, remous, vibrations)	Modérée
		Dégradation de la biodiversité marine et des espèces qui se sont développés sur les modules.	Fort
		Risques de pollution (rejets de substances ou matériaux)	Modérée
	MILIEU HUMAIN	Perturbation des activités maritimes (pêche et transport) et de navigation de plaisance	Faible

5.2 - ANALYSE DES IMPACTS CUMULES

Le Golfe de Fos est une zone industrialisée dans laquelle ne nombreux projets se cumulent. Parmi les projets à l'étude, nous pouvons mentionner les suivants :

- Déviation du rejet de la station hydroélectrique de l'étang de Berre dans le golfe de Fos-sur-Mer

- Aménagement de la ZIP (secteur 4XL et aménagement marin d'une future zone de stockage à flot de 49ha dédiée aux futures éoliennes) dans le cadre du projet DEOS. Des dragages sont prévus dans le cadre de ce projet.
- Canalisation de transport d'hydrogène BarMar au niveau de la presqu'île de Cavaou.

Ces projets sont susceptibles d'impacter le bon fonctionnement des récifs artificiels implantés au droit de la commune de Fos-sur-Mer par une remise en suspension des sédiments ainsi que par la génération de perturbation physique et sonore.

5.3 - SYNTHESSES DES IMPACTS SUR LE MILIEU ET LES ACTIVITES ANTHROPIQUES

TABEAU 16 : SYNTHESE DES IMPACTS DU PROJET SUR LE MILIEU ET LES ACTIVITES ANTRHOPIQUES

Phases	Qualité de l'eau	Biodiversité (habitats, espèces)	Socio-économiques (activités)	Processus écologiques (cycle des nutriments, etc.)	Sécurité et risques	Industrie et infrastructures	Visuels et paysagers
Phase travaux (installation)	X	X	X		X		X
Phase d'exploitation (fonctionnement)		X	X	X			
Phase de suivi environnemental	X						

6 - PRECONISATION DES MESURES ERC-AS

Bien qu'initialement définis pour être appliqués au milieu naturel terrestre, les principes de la séquence ERC-AS (Eviter, Réduire, Compenser, Accompagner et Suivre) s'appliquent aussi au milieu marin. La difficulté de les transposer au milieu marin impose de concentrer davantage l'effort sur l'évitement et la réduction pour atteindre l'objectif d'« **absence de perte nette** » voire de « gain net » de biodiversité énoncé par la loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (loi « Biodiversité »).

Pour cette partie, nous nous sommes appuyées sur le guide méthodologique et notamment le volet thématique sur le milieu marin édité par le Commissariat général au développement durable en février 2023 et rattaché au Guide d'aide à la définition des mesures ERC, CGDD, Théma balises, de janvier 2018. Cette nouvelle méthodologie est une déclinaison du guide des mesures ERC pour le milieu marin et le littoral.

Ainsi, au stade de la rédaction de la note de cadrage, nous proposons de mettre en œuvre les mesures suivantes :

6.1 - MESURES D'ÉVITEMENT

Eviter : consiste à supprimer une atteinte potentielle à l'environnement en modifiant le projet, son implantation, ou son fonctionnement. C'est le premier levier de la séquence ERC (Éviter – Réduire – Compenser), souvent le plus efficace.

- E-1 : Utilisation de techniques sûres et de matériaux biocompatible afin d'éviter tout risque de pollution ;
- E-2 : Optimisation de la conception des récifs pour une réduction de l'emprise au sol maximale ;
- E-3 : Utilisation de méthodes d'installation non invasives ;
- E-4 : Utilisation d'équipements à faible bruit et mise en place de zones d'atténuation sonore (rideau de bulles par exemple) ;
- E-5 : Planification des travaux en dehors des périodes de reproduction et de migration ;
- E-6 : Projet réalisé en dehors et à distance des zones sensibles type Natura 2000,
- E-7 : Conception optimisée pour limiter les effets sur les courants et la dynamique sédimentaire,
- E-8 : Formation des opérateurs pour minimiser l'impact des activités de surveillance.

6.2 - MESURES DE RÉDUCTION

Réduire : vise à limiter les impacts que le projet ne peut pas éviter, en agissant sur leur intensité, leur étendue, leur durée ou leur probabilité. Cela inclut des choix techniques, des bonnes pratiques ou des aménagements spécifiques.

- R-1 : Réduction de la turbidité et contrôle de la remise en suspension des sédiments (bâches, filets de confinement) ;
- R-2 : Limitation de la durée des travaux au vu des petites infrastructures à immerger.

6.3 - MESURES DE COMPENSATION

Compenser : Intervient en dernier recours, lorsque les impacts résiduels ne peuvent être ni évités ni suffisamment réduits. Il s'agit de réparer ou recréer des fonctions écologiques équivalentes ailleurs ou autrement.

- C-1 : Conception des récifs favorisant la diversité des habitats pour une recolonisation équilibrée ;
- C-2 : Réhabilitation de certaines fonctions écologiques dans un secteur historiquement sous pression anthropiques ;

- C-3 : Création de zones de mouillages réglementées ;
- C-4 : Les récifs peuvent à terme constituer des zones de refuge halieutique, favorables à l'activité de pêche ;
- C-5 : Évaluation des options pour conserver certains récifs s'ils sont intégrés dans l'écosystème.

6.4 - MESURES D'ACCOMPAGNEMENT ET DE SUIVI

Accompagner : Mesures destinées à favoriser l'acceptabilité du projet ou à mieux intégrer les usages locaux et les acteurs du territoire. Ce sont des actions de sensibilisation, de concertation, d'information ou d'appui aux changements.

- A-1 : Sensibilisation des usagers du plan d'eau.

Suivre : Mesures de contrôle, de surveillance et d'évaluation des impacts réels du projet une fois mis en œuvre, pour vérifier l'efficacité des mesures précédentes et ajuster si besoin. Toutefois, ce type de mesure est considéré dans le guide comme une mesure d'accompagnement.

- S-1 : Surveillance en temps réel de la turbidité pendant les travaux ;
- S-2 : Surveillance acoustique pour éviter les nuisances sonores excessives ;
- S-3 : Suivi régulier des récifs pour détecter les espèces exotiques ;
- S-4 : Suivi de la vitalité des espèces environnantes et de la qualité du milieu.

Ces mesures feront l'objet d'une description approfondie lors des prochaines phases du projet.

7 - CADRAGE JURIDIQUE

7.1 - REGLEMENTATION AU TITRE DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

7.1.1 - PROJET SOUMIS A DECLARATION AU TITRE DE LA LOI SUR L'EAU (IOTA) (ART. R. 214-1)

En raison de ses impacts potentiels sur l'eau et les milieux aquatiques, le projet est susceptible de relever de l'article L.214-3 du code de l'environnement concernant les régimes d'autorisation ou de déclaration (Loi sur l'eau - IOTA). Le projet semble notamment concerné par **la rubrique 4.1.2.0.** de la nomenclature Loi sur l'eau relatif aux travaux d'aménagement portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu.

TABEAU 17 : RUBRIQUES DEFINIES A L'ARTICLE R.214-1 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT AU TITRE DE LA LOI SUR L'EAU ET LIEN AVEC LE PROJET

TITRE	RUBRIQUES DE LA NOMENCLATURE LOI SUR L'EAU	ELEMENTS DU PROJET CONCERNANT POTENTIELLEMENT LES RUBRIQUES LOI SUR L'EAU	PROCEDURE
Titre IV - Impacts sur le milieu marin	4.1.2.0. Travaux d'aménagement portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu	1° D'un montant supérieur ou égal à 1 900 000 euros (A)	NON CONCERNE
		2° D'un montant supérieur ou égal à 160 000 euros mais inférieur à 1 900 000 euros (D)	DECLARATION

Le projet ne requiert **aucun dragage**. Il dispose d'un **budget prévisionnel de 432 000 € TTC**, soit inférieur à 1 900 000 €, il fera dans ce cas l'objet **d'une déclaration**. A noter qu'il s'agit du montant global du projet de R&D incluant des études amont en laboratoire, des suivis techniques, des suivis en plongée avant et après les immersions. La fabrication des récifs sera réalisée ailleurs et sans contact avec le milieu aquatique. Les travaux d'aménagement réalisés en contact avec le milieu marin sont de l'ordre de 190k€ TTC. Un dossier de déclaration est donc nécessaire

7.1.2 - PROJET SOUMIS A EVALUATION ENVIRONNEMENTALE (R. 122-1 DU CE)

L'article L. 122-1 du code de l'environnement prévoit que les « projets qui, par leur nature, leur dimension ou leur localisation, sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine font l'objet d'une évaluation environnementale en fonction de critères et de seuils définis par voie réglementaire et, pour certains d'entre eux, après un examen au cas par cas effectué par l'autorité environnementale ».

TABEAU 18 : RUBRIQUES DE LA NOMENCLATURE DES PROJETS SOUMIS A EVALUATION ENVIRONNEMENTALE CONCERNEES PAR LE PROJET

CATEGORIES DE PROJETS (R. 122-2 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT)	PROJETS SOUMIS A L'EXAMEN AU CAS PAR CAS
15. Récifs artificiels	Récifs artificiels

S'agissant d'une immersion de récifs artificiels, le projet est soumis à l'examen au cas par cas au titre de la rubrique 15. Récifs artificiels de l'article R.122-2 du code de l'environnement

7.1.3 - DEROGATION AUX INTERDICTIONS RELATIVES AUX ESPECES PROTEGEES (DEP)

Lorsqu'une ou plusieurs espèces protégées sont identifiées au sein ou à proximité d'un projet, et que sa mise en œuvre enfreint les interdictions prévues par les articles L. 411-1 et suivants (CE), il est nécessaire de solliciter une dérogation à la stricte protection des espèces.

Ainsi, même si le projet a vocation à protéger et restaurer la faune et flore sauvages et de conserver les habitats (L. 411-2, 4° du code de l'environnement), le projet peut faire se voir délivrer une dérogation à la réglementation relative aux espèces protégées.

Les espèces concernées par cette dérogation, dans le cadre de ce projet, sont listés ci-dessous :

TABLEAU 19 : ESPECES PROTEGEES PRESENTES A PROXIMITE DU PROJET

NOM COMMUN	NOM SCIENTIFIQUE	PROTECTION AU TITRE DE
Herbiers de posidonie	<i>Posidonia oceanica</i> (L.) Delille, 1813	Arrêté ministériel du 19 juillet 1988 relatif à la liste des espèces végétales marines protégées

Le projet ne présentant pas d'impact direct sur l'herbier de posidonie et ayant pour objectif sa préservation il n'est pas soumis à une demande de dérogation.

7.1.4 - EVALUATION D'INCIDENCES NATURA 2000

Selon les modalités définies aux articles L. 414-4 et R. 414-19 du code de l'environnement, une évaluation d'incidences Natura 2000 doit être réalisée si le plan, projet ou activité figure sur l'une des listes suivantes :

- La liste nationale d'activités encadrées fixée par l'article R. 414-19 du code de l'environnement, applicable à l'échelle nationale ;
- Les listes locales arrêtées par le préfet de département ou préfet maritime qui complètent la liste nationale, applicables sur le territoire du département ou de la façade maritime.

À la suite du décret datant d'août 2016 portant sur la réforme d'étude d'impact /examen au cas par cas, le R. 122-5 du CE précise que « Pour les projets soumis à une étude d'incidences en application des dispositions du chapitre IV du titre Ier du livre IV, **le formulaire d'examen au cas par cas tient lieu d'évaluation des incidences Natura 2000 lorsqu'il permet d'établir l'absence d'incidence sur tout site Natura 2000.** ».

Faisant l'objet d'un examen au cas par cas montrant l'absence d'impact sur les habitats protégés ainsi que sur les sites Natura 2000 à proximité, le projet peut, par conséquent, faire l'objet d'une **évaluation simplifiée** insérer en annexe de la présence déclaration.

Le projet se situe en dehors des périmètres des sites Natura 2000 identifiés et n'entraîne pas de destruction directe d'habitats naturels d'intérêt communautaire. Les sites les plus proches sont les suivants :

- Sites Natura 2000 terrestres :
 - ZSC FR9301590 – Le Rhône aval, à 7 km ;
 - ZPS FR9310064 – Crau à 7km ;
 - ZPS FR9312001 - Marais entre Crau et Grand Rhône à 6,5km ;
 - ZPS FR9312015 - Étangs entre Istres et Fos à 1,4km ;
 - ZSC FR9301596 - Marais de la vallée des Baux et marais d'Arles à 8km ;
 - ZSC FR9301595 - Crau centrale - Crau sèche à 7km.
- Sites Natura 2000 terrestres et marins :
 - ZSC FR9301592 – Camargue, à environ 3 km ;

- ZPS FR9310019 – Camargue, également à 3 km ;
- ZSC FR9301999 – Côte Bleue Marine, à 10 km.

Au regard de la faible ampleur du projet ainsi que son caractère extérieur aux sites Natura 2000, le projet est soumis à la rédaction d'une étude d'incidence Natura 2000 simplifiée.

7.1.5 - SITES CLASSES ET INSCRITS AU TITRE DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

La politique des sites a pour but d'assurer la préservation des monuments naturels et des sites dont le caractère artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque relève de l'intérêt général (Loi du 2 mai 1930 codifiée aux articles L. 341-1 à 22 du code de l'environnement livre trois chapitre quatre).

Le projet n'est pas concerné par les sites classés et inscrits au titre du Code de l'environnement.

7.1.6 - PERMIS D'IMMERSION DE DECHETS OU AUTRES MATIERES AU TITRE DE L'ARTICLE L.21843 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Etant considéré comme un ouvrage conçu spécifiquement pour atteindre une fonction écologique, par ses caractéristiques de construction biomimétiques et biocompatibles (structures biomimétique imprimées en 3D, blocs de béton formulés pour la colonisation, test d'écotoxicité en laboratoire, etc.) et au regard des objectifs écosystémiques du projet, les récifs artificiels, de nouvelle génération, conçus par Seabooost ne sont pas considérés comme des « matières dangereuses » ou « déchets » tel que mentionné dans [l'article L.218-43](#).

En effet, l'article L.218-43 prévoit que « L'immersion de déchets ou d'autres matières, telle qu'elle est définie à l'article 1er du protocole du 7 novembre 1996 à la convention de Londres de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, est interdite. ».

Ainsi, au regard des objectifs de restauration écologique, de conception durable et intégrée des récifs artificiels de nouvelle génération, le projet n'est pas soumis à une demande de permis d'immersion.

7.1.7 - ENQUETES ET CONSULTATION DU PUBLIC (L.222-1)

L'article 7 de la Charte de l'environnement consacre, au niveau constitutionnel, le droit pour toute personne de participer à l'élaboration des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement.

L'article L.120-1 et suivants du CE fait à la suite de l'ordonnance 2016-1060 du 3 août 2016 portant sur la réforme des procédures destinées à assurer l'information et la participation du public à l'élaboration de certaines décisions susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement a été publiée au Journal Officiel n°0181 du 5 août 2016. Cette ordonnance renforce l'effectivité de la participation du public au processus d'élaboration des décisions pouvant avoir une incidence sur l'environnement et de moderniser les procédures.

Dans le cas où le projet est soumis à déclaration au titre de la nomenclature loi sur l'eau, il n'est pas obligatoire de réaliser une consultation du public. Cependant, nous rappelons que le projet a fait l'objet d'une enquête publique préalable au projet.

7.2 - REGLEMENTATION AU TITRE DU CODE GENERAL DE LA PROPRIETE DES PERSONNES PUBLIQUES (CGPPP) (ANNEXE 3 CIRCULAIRE 20 JANVIER 2012)

7.2.1 - CONCESSION D'UTILISATION DU DOMAINE PUBLIC MARITIME (DPM) EN DEHORS DES PORTS

Tout projet de construction ou d'installation, destiné à être implanté sur le Domaine Public Maritime (DPM), nécessite au préalable l'obtention d'un titre d'autorisation (L. 2122- 1 du CGPPP). L'autorisation est obligatoire au-delà du droit d'usage qui appartient à tous. L'occupation du domaine public ne peut être que temporaire, précaire et révocable.

Ce titre, s'il est accordé, est personnel et nominatif : il n'autorise pas le titulaire à le transférer à un nouveau bénéficiaire. Il ne peut être transmis par voie de succession et il n'est pas constitutif de droits réels.

Par ailleurs, il ne préjuge en rien des autres législations éventuellement applicables (loi sur l'eau, permis de construire, etc.). Il doit donner lieu au paiement d'une redevance (article L. 2125-1 du CGPPP).

TABLEAU 20 : ANNEXE 3 DE LA CIRCULAIRE DU 20/01/2012 REPERTORIANTE LES TITRES ENVISAGEABLES ET LEURS MARGES D'APPLICATION, EN FONCTION DES TYPES D'OCCUPATION DU DOMAINE PUBLIC MARITIME PREVU PAR LE PROJET.

Nature de l'ouvrage	Pétitionnaire	Titre	Application	Durée
Récifs artificiels	Collectivités	Autorisation d'occupation temporaire du DPM	Installations ou travaux affectés à l'usage du public, à un service public ou une opération d'intérêt général (au sens d'intérêt collectif)	AOT de 10 à 15 ans demandée au GPMM

Considéré comme un port d'Etat, le Grand Port Maritime de Marseille (GPMM) possède des limites administratives comprenant du domaine public maritime artificiel (comme l'ensemble des ports métropolitains) ainsi que le domaine public maritime naturel. Sur celui-ci, le GPMM est gestionnaire du DPM et délivre des titres domaniaux aux porteurs de projet en lieu et place de la DDTM.

Le projet est soumis à une demande d'Autorisation d'Occupation Temporaire du DPM naturel du GPMM. À la suite des échanges avec le GPMM, l'AOT porte sur un horizon de 10 à 15 ans.

7.3 - REGLEMENTATION AU TITRE DE LA SECURITE ET USAGES MARITIME

7.3.1 - AVIS DE LA COMMISSION NAUTIQUE LOCALE OU DE LA GRANDE COMMISSION NAUTIQUE

La commission nautique a pour objectif de traiter les questions de sécurité et de cohabitation des usages de la mer. Le décret n°86-606 du 14 mars 1986 organise les commissions nautiques. Celles-ci ont pour objectif d'examiner des projets de réalisation ou de transformation d'équipements civils intéressant la navigation maritime et toute affaire nécessitant la consultation des navigateurs maritimes. Les commissions nautiques peuvent notamment être consultées sur des questions relatives à l'exploitation ou à la police des ports maritimes.

La commission nautique concernée par le projet est la **Commission Nautique Locale**. Cette instance est consultée sur toutes les affaires ne relevant pas de la Grande Commissions Nautiques. Organisées au niveau

local par la DDTM / DML, à la demande des porteurs de projet, elle est présidée par le représentant du préfet maritime.

Le projet est soumis à un avis de la Commission Nautique Locale.

7.4 - REGLEMENTATION AU TITRE DU CODE DU PATRIMOINE

7.4.1 - REGLEMENTATION AUX ABORDS DU PERIMETRE DES MONUMENTS HISTORIQUES

La réglementation relative à la protection des monuments historiques fait l'objet des articles L. 621-1 et suivants et R. 621-1 et suivants du code du patrimoine (loi du 31 décembre 1913). Elle est distincte de la réglementation des sites et monuments naturels, faisant l'objet des articles L. 341-1 et suivants et R. 341-1 et suivants du code de l'environnement (loi du 2 mai 1930). Ces deux réglementations peuvent se superposer en un même lieu.

N'étant pas situés à proximité de monuments historiques, le projet n'est pas soumis à cette réglementation.

7.4.2 - PROCEDURE RELATIVE A L'ARCHEOLOGIE PREVENTIVE

La loi n° 2001-44 du 17 janvier 2001 sur l'archéologie préventive reconnaît le patrimoine archéologique comme devant être soit conservé en tant que tel, soit sauvegardé par l'étude scientifique. Elle impose d'accomplir des mesures de détection et, si besoin, de conservation et/ ou de sauvegarde du patrimoine archéologique, en fonction de leur localisation, de leur nature, de leur intérêt scientifique ou historique et de l'importance des travaux d'aménagement projetés. Dans tous les cas, sont concernés les travaux soumis à déclaration préalable, ainsi que ceux dispensés d'autorisation d'urbanisme mais devant être précédés d'une étude d'impact.

Toute la zone d'étude se situe dans une zone à forte sensibilité archéologique. Des fouilles préventives seront possiblement requises en fonction de la zone d'implantation et des structures retenues. Le fait que les structures seront nécessairement ancrées, afin de résister à l'hydrodynamisme local dans les très petits fonds, pourrait impliquer la nécessité de réaliser de telles fouilles, la décision revenant au DRASSM (Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines) après étude de la demande. Un nouveau courrier sera transmis en parallèle de la présente démarche au DRASSM précisant la localisation finale des récifs et de l'AOT.

Le projet pourrait être soumis à cette réglementation. Une nouvelle lettre précisant les contours finaux du projet sera adressée au DRASSM en amont du dépôt des futurs dossiers.

7.5 - SYNTHESE DU CADRE JURIDIQUE

RUBRIQUE/NOMENCLATURE	AVIS ET AUTORISATIONS NECESSAIRES	BILAN
LOI SUR L'EAU	Le projet ne requiert aucun dragage. Il dispose d'un budget prévisionnel de 432 000 € TTC, soit inférieur à 1 900 000 €, il fera dans ce cas l'objet d'une déclaration.	Soumis à déclaration
EVALUATION ENVIRONNEMENTALE	S'agissant d'une immersion de récifs artificiels, le projet est soumis à l'examen au cas par cas au titre de la rubrique 15. Récifs artificiels de l'article R.122-2 du code de l'environnement	Soumis à examen au cas par cas

DEROGATIONS AUX INTERDICTIONS RELATIVES AUX ESPECES PROTEGEES	Le projet ne présentant pas d'impact direct sur l'herbier de posidonie (seule espèce protégée à proximité du projet) et ayant pour objectif sa préservation, il n'est pas soumis à une demande de dérogation.	Non soumis
EVALUATION D'INCIDENCES NATURA 2000	Au regard de la faible ampleur du projet ainsi que son caractère extérieur aux sites Natura 2000, le projet est soumis à la rédaction d'une étude d'incidence Natura 2000 simplifié.	Soumis à évaluation d'incidences simplifié
SITES CLASSES ET INSCRITS AU TITRE DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT	Le projet n'est pas concerné par les sites classés et inscrits au titre du Code de l'environnement.	Non soumis
PERMIS D'IMMERSION DE DECHETS OU D'AUTRES MATIERES	Les récifs artificiels ayant pour objectif de restaurer les fonctionnalités écologiques du milieu ne sont pas considérés comme déchet. Le projet n'est donc pas soumis à une demande de permis d'immersion.	Non soumis
ENQUETES ET CONSULTATION DU PUBLIQUE	Dans le cas où le projet est soumis à déclaration au titre de la nomenclature loi sur l'eau, il n'est pas obligatoire de réaliser une consultation du public. Cependant, nous rappelons que le projet a fait l'objet d'une enquête publique préalable au projet.	Non soumis
CONCESSION D'UTILISATION DU DOMAINE PUBLIC MARITIME	Le projet est soumis à une demande d'Autorisation d'Occupation Temporaire du DPM naturel du GPMM. À la suite des échanges avec le GPMM, l'AOT porte sur un horizon de 10 à 15 ans.	Demande d'autorisation d'occupation du DPM
MONUMENTS HISTORIQUES	N'étant pas situés à proximité de monuments historiques, le projet n'est pas soumis à cette réglementation.	Non soumis
ARCHEOLOGIE PREVENTIVE	Le projet n'est pas soumis à cette réglementation / Ou le projet est soumis à une demande d'étude archéologique préventive selon retour du DRASSM.	Potentiellement soumis

8 - COMPTABILITE AVEC LES DOCUMENTS DE PLANIFICATION

8.1.1 - DIRECTIVE CADRE STRATEGIQUE POUR LE MILIEU MARIN (DCSMM)

La Directive Cadre Stratégique du Milieu Marin (DCSMM), adoptée en 2008 par l'Union Européenne, vise à protéger et à restaurer les écosystèmes marins et les eaux marines. Elle impose aux États membres de l'UE de garantir un bon état écologique des eaux marines, avec un objectif de préservation de la biodiversité marine et des habitats naturels, y compris les herbiers de posidonie. La DCSMM repose sur une approche intégrée de la gestion de la mer, impliquant des stratégies de gestion basées sur des évaluations environnementales et la réduction des pressions humaines, telles que la pollution et la surfréquentation.

8.1.1.1 - Document stratégique de façade (DSF)

Découlant de la DCSMM, la stratégie de façade méditerranéenne prévoit l'immersion de récifs artificiels dans un objectif de restauration écologique des habitats naturels dégradés. Le plan d'action de Méditerranée qui illustre les ambitions du DSF prévoit une liste d'actions par zone de vocation. Les vocations concernant le secteur du Golfe Fos-sur-Mer et la pratique des restaurations écologiques sont présentés dans le tableau ci-dessous :

PARTIE 2 - UN LITTORAL RESPECTUEUX DE L'ENVIRONNEMENT	ACTIONS	MESURES
2.1. Réduire l'impact de l'artificialisation	D06-OE01-AN1 : Développer une vision stratégique de façade vers zéro artificialisation nette	1. A l'échelle de chaque façade, produire une synthèse cartographique des espaces où l'artificialisation doit impérativement être évitée
		2. Mettre en place un suivi de l'artificialisation prévisionnelle et effective et identifier des sites susceptibles d'être désartificialisés, en intégrant les collectivités
		3. Développer les actions des services et des opérateurs de l'Etat pour accompagner les porteurs de projets en vue de l'objectif de réduction de l'artificialisation
	ACTION D06-OE01-AN2 Accompagner la mise en œuvre de la séquence ERC en mer dans le cadre des projets conduisant à artificialiser le milieu marin	1. Organiser l'échange et la synthèse des travaux régionaux relatifs à la séquence Eviter, Réduire, Compenser et Accompagner (ERCa) 2. Identifier sur la façade des sites à fort gain écologique et définir, sur au moins un site pilote, les modalités de gain écologique à titre d'exemple

2.2. Restaurer le milieu marin	ACTION D06-OE02-AN2 : Poursuivre la déclinaison territoriale de la stratégie de restauration écologique des habitats naturels en Méditerranée	1. Mettre en œuvre des STERE sur les territoires identifiés dans la stratégie de façade de la restauration écologique des habitats naturels, et les intégrer dans les documents de gestion existants en prenant en compte les instances de gouvernance en place
	ACTION D06-OE02-AN2 Poursuivre la déclinaison territoriale de la stratégie de restauration écologique des habitats naturels en Méditerranée	3. Réaliser une évaluation environnementale et socio-économique des opérations de restauration à l'échelle d'un territoire pertinent
	ACTION D01-OM-OE05-AN1 Identifier, maintenir et restaurer les habitats médiolittoraux et les habitats fonctionnels des oiseaux marins dégradés et/ou exposés à la compression des habitats littoraux	3. Mettre en œuvre une action de restauration des habitats littoraux

TABLEAU 21 : SYNTHÈSE DES RUBRIQUES DU DSF CONCERNANT LE PROJET

Le projet d'immersion de récifs artificiels à vocation de restauration des fonctionnalités écologiques du milieu est bien compatible avec le DSF et par conséquent avec la DCSMM. Les solutions mises en œuvre visent à limiter le taux d'artificialisation à ~60,5 m² et ce dans le scénario le plus pessimiste pour un montant de travaux en contact avec le milieu aquatique limité. À noter que le projet est mené au sein de la concession portuaire du GPMM, secteur fortement anthropisé.

8.1.1.2 - Document stratégique pour la restauration écologique en Méditerranée

Selon le document stratégique pour la restauration écologique en Méditerranée délivré par la DIRM en 2019, la dégradation historique d'habitats et/ou de fonctions prioritaires dans les milieux côtiers méditerranéens se matérialise de deux façons :

- Recul/fragmentation d'habitats prioritaires (herbiers de phanérogames marines, Posidonies, Cymodocées, biocénoses coralligènes, forêts de cystoseires) ;
- Artificialisation/anthropisation des côtes rocheuses et sableuses.

La maîtrise globale des pressions dans la zone détermine l'opportunité d'une action de restauration dans les délais impartis par la mise en œuvre du PAMM (échéance 2021).

À l'échelle de la façade, sont ainsi considérées comme propices les zones côtières dont historiquement l'état des habitats a été dégradé, les fonctions écosystémiques entravées, et où l'état chimique actuel du milieu est bon. **Les masses d'eau en mauvais état chimique ne sont pas exclues d'une réflexion sur la restauration du milieu marin concerné : le projet devra en revanche comporter impérativement une solution à la problématique des rejets ou la démonstration de leur maîtrise.**

Le projet d'immersion de récifs artificiels s'accompagnera de mesures visant à réduire les pressions existantes et qui ont engendré la dégradation des habitats des zones d'implantation. Il vise à développer une nouvelle méthodologie de création de solution de restauration de petits fonds rocheux basée sur

une approche alliant biomimétisme et analyse de matériau en laboratoire. En ce sens, le projet est compatible avec le document stratégique pour la restauration écologique en Méditerranée délivrée de la DIRM.

8.1.2 - LE SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DE L'EAU (SDAGE)

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux 2022-2027 du bassin Rhône-Méditerranée prévoit les orientations suivantes en lien avec le présent projet :

TABLEAU 22 : SYNTHESE DES ORIENTATIONS FONDAMENTALES DU SDAGE 2022-2027

ORIENTATIONS FONDAMENTALES		DISPOSITIONS
OF5 : LUTTER CONTRE LES POLLUTIONS, EN METTANT LA PRIORITE SUR LES POLLUTIONS PAR LES SUBSTANCES DANGEREUSES ET LA PROTECTION DE LA SANTE	OF 5B : Lutter contre l'eutrophisation es milieux aquatiques	Disposition 5B-04 Engager des actions de restauration physique des milieux et d'amélioration de l'hydrologie
OF 6 : PRESERVER ET RESTAURER LE FONCTIONNEMENT DES MILIEUX AQUATIQUES ET DES ZONES HUMIDES	OF 6A : Agir sur la morphologie et le découloignement pour préserver et restaurer les milieux aquatiques	Disposition 6A-09 Evaluer l'impact à long terme des pressions et des actions de restauration sur l'hydromorphologie des milieux aquatiques
		Disposition 6A-16 Mettre en œuvre une politique de préservation et de restauration du littoral et du milieu marin pour la gestion et la restauration physique des milieux

Par ailleurs, les mesures spécifiques prévues pour la masse d'eau du Golfe de Fos « FRDC04 » du ce même schéma sont les suivantes :

TABLEAU 23 : SYNTHESE DES MESURES SPECIFIQUES PREVUES PAR LE SDAGE POUR LA MASSE D'EAU FRDC04

PRESSIONS SIGNIFICATIVE	LIBELLE MESURE
POLLUTIONS PAR LES SUBSTANCES TOXIQUES (HORS PESTICIDES)	IND0201 - Créer et/ou aménager un dispositif de traitement des rejets industriels visant principalement à réduire les substances dangereuses (réduction quantifiée)
	IND0901 - Mettre en compatibilité une autorisation de rejet avec les objectifs environnementaux du milieu ou avec le bon fonctionnement du système d'assainissement récepteur
ALTERATION PAR LES ACTIVITES MARITIMES	MIA0701 - Gérer les usages et la fréquentation sur un site naturel

Ainsi, la commune de Fos-sur-Mer envisage, dans le cadre du projet, de proposer des mesures de gestion de la fréquentation et des mouillages au GPMM, compatible avec la mesure **MIA0701**, visant à réduire la pression liés aux ancrages des grands navires de commerces.

S'accompagnant de mesures complémentaires visant à réduire les pressions anthropiques sur le milieu et au vu de son objectif principal de restauration des fonctionnalités écologiques du milieu. **Le projet est bien compatible avec le SDAGE du bassin Rhône-Méditerranée.**

8.1.3 - LE SCHEMAS TERRITORIAUX DE RESTAURATION ECOLOGIQUE

La réussite d'une opération de restauration écologique est conditionnée à la mise en place de politiques fortes et efficaces en termes de **maîtrise des pressions et de gestion des usages**. La restauration écologique doit être pensée de manière intégrée, en s'insérant dans des dynamiques locales identifiables et actives de non-dégradation, qu'elle viendra renforcer et compléter, la maîtrise globale des pressions déterminant l'opportunité d'une action de restauration. C'est là l'ambition de la notion de schéma territorial de restauration écologique.

Dans le cadre de ce projet, la commune n'est liée à aucun STER.

8.1.4 - LE CONTRAT DE BAIE ET DE TRANSITION DE LA METROPOLE AIX MARSEILLE PROVENCE

Le contrat de baie de la Métropole Aix Marseille Provence, mentionne clairement le projet au droit de la commune de Fos-sur-Mer, représenté dans le tableau ci-dessous :

DEFI	OBJECTIF	MESURE	COUT
Défi 2 : Préserver et restaurer la qualité écologique des milieux littoraux et côtiers	FA12 Elaboration, mise en œuvre et suivi des plans de gestion des récifs artificiels	12_3 Mise en place de récifs artificiels à Fos-sur-Mer	Etudes : 70 000 € Travaux : 500 000 €

TABLEAU 24 : CONTRAT DE BAIE-TRANSITION 2023-2024 (TOME 1)

Le projet s'inscrit dans le cadre du contrat de baie et de transition de la Métropole Aix Marseille Provence, il est donc bien compatible avec ce contrat (Annexe : fiche projet)

9 - AUTO-EVALUATION : JUSTIFICATION DE L'EXAMEN AU CAS PAR CAS

9.1 - ARGUMENTS JUSTIFIANT L'ABSENCE D'UNE EVALUATION ENVIRONNEMENTALE COMPLETE

Le projet concerne l'installation de récifs artificiels innovants et bioinspirés de petite taille, organisés sous forme de "villages" afin de créer un corridor écologique. Cette approche vise à étudier la réhabilitation de fonctionnalités écologiques localement dégradées par l'apport de nouveaux substrats sains tout en favorisant la connectivité écologique entre les modules et les habitats de proximité (roche et herbier de posidonie).

En raison de leur dimension réduite et de leur impact limité sur l'environnement marin, ces récifs artificiels ne nécessitent pas une évaluation environnementale complète, bien qu'un examen au cas par cas ait été demandé. Cette démarche vise à évaluer les potentiels impacts, liés notamment au caractère artificiel des modules, et à démontrer leur compatibilité avec les écosystèmes en place. Par ailleurs, l'analyse réalisée dans cet examen démontre :

- L'absence d'impact négatif significatif sur les espèces endémiques et protégées ;
- La mise en œuvre de mesures complémentaires conformes au principe ERC-SA (Éviter, Réduire, Compenser, Suivre et Accompagner) ;
- La compatibilité réglementaire et des documents de planification territoriale du projet.

Enfin, des projets similaires d'immersion de récifs artificiels en zones anthropisées ont bénéficié de procédures simplifiées, compte tenu de leur faible emprise au sol et de leur objectif de réhabilitation écologique. Ces expérimentations confirment que l'installation de récifs artificiels peut être menée dans un cadre simplifié lorsque les impacts résiduels sont limités et les mesures de suivi robustes.

A noter finalement que des impacts positifs sont attendus sur les fonctions écologiques ciblées par l'apport de nouveaux habitats de substrats durs dans une zone historiquement dégradée préalablement associée à la présence de substrats durs (roches à algues photophiles) et d'un herbier de posidonie.

9.2 - RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROJET ET DES LIMITES DE LA RESTAURATION ECOLOGIQUE

Il nous semble essentiel de rappeler les objectifs inhérents au projet en prenant conscience des limites de la restauration écologique. En effet, les nombreux projets montrent l'impossibilité de revenir à l'état initial du milieu (avant dégradation) sans supprimer les causes de la dégradation à l'origine. La restauration écologique, ne peut aboutir à la création à l'identique de ce qui a été dégradé. Par ailleurs, cet objectif ambitieux ne peut être atteint grâce à un récif artificiel (Ruitton, S. et Charbonnel, E., 2024) particulièrement en raison de leur caractère artificiel et des matériaux non naturels employés. La protection des écosystèmes naturels reste une priorité.

De plus, il nous semble important de mentionner que la restauration écologique d'un milieu dégradé s'opère, de manière inhérente, avec un objectif de réduction et d'atténuation des pressions antérieures qui ont conduit à la détérioration des habitats marins (ex : mouillage forain, nouvelle construction portuaire avec création de bassins par dragage). Sans politiques publiques et sans action concrète, l'objectif de réhabilitation des fonctionnalités écologiques du milieu ne pourra pas être atteint. C'est pourquoi des études amonts ont été nécessaires pour identifier les zones d'installation les plus propices du Golfe de Fos et non soumis aux pressions résiduelles existantes. Le GPMM s'est par ailleurs engagé à mettre à jour la carte de zone des mouillages autorisés en excluant la zone de l'herbier de posidonie et des futurs récifs.

En revanche, l'objectif du projet est double. Tout d'abord, il a vocation à réhabiliter différentes fonctions écologiques d'un écosystème urbanisé et historiquement dégradé : nouveau substrat, le rôle de nurserie, le peuplement de poisson et de frayère. En second temps, il s'insère dans une vocation de recherche scientifique afin de concevoir et déployer de nouvelle génération de solutions in situ, afin d'en mesurer l'efficacité à une échelle représentative au terme d'un travail d'études et de suivis qui permettra démontrer ou non les

performances de ce type d'approche novatrice au service des politiques publiques d'urgence de la prochaine décennie.

9.3 - PERTINENCE DES MESURES PROPOSEES

9.3.1 - GARANTIE DES MESURES PROPOSEES

La faible superficie des récifs artificiels projetés engendre de faibles impacts environnementaux. Cependant, le contexte local du golfe de Fos-sur-Mer, marqué par une forte dégradation liée à l'activité industrielle, requiert une vigilance particulière. La qualité de l'eau est déjà jugée « moyenne », elle ne doit pas se détériorer davantage avec les projets futurs dans cette zone.

Les mesures proposées garantissent que :

- Les matériaux utilisés ne génèrent pas de pollution ou de modification de l'hydrodynamisme ;
- Les récifs artificiels n'entraînent pas d'effets négatifs sur les habitats sensibles, tels que les herbiers de posidonie ;
- Une surveillance renforcée est mise en place pour anticiper et corriger tout impact inattendu.

En complément, il est suggéré d'intégrer des mouillages écologiques au large à destination des plus grosses unités, contribuant à la préservation des habitats sensibles et au maintien des usages locaux.

9.3.2 - FACTEURS DE RISQUE SPECIFIQUES A LA ZONE

La zone d'étude présente des risques liés aux facteurs suivants :

- L'activité industrielle conséquente, susceptible d'introduire des polluants dans le milieu marin ;
- Une turbidité élevée, réduisant la visibilité et influençant la colonisation biologique des récifs.

Ces caractéristiques ont été prises en compte dans le choix des sites d'expérimentation, dans le design des solutions, dans les mesures d'accompagnement et de suivi environnemental, garantissant ainsi un contrôle efficace des impacts.

10 - BIBLIOGRAPHIE

Bulletin de la Surveillance de la Qualité du Milieu Marin Littoral 2021. Résultats acquis jusqu'en 2021. Ifremer/ODE/LITTORAL/LEPAC/Laboratoire Environnement Ressources Provence Azur Corse, 109 p.

A. Souloumiac, Relevés de faune et flore benthiques dans le Golfe de Fos par le réseau VOCE en 2022 et 2023. Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, 2023.

Audrey Souloumiac. Résultats des paramètres physico-chimiques du golfe de Fos effectués par le réseau VOCE en 2022. Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, 2023.

Annexe du Plan d'action du DSF de Méditerranée. Liste des actions par zone de vocation

Contrat de baie de la Métropole Aix Marseille Provence (2023-2024)

Direction interrégionale de la mer Méditerranée. 2019. Document stratégique pour la restauration écologique en Méditerranée. PAMM Méditerranée occidentale. 56 pages.

HERLORY O., BRIAND J. M., BOUCHOUCHA M., DEROLEZ V., MUNARON D., CIMITERRA N., TOMASINO C., GONZALEZ J.-L., GIRAUD A., BOISSERY P. (2022) Directive Cadre sur l'Eau. Bassin Rhône Méditerranée Corse - Année 2021. RST.ODE/UL/LEPAC/22-11. 89pp.

Jouvenel J.-Y., Picard I., Foulon E., Chorliet L., et A. Lowenstein, 2023. Choix de récifs artificiels et de leur(s) zone(s) d'implantation du projet « Implantation des récifs artificiels dans le Golfe de Fos ». P2A Développement (56 p).

Jouvenel J.-Y., Picard I., Foulon E., Lowenstein A., 2023. Étude de faisabilité technique et financière du projet « Implantation des récifs artificiels dans le Golfe de Fos » - Diagnostic. P2A Développement (165 p)

SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine). Manuel des marées : théorie et pratique. Éditions du SHOM, 2022. ISBN 978-2-11-139505-3.

Susperregui N. et Soulier L., 2009. État des connaissances sur les récifs artificiels dans le monde : typologie, objectifs, gestion et suivis, Rapport de synthèse, 127 p.

11 - ANNEXES

- Plans de localisation et cartes précises.
- Fiche projet du Contrat de Baie
- Photographies du site et de l'environnement marin actuel.
- Documents complémentaires (ex. : études biologiques, références à d'autres projets similaires).