



Département Océanographie et Dynamique des Écosystèmes – Unité Littoral –
Laboratoire Environnement Ressources d’Arcachon

Rigouin Loïc, Ganthy Florian, Auby Isabelle, Muriel Lissardy

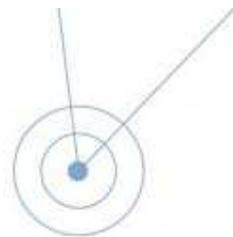
Juin 2021

Rapport ODE/LER/AR/21.011

IDHEBARC 2018-2020 : Bilan d’activité Secteur de Gujan-Mestras



© Ifremer, Loïc Rigouin



Fiche documentaire

Titre du rapport : IDHEBARC 2018-2020 : Bilan d'activité – Secteur de Gujan Mestras	
Référence interne : RST/LER/AR/21.011	Date de publication : Juin 2021
Diffusion : <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet) <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle)	Langue(s) : Français
Résumé/ Abstract : <p>Le projet IDHEBARC s'intéresse à l'impact potentiel des travaux maritimes (nettoyage des friches ostréicoles, dragage des ports, ...) sur les herbiers de zostères du Bassin d'Arcachon. Ce projet pluriannuel comporte des actions de modélisation hydrosédimentaire visant à cartographier l'intensité des impacts potentiels, et un suivi de l'évolution de l'emprise et du recouvrement des herbiers et de la composition de leur fond sédimentaire.</p> <p>Ce rapport présente les résultats du suivi réalisé dans le secteur de Gujan-Mestras (Bassin d'Arcachon) où des travaux de dragage ont été réalisés de septembre 2018 à avril 2019.</p>	
Mots-clés/ Key words : Travaux maritimes, herbiers de zostères, Bassin d'Arcachon	
Comment citer ce document : Rigouin L., Ganthy F., Auby I., Lissardy M. (2021). IDHEBARC 2018-2020 : Bilan d'activité – Secteur de Gujan Mestras. RST/LER/AR/21.011	
Disponibilité des données de la recherche :	
DOI :	

Commanditaire du rapport : Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon	
Nom / référence du contrat :	
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit : Projet IDHEBARC	
Auteur(s) / Adresses mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
Loïc Rigouin / loic.rigouin@ifremer.fr	ODE/UL/LER/AR
Florian Ganthy / florian.ganthy@ifremer.fr	ODE/UL/LER/AR
Isabelle Auby / isabelle.auby@ifremer.fr	ODE/UL/LER/AR
Muriel Lissardy / muriel.lissardy@ifremer.fr	ODE/UL/LER/AR
Encadrement(s) : Elvire Antajan	
Destinataire : Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon	
Validé par : Elvire Antajan	

Sommaire

Table des matières

1	Contexte	7
2	Modélisation de l'impact potentiel des travaux et choix des sites suivis	8
2.1	Méthodes	8
2.2	Résultats de la modélisation et positionnement des sites suivis	9
3	Suivi de l'emprise des herbiers à proximité de la zone de travaux	11
3.1	Méthodes	11
3.2	Résultats pour la partie Ouest du secteur	12
3.2.1	Emprise des herbiers de zostères avant travaux : automne 2018	12
3.2.2	Emprise des herbiers de zostères après travaux : automne 2019	13
3.2.3	Emprise des herbiers de zostères après travaux : automne 2020	14
3.2.4	Evolution de l'emprise entre 2018 et 2019 pour la partie Ouest du secteur.....	15
3.2.5	Évolution de l'emprise entre 2019 et 2020	16
3.2.6	Evolution de l'emprise entre 2018 et 2020	17
3.3	Résultat pour la partie Est du secteur	18
3.3.1	Emprise des herbiers de zostères avant travaux : automne 2018	18
3.3.2	Emprise des herbiers de zostères après travaux : automne 2019	18
3.3.3	Évolution de l'emprise entre 2018 et 2019 sur le secteur de la Mole	19
3.4	Impact de la canalisation de refoulement.....	21
4	Suivi du recouvrement des herbiers	22
4.1	Méthodes	22
4.2	Résultats	23
4.2.1	Grille témoin (Rocher)	23
4.2.2	Grille Gujan	26
4.2.3	Évolution du recouvrement des herbiers entre 2018, 2019 et 2020.....	28
5	Suivi des sédiments	29
5.1	Méthodes	29
5.2	Résultats	30
5.2.1	Caractérisation et évolution du substrat sédimentaire.....	30
5.2.2	Évolution des sédiments superficiels	32
6	Conclusions pour la période 2018-2020	33
7	Références bibliographiques	34
8	Annexe 1 : Résultats des analyses statistiques sur l'évolution du taux de recouvrement des zostères.....	35

1 Contexte

En 2018, le SIBA a sollicité le Laboratoire Environnement Ressources d’Arcachon-Anglet (LER/AR) pour élaborer et mettre en œuvre des protocoles destinés à étudier l’impact des futurs travaux maritimes sur l’état des herbiers de zostères localisés dans les zones adjacentes à ces opérations et proposer, le cas échéant, des solutions alternatives et/ou des mesures compensatoires.

Plusieurs opérations ont débuté en 2018, dont une localisée dans le secteur de Gujan Mestras, visant à draguer le port de la Passerelle et son chenal d’accès. Les sédiments sont prélevés à l’aide d’une drague hydraulique et transportés vers le bassin de stockage de la Mole par l’intermédiaire de conduites de refoulement posées sur les estrans et ensouillées au passage de deux chenaux (Figure 1). Ces opérations de dragage ont débuté mi-septembre 2018 et se sont terminées à la fin du mois d’avril 2019. La conduite de refoulement localisée entre la pompe relais et le raccordement à terre (en jaune sur la figure 1) a été installée début septembre 2018 et se trouve toujours sur place à l’heure actuelle.

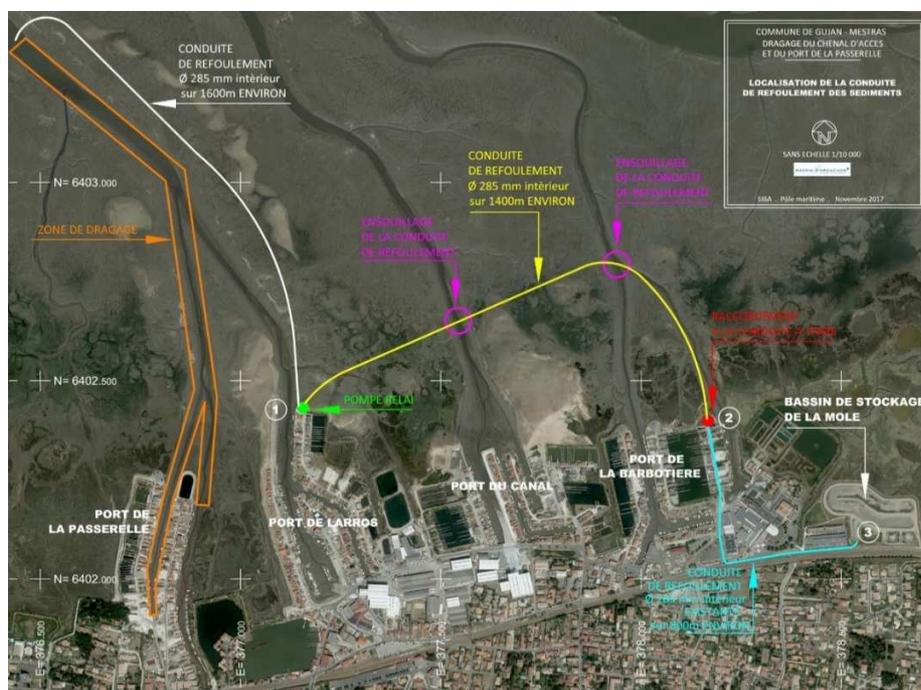


Figure 1 : Carte de la zone de travaux

Afin de participer au suivi environnemental de l’impact de ces travaux, le LER/AR a élaboré une stratégie de surveillance des herbiers de zostères naines situés à proximité de cette zone, en s’appuyant sur les résultats du modèle hydro-sédimentaire pour choisir le site témoin (non impacté) et un site potentiellement impacté par les mouvements de sédiment fins générés par cette opération.

Les suivis annuels mis en œuvre à partir de l’automne 2018 concernent :

- les herbiers de zostères (délimitation de l’emprise des herbiers autour du chantier, mesure des taux de recouvrement sur les deux sites),
- les caractéristiques sédimentaires.

Ce document décrit les méthodes utilisées et présente les résultats obtenus depuis le début des suivis.

2 Modélisation de l'impact potentiel des travaux et choix des sites suivis

La position des sites de mesure du recouvrement des herbiers (potentiellement fortement, faiblement ou non impactés) a été déterminée sur la base de simulations numériques obtenues en utilisant le modèle MARS3D, décrit dans les paragraphes suivants.

2.1 Méthodes

La plateforme de modélisation hydro-sédimentaire MARS (Model for Application at Regional Scale ; Lazure et Dumas, 2008) a été développée par l'Ifremer afin de simuler l'hydrodynamique et la dynamique sédimentaire depuis des échelles régionales jusqu'à des échelles très locales. Le module hydrodynamique calcule le niveau de la surface libre, la courantologie et les caractéristiques de la turbulence et intègre un module décrivant explicitement les interactions entre la végétation benthique (ici les herbiers de zostères naines, *Z. noltei*, et de zostères marines, *Z. marina*) et l'hydrodynamique (Kombiadou *et al.*, 2014). Le module de transport sédimentaire (Le Hir *et al.*, 2011) décrit les principaux processus qui contrôlent le transport et la dynamique des sédiments cohésifs et non-cohésifs dans la colonne d'eau, et l'érosion de mélanges sédimentaires.

Le modèle MARS utilise le principe des modèles gigognes, qui consiste à construire une série de modèles emboîtés, d'emprise décroissante et de résolution croissante. Pour le cas du Bassin d'Arcachon, quatre modèles (rangs) sont ainsi construits (Figure 2), avec des résolutions respectives de 2500, 500, 235 et 65 mètres. Les rangs 0, 1 et 2 sont utilisés en 2 dimensions (2D), afin d'optimiser les temps de calculs (pas de temps respectifs de 300, 120 et 20 secondes), tandis que le rang 3 est utilisé en 3D avec 15 niveaux sur la verticale et un pas de temps de 3 secondes.

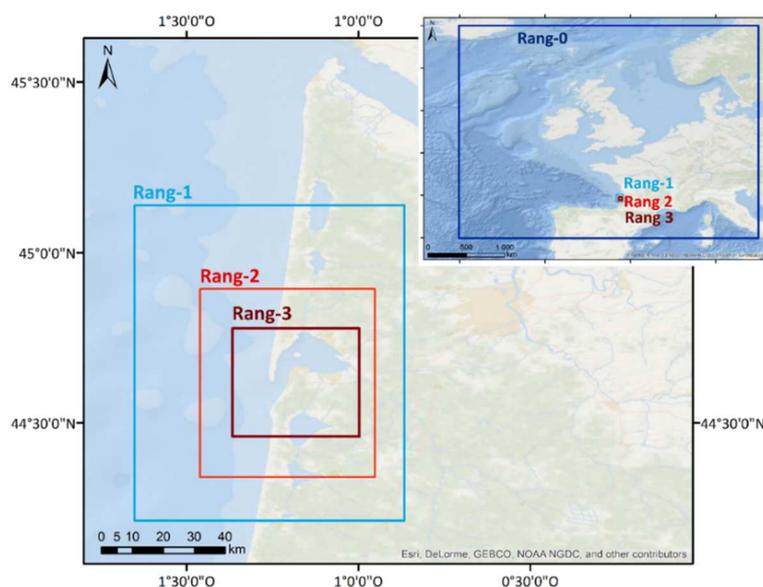


Figure 2 : Emprises spatiales des différents rangs du modèle MARS appliqué au Bassin d'Arcachon (Le système de coordonnées est ici le WSG84).

Pour simuler l'effet des travaux, on introduit dans le modèle un rejet d'eau chargée de sédiment en un point donné, puis on calcule le facteur de dilution au cours du temps. Dans notre cas, un débit liquide du rejet de $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a été choisi : il s'agit d'un compromis entre l'effet potentiel du rejet d'eau sur les courants locaux et les concentrations rejetées. Le rejet d'eau chargée de trois classes sédimentaires (sables moyens, sables fins et vases) est réalisé dans la couche de fond. Les

simulations réalisées sont relativement schématiques dans la mesure où la dynamique sédimentaire naturelle n'est pas prise en compte. Ainsi, mis à part les sédiments rejetés au point considéré, aucun autre sédiment n'est présent dans le domaine de simulation. Les concentrations simulées correspondent donc aux seules conséquences des travaux.

En ce qui concerne la zone draguée, trois points de rejet ont été définis (« Chenal externe », « Chenal Intermédiaire » et « Chenal interne », Figure 3). Pour chacun de ces points, deux simulations ont été réalisées, une débutant en morte-eau et l'autre en vive-eau. Pour chacune de ces six simulations, le rejet est réalisé entre 3 heures avant et trois heures après la pleine mer (correspondant aux périodes de travaux), durant 4 marées consécutives. La simulation est poursuivie jusqu'à 6 jours après la fin du rejet, période au bout de laquelle l'impact des travaux sur les concentrations en matières en suspension devient négligeable.

En ce qui concerne l'ensouillement de la conduite, deux simulations supplémentaires (« Estey des Salines » et « Estey de Mestras ») ont été réalisées en vive-eau, avec un rejet entre 3 heures avant et trois heures après la pleine mer et ne durant qu'une seule marée (correspondant aux dates et durées prévues pour l'ensouillement). La durée totale de ces simulations a été fixée à 6 jours.

Enfin, une dernière simulation a été réalisée afin d'évaluer l'impact potentiel des eaux s'écoulant du bassin de décantation de la Mole. Pour cette dernière simulation, un rejet continu a été appliqué durant 14 jours (période morte-eau/vive-eau), la simulation ayant été poursuivie durant 6 jours après la fin du rejet.

Pour chaque simulation, le percentile 75 des concentrations au fond (entre 0 et 0,5 m) est calculé en chaque maille du modèle pour la durée totale de la simulation. Les valeurs obtenues sont ensuite normalisées par la valeur maximale atteinte localement, de sorte à obtenir une carte représentant l'impact potentiel défini entre 0 (pas d'impact) et 10 (impact maximum) (Figure 3). Les résultats des six simulations (six points de rejet) sont ensuite moyennés afin d'obtenir une carte globale de l'impact des travaux (Figure 4).

2.2 Résultats de la modélisation et positionnement des sites suivis

D'après les résultats du modèle, l'impact des travaux serait maximal dans la partie médiane du chenal permettant l'accès au port de la Passerelle (Figures 3 et 4). D'une façon générale, les herbiers les plus proches de la côte seraient moyennement influencés par ces travaux, cet impact diminuant graduellement vers le nord, l'est et l'ouest. On peut toutefois souligner que l'impact des opérations de dragage apparaît plus fort lorsqu'elles sont réalisées en morte-eau qu'en vive-eau.

Les deux sites de suivi du recouvrement des zostères naines ont été placés en fonction de l'emprise des herbiers dans la zone et de l'intensité des impacts modélisés. Le site de référence, « Rocher témoin » a été positionné sur l'estran localisé à proximité du port de Rocher, éloigné de toute influence de ces travaux. Le site « Gujan » correspond à la zone dans laquelle les travaux pourraient avoir le plus fort impact.

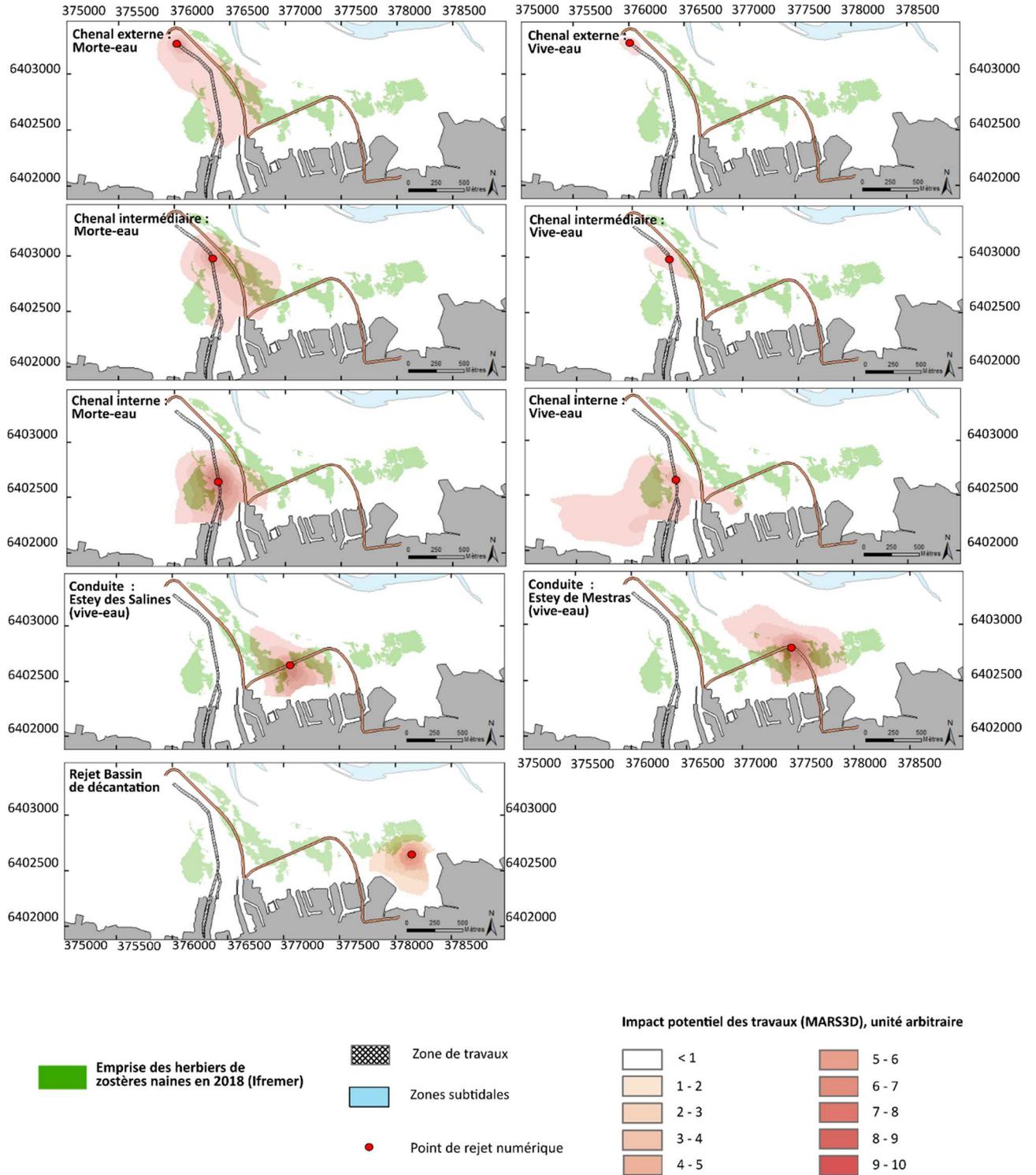


Figure 3 : Résultats détaillés de la modélisation de l'impact des travaux dans le secteur de Gujan-Mestras

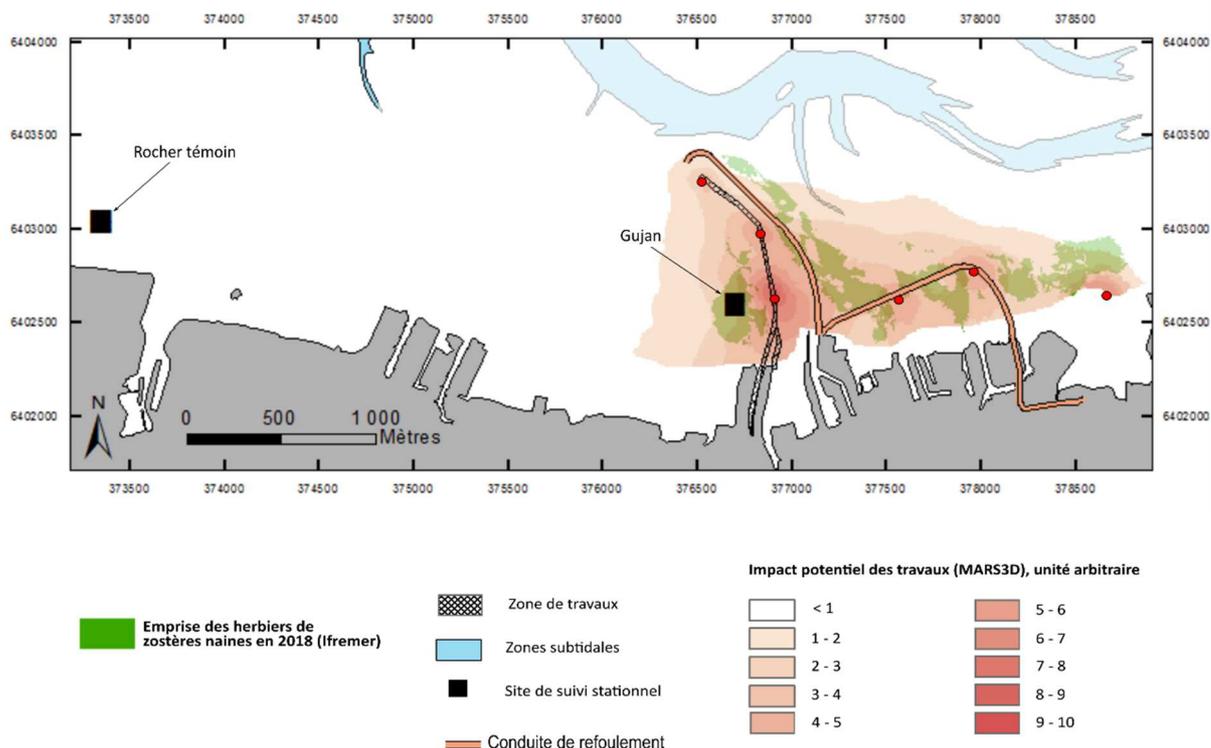


Figure 4 : Résultats synthétiques de la modélisation de l'impact des travaux dans le secteur de Gujan-Mestras

3 Suivi de l'emprise des herbiers à proximité de la zone de travaux

L'emprise des zostères dans la zone de travaux a été cartographiée au début de l'automne précédant les opérations (2018) et après les travaux, aux automnes 2019 et 2020.

3.1 Méthodes

En **2018**, la délimitation des bordures de la majorité des herbiers intertidaux de la zone comprise entre les ports de la Passerelle (à l'ouest) et de la Mole (à l'est) a été réalisée en cheminant sur l'estran avec un DGPS Trimble. Les limites ont ensuite été post-traitées par correction différentielle à partir des stations de référence de l'IGN afin d'obtenir une précision de positionnement sub-métrique. Pour la partie ouest de l'herbier situé au droit du port de la Mole (à l'est de la zone), sa limite a été numérisée à partir de l'image aérienne acquise par le SIBA en août 2018. L'ensemble des limites obtenues a ensuite été traité sous SIG (ArcMap 10.3 et QGIS 3.2.0) afin d'obtenir la carte de l'emprise des herbiers de *Zostera noltei* de ce secteur.

En **2019**, dans les secteurs compris entre les ports de la Passerelle (à l'ouest) et de la Barbotière (à l'est), la délimitation des bordures d'herbiers a été réalisée en cheminant sur l'estran avec un DGPS Trimble.

Pour le secteur du port de la Mole, une autre méthode d'acquisition de données a été utilisée en 2019 : des images aériennes ont été acquises à l'automne à l'aide d'un drone afin de réaliser une orthomosaïque de ce secteur permettant d'obtenir l'emprise des herbiers affectés de leur taux de recouvrement. La description détaillée du protocole utilisé pour ce faire est présentée dans l'Annexe 1. Cependant, dans le corps de ce rapport, seuls seront présentés les résultats obtenus à partir de la numérisation de l'emprise des herbiers sur l'orthomosaïque. En effet, il est apparu

pertinent d'effectuer les comparaisons d'emprise à partir de données issues seulement de méthodes similaires.

En **2020**, dans les secteurs compris entre les ports de la Passerelle (à l'ouest) et de la Barbotière (à l'est), la délimitation des bordures d'herbiers a été réalisée en cheminant sur l'estran avec un DGPS Trimble.

3.2 Résultats pour la partie Ouest du secteur

3.2.1 Emprise des herbiers de zostères avant travaux : automne 2018

La figure 5 présente l'emprise des herbiers sur l'intégralité du secteur de Gujan, à l'automne 2018.

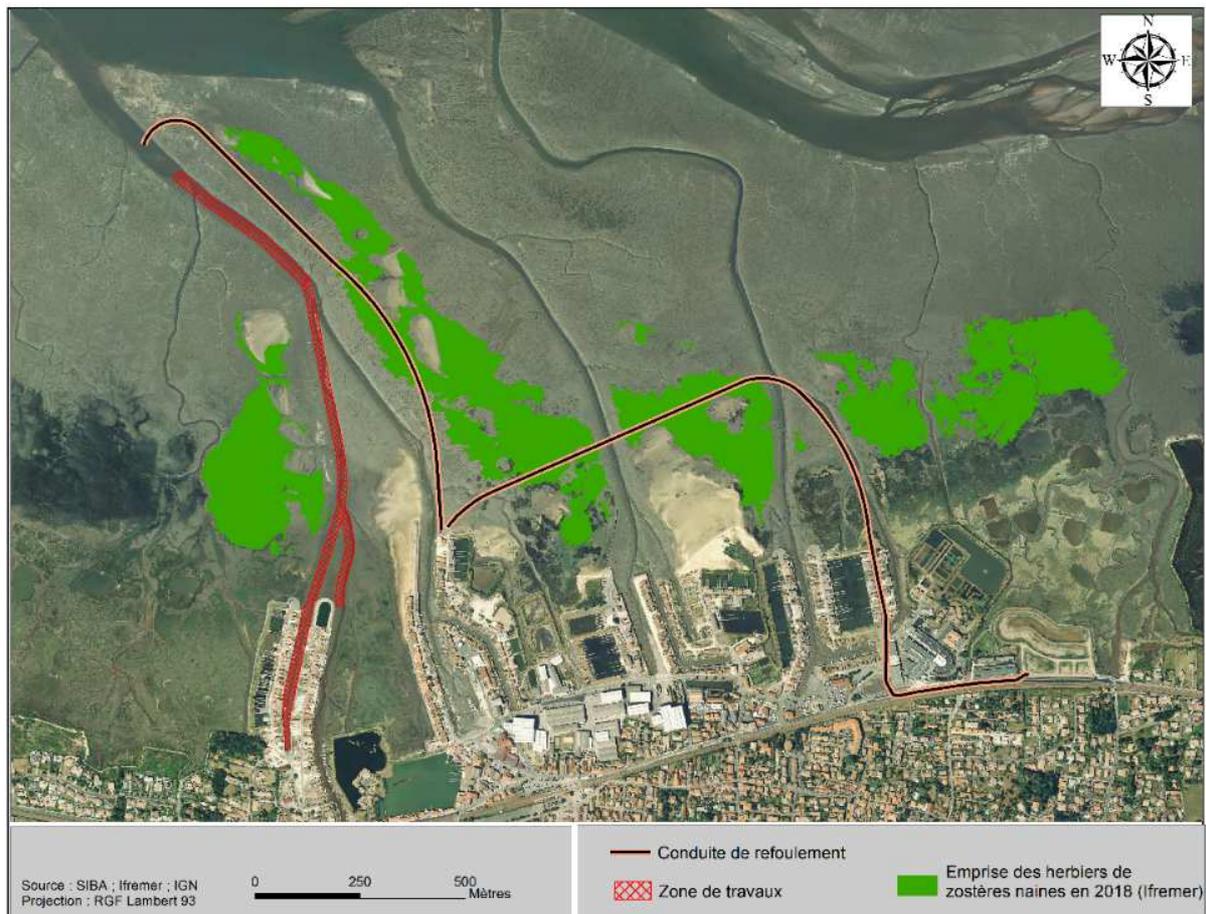


Figure 5 : Carte de l'emprise des herbiers de zostères naines (du port de la Passerelle au port de la Mole) à l'automne 2018.

3.2.2 Emprise des herbiers de zostères après travaux : automne 2019

La figure 6 présente l'emprise des herbiers de la partie Ouest (entre le port de la Passerelle et la Barbotière) du secteur de Gujan, à l'automne 2019.

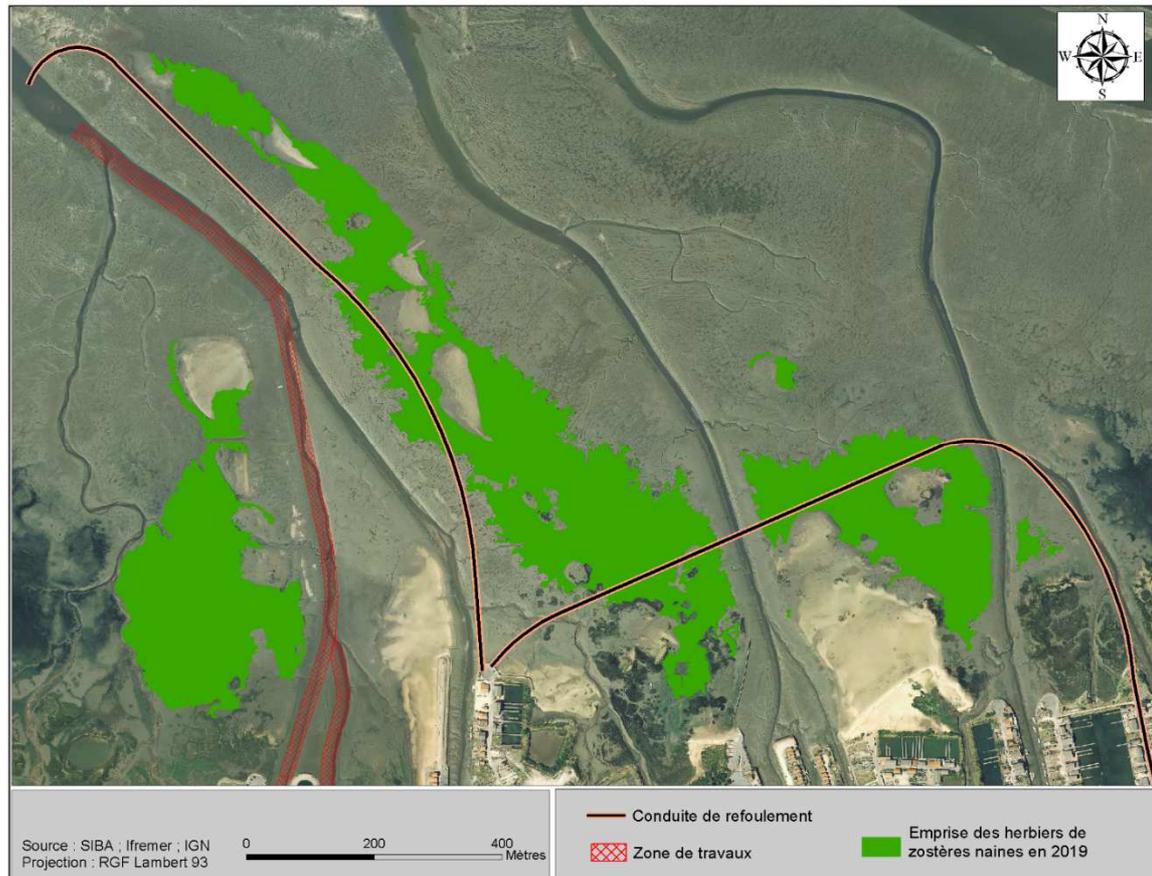


Figure 6 : Carte de l'emprise des herbiers de zostères naines (du port de la Passerelle au port de la Barbotière) à l'automne 2019.

3.2.3 Emprise des herbiers de zostères après travaux : automne 2020

La figure 7 présente l'emprise des herbiers de la partie Ouest (entre le port de la Passerelle et la Barbotière) du secteur de Gujan, à l'automne 2020.

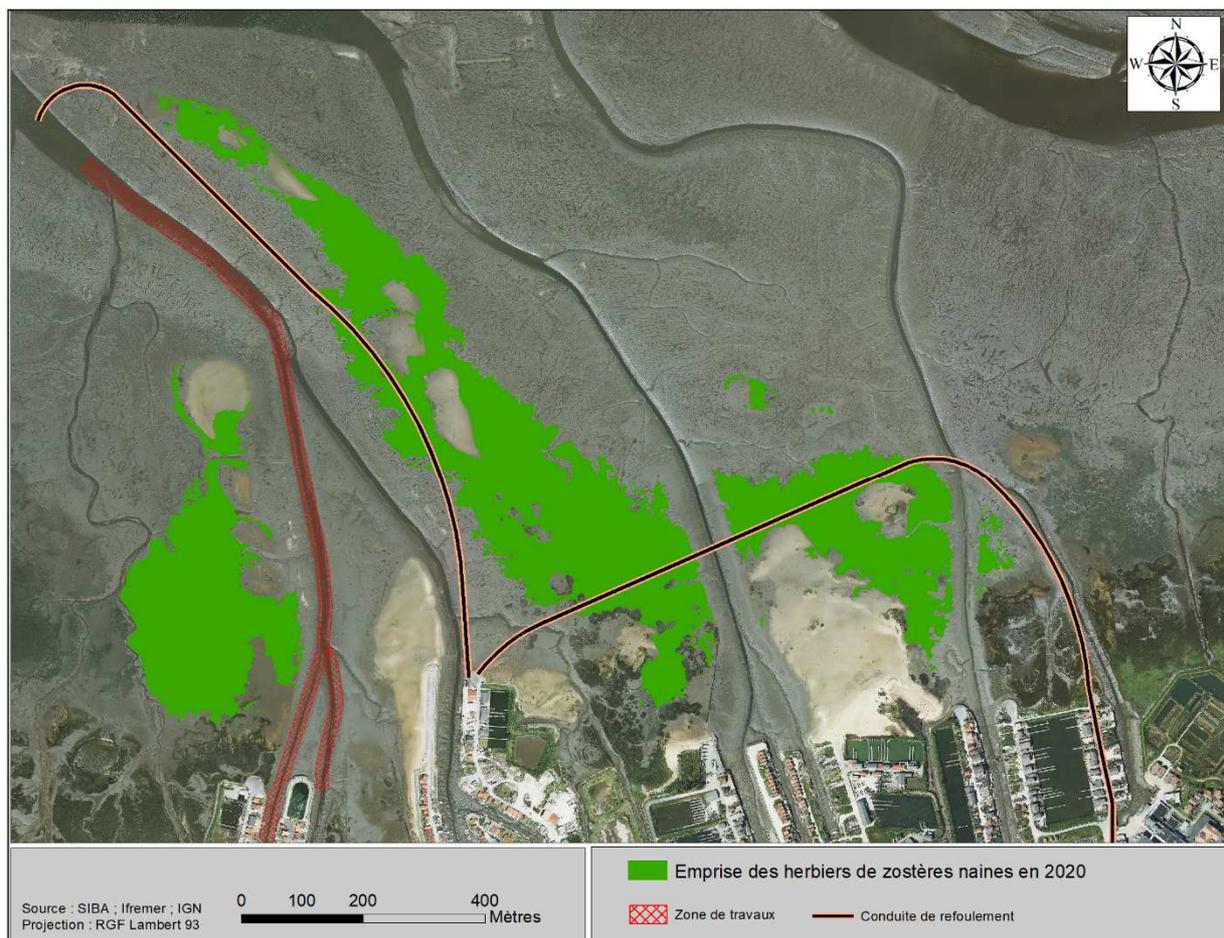


Figure 7 : Carte de l'emprise des herbiers de zostères naines (du port de la Passerelle au port de la Barbotière) à l'automne 2020.

3.2.4 Evolution de l'emprise entre 2018 et 2019 pour la partie Ouest du secteur

La figure 8 présente l'évolution des emprises d'herbier pour la partie Ouest du secteur (entre le port de la Passerelle et celui de la Barbotière) entre 2018 et 2019.

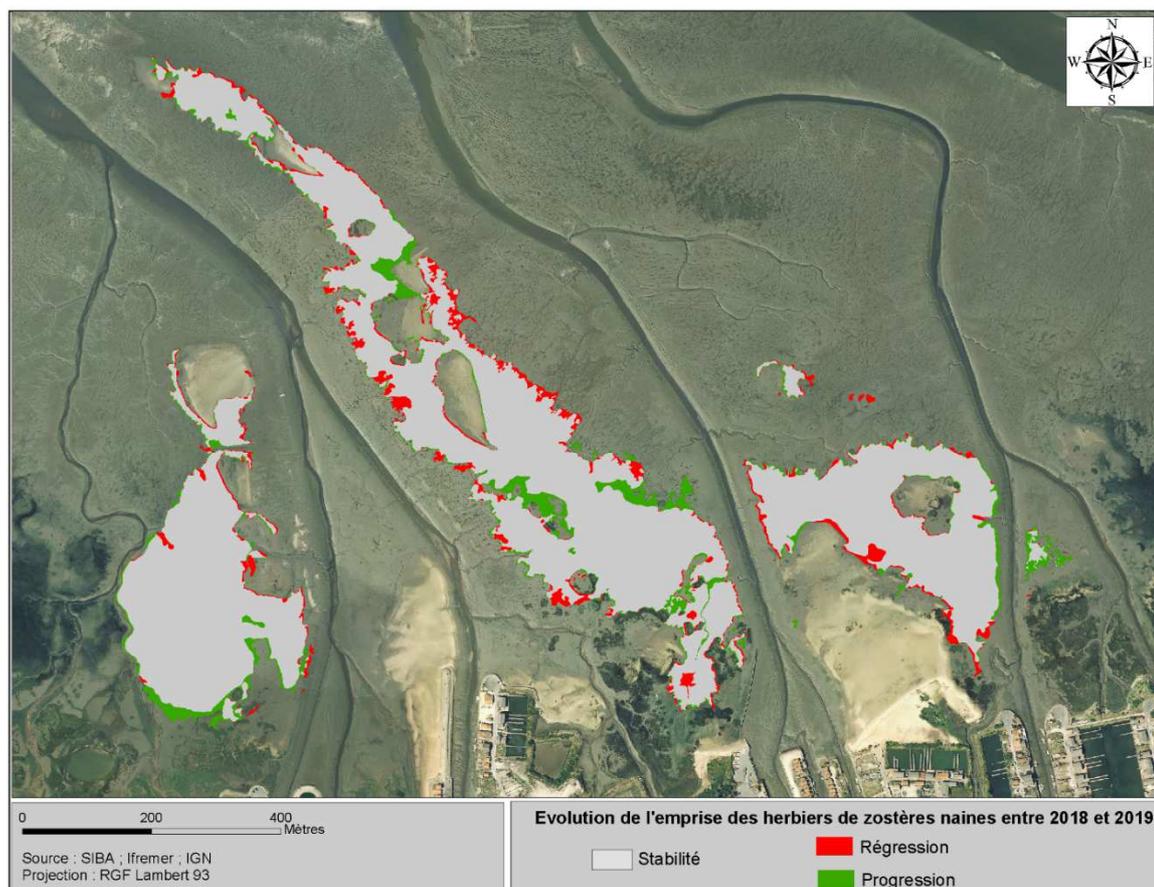


Figure 8 : Evolution de l'emprise des herbiers de zostères naines (du port de la Passerelle au port de la Barbotière) entre 2018 et 2019.

La comparaison des données acquises en 2018 et 2019 pour la partie Ouest (secteur prospecté uniquement par levé GPS) met en évidence une **régression** de l'emprise des herbiers de **2,03 ha** et une **progression** de **2,39 ha**. Globalement, une **progression de 0,36 ha**, soit **1,29 %** par rapport à la surface de 2018 (environ **28 ha**) est observée. Cette progression (1,29 %) s'avère anecdotique compte tenu de l'incertitude affectée aux levés de terrain (de l'ordre de 5,6 % en 2018 et 5,8 % en 2019 en prenant une valeur de plus ou moins 0,5 m de part et d'autre du levé GPS).

Il s'avère que la majorité des zones en progression sont situées au sein d'enclaves de sédiment nu protégées par des herbiers ou en limite haute (côtières) des herbiers, tandis que les zones en régression sont majoritairement situées en limites basses et/ou non protégées par les herbiers alentours.

3.2.5 Évolution de l’emprise entre 2019 et 2020

La figure 9 présente l’évolution des emprises d’herbier pour la partie Ouest du secteur (entre le port de la Passerelle et celui de la Barbotière) entre 2019 et 2020.

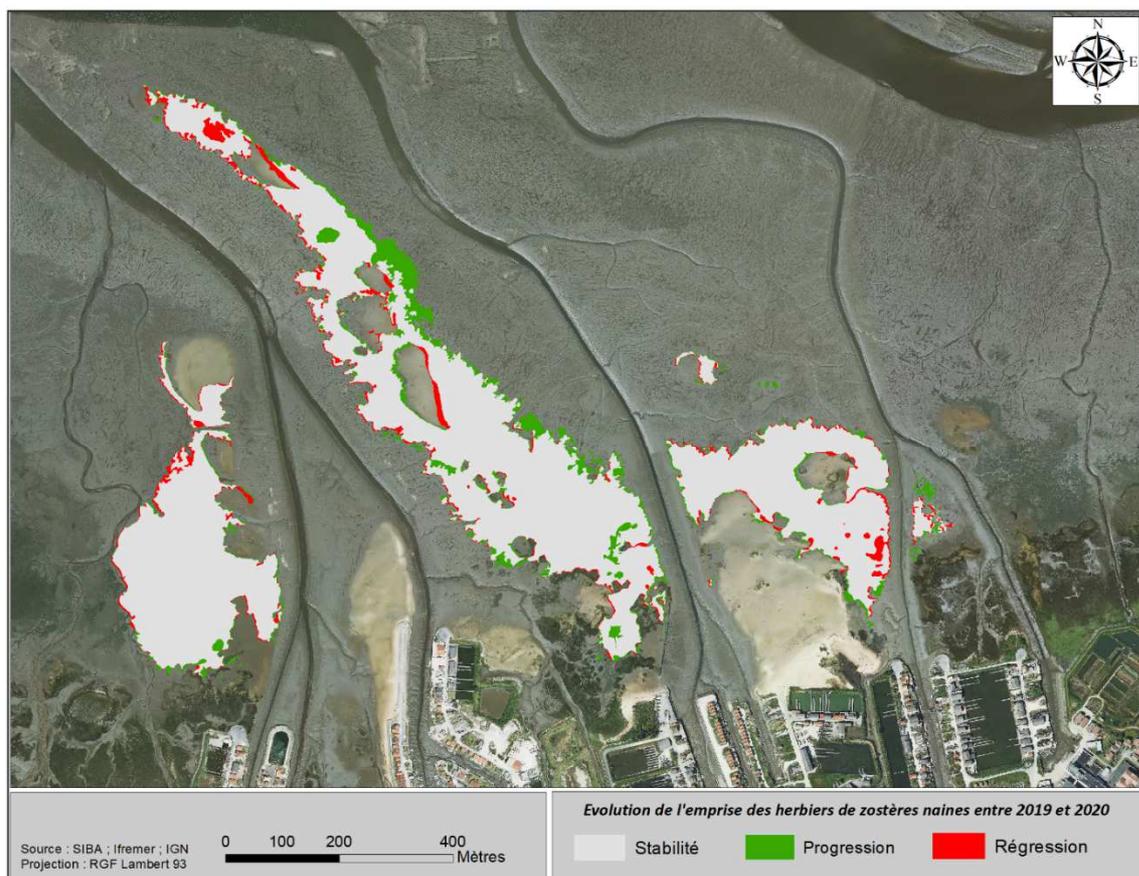


Figure 9 : Evolution de l'emprise des herbiers de zostères naines (du port de la Passerelle au port de la Barbotière) entre 2019 et 2020.

La comparaison des données acquises en 2019 et 2020 met en évidence une **régression** de l’emprise des herbiers de **1,85 ha** et une **progression** de **2,93 ha**. Globalement, une **progression de 1,08 ha**, soit **3,8 %** par rapport à la surface de 2019 (environ **28,3 ha**) est observée. Cette progression (3,8 %) s’avère non significative puisqu’elle est inférieure à l’incertitude (5,8 % en 2019 et 6,7 % en 2020) liée aux levés GPS.

L’évolution de l’emprise des herbiers (tendance à la progression) observée entre 2018 et 2019 semble donc se confirmer en 2020. Les herbiers situés en position haute ainsi que ceux qui sont les moins exposés aux forçages hydrodynamiques ont tendance à progresser. Les zones de régression semblent plutôt se situer sur les parties basses et/ou non protégées par les herbiers alentours (côté ouest des herbiers).

3.2.6 Evolution de l'emprise entre 2018 et 2020

La figure 10 présente l'évolution des emprises d'herbier pour la partie Ouest du secteur (entre le port de la Passerelle et celui de la Barbotière) entre 2018 et 2020.

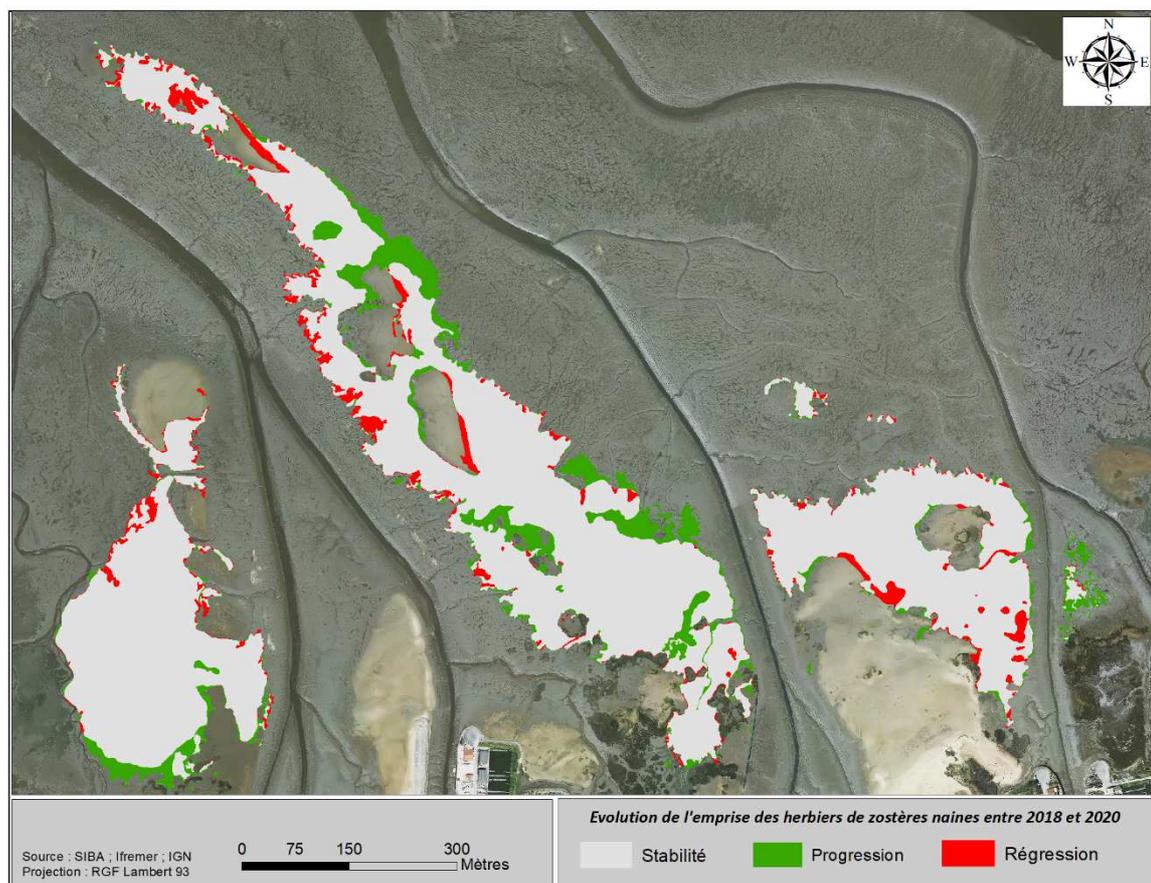


Figure 10 : Evolution de l'emprise des herbiers de zostères naines (du port de la Passerelle au port de la Barbotière) entre 2018 et 2020.

La comparaison des données acquises en 2018 et 2020 met en évidence une **régression** de l'emprise des herbiers de **1,93 ha** et une **progression** de **3,44 ha**, correspondant globalement à une **progression de 1,51 ha (5,4 % par rapport à la surface de 2018)**.

Bien que ce pourcentage de progression soit du même ordre de grandeur que l'incertitude liée aux levés GPS, il apparaît que l'herbier s'est étendu par endroit de plusieurs dizaines de mètres, notamment dans les zones les plus hautes et/ou les plus abritées.

3.3 Résultat pour la partie Est du secteur

3.3.1 Emprise des herbiers de zostères avant travaux : automne 2018

La figure 11 présente l'emprise des herbiers de la zone à l'automne 2018.

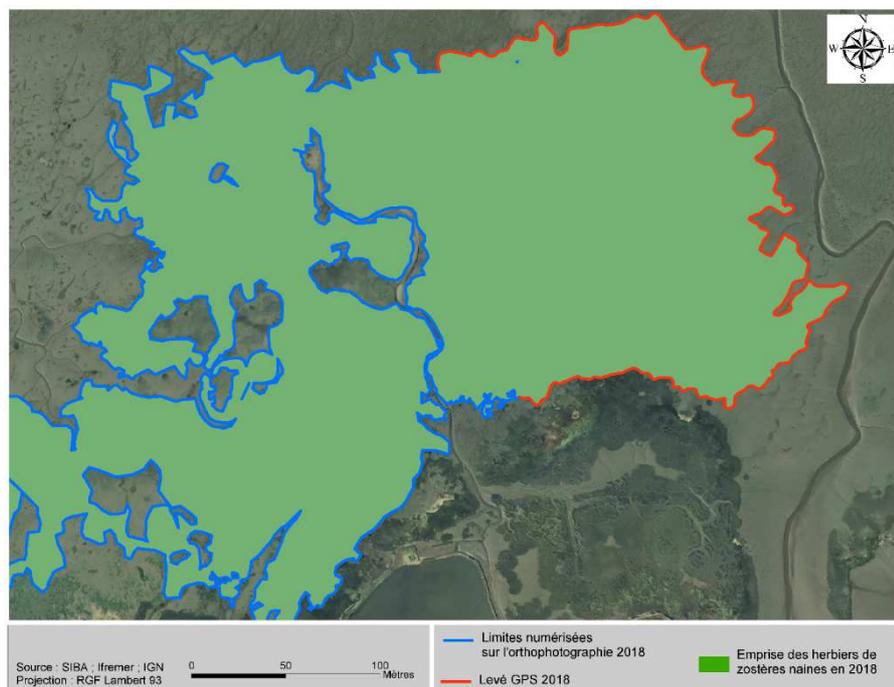


Figure 11 : Emprise des herbiers de zostères naines (port de la Mole) à l'automne 2018.

3.3.2 Emprise des herbiers de zostères après travaux : automne 2019

La figure 12 présente l'emprise des herbiers de la zone Est (port de la Mole), à l'automne 2019.

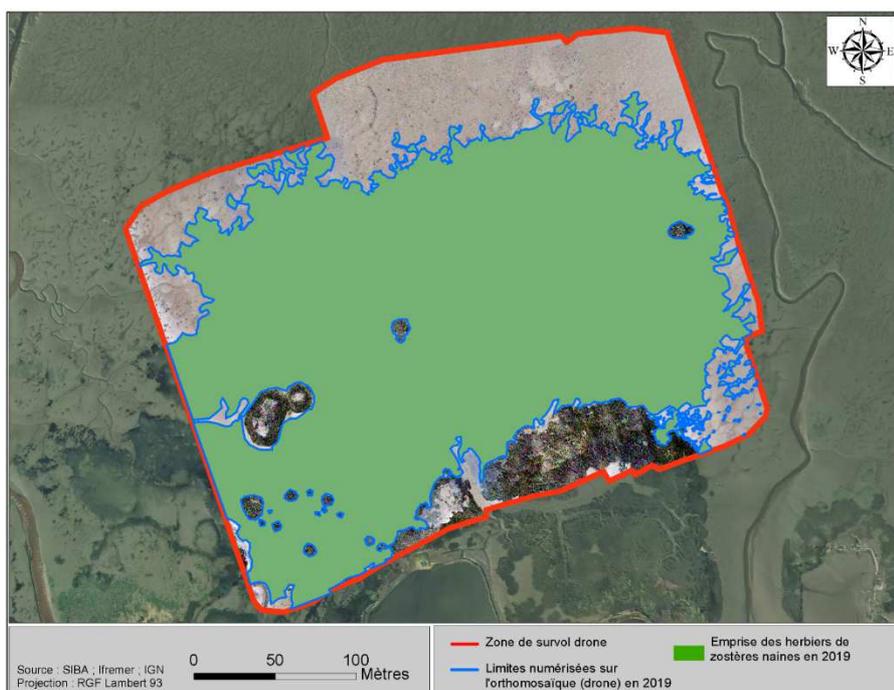


Figure 12 : Emprise des herbiers de zostères naines (port de la Mole) à l'automne 2019.

3.3.3 Évolution de l’emprise entre 2018 et 2019 sur le secteur de la Mole

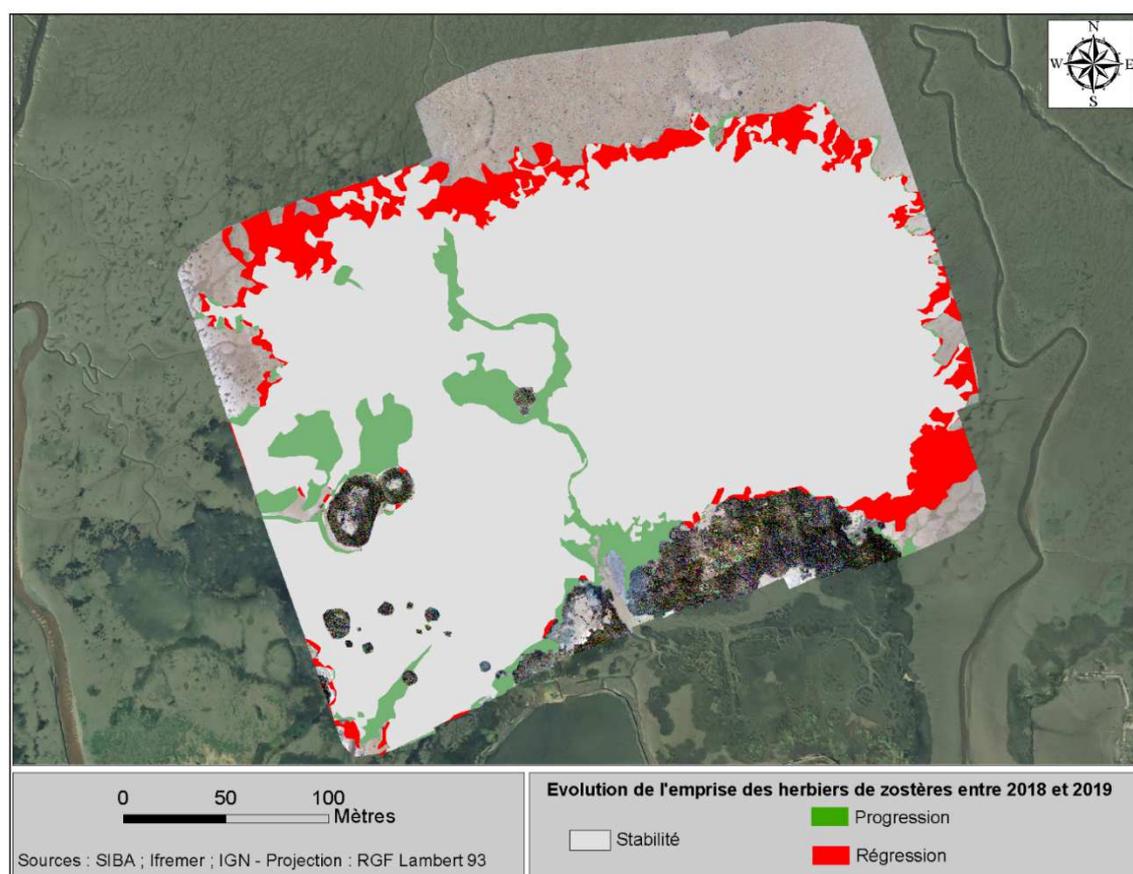


Figure 13 : Évolution de l’emprise des herbiers de zostères naines (port de la Mole) entre 2018 et 2019.

La comparaison des données acquises en 2018 et 2019 pour la partie Est met en évidence une **régression** de l’emprise des herbiers de **0,67 ha** et une **progression** de **0,53 ha**. Globalement, une **régression de 0,13 ha**, soit **0,02 %** par rapport à la surface de 2018 (environ **6,5 ha**) est observée.

Ces résultats doivent toutefois être considérés avec prudence, et ce pour différentes raisons. En premier lieu, la résolution de l’orthophotographie de 2018 (SIBA) est bien inférieure à celle de l’orthomosaïque de 2019 (Ifremer) : 15 cm pour la première et 0,7 cm pour la seconde. Ainsi, en 2019, il a été possible de repérer des zones d’herbiers d’extrêmement faible recouvrement (figure 14b), alors qu’en 2018, ces mêmes zones avaient été considérées comme du sédiment nu (figure 14a). En second lieu, pour la partie Est de cet herbier, la limite a été levée au GPS en 2018 tandis qu’elle a été numérisée sur l’image drone en 2019. Ainsi, en 2019, il a été possible de contourer de très petits patchs d’herbiers (figure 14d) qui n’étaient pas distingués individuellement en 2018 (figure 14c).

En 2020, en raisons de problèmes techniques, ce secteur n’a pas été prospecté.

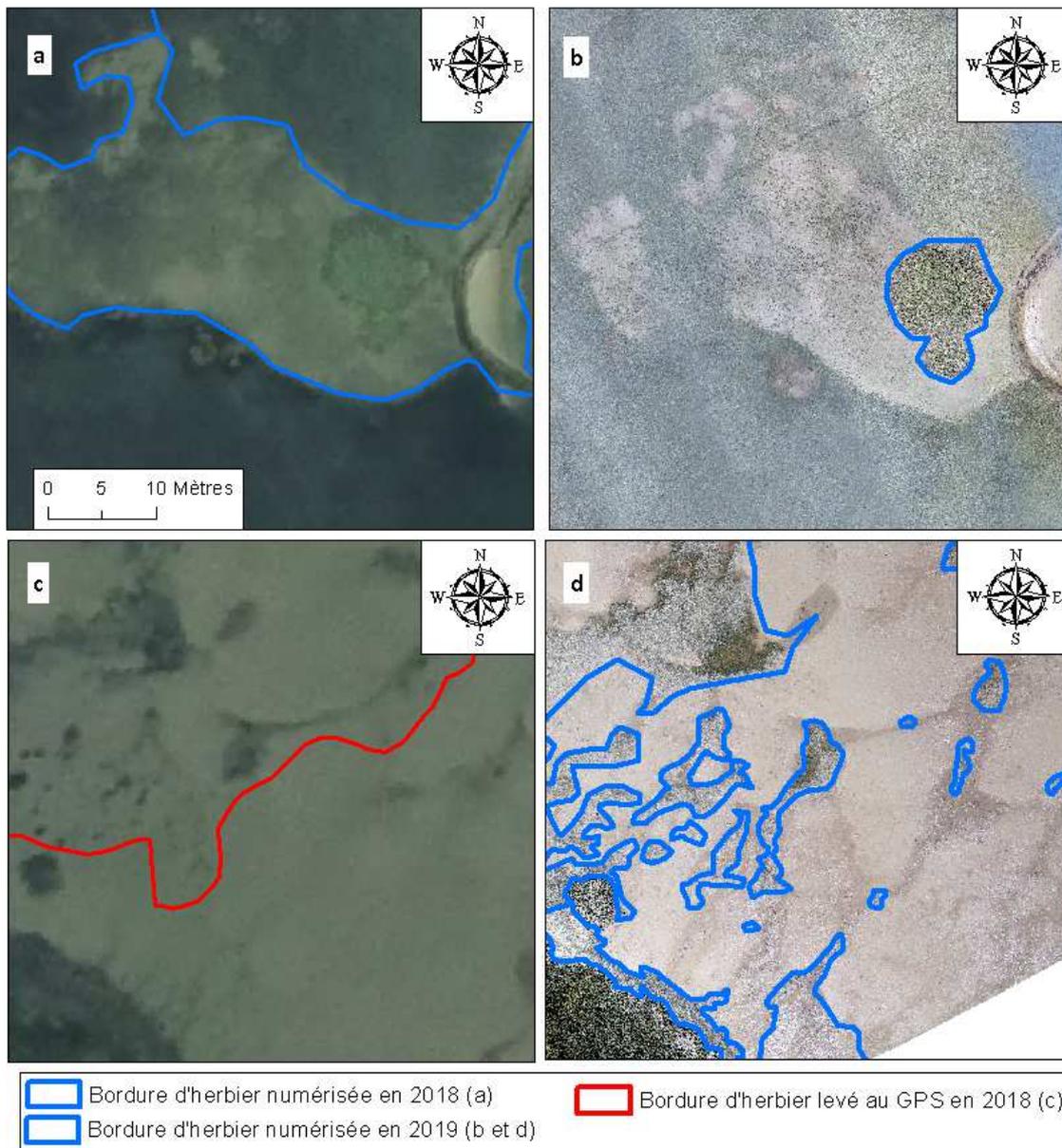


Figure 14 : Exemple de l'effet de la résolution des images sur la numérisation de l'emprise des herbiers : a et b différence d'emprise liée à de très faibles recouvrements entre 2018 (a) et 2019 (b) ; c. et d. différence d'emprise liée à la micro-fragmentation entre 2018 (c) et 2019 (d).

3.4 Impact de la canalisation de refoulement

Les canalisations de refoulement des boues de dragage reposent en partie sur les herbiers du secteur ; pour cette raison nous nous sommes intéressés à leur impact spécifique.

Il semble en effet qu'il ne soit pas négligeable, comme cela apparaît sur la figure 15. Sur cette image on observe un affouillement associé à une absence d'herbier sous et autour de la conduite. Du fait que la conduite, qui flotte à marée haute, ne se repose pas exactement au même endroit à chaque basse mer, son impact sur l'herbier ne se restreint pas à son seul diamètre. Visuellement, cet impact a pu être estimé à environ quatre fois le diamètre de la conduite.

Étant donné qu'environ 470 mètres de ces conduites reposent sur l'herbier à marée basse et que leur diamètre est de 35 centimètres, on peut estimer qu'environ 0,07 ha d'herbiers ont été potentiellement impactés par cet effet mécanique. La régression des herbiers du secteur s'élèverait alors à 2,1 ha, au lieu des 2,03 ha obtenus à partir des seuls contours d'herbiers levés au GPS. La régression par rapport à la surface initiale des herbiers de la zone comprise entre les ports de la Passerelle et de la Barbotière s'élèverait à 8 %.

Globalement, l'emprise des herbiers du secteur Ouest (entre les ports de la Passerelle et de la Barbotière) aurait donc progressée de 0,29 ha (au lieu des 0,36 ha calculés précédemment). Les prochaines années de suivis permettront de suivre la résilience de l'herbier sur ces surfaces perturbées de façon mécanique.



Figure 15 : Conduite de refoulement reposant sur l'herbier

4 Suivi du recouvrement des herbiers

Le recouvrement sur les deux sites localisés selon les critères décrits dans le chapitre 2 (Figure 4) a été mesuré à la fin de l'été 2018, afin d'établir des conditions initiales pour ce paramètre. Ces mesures ont été réitérées à la même période lors des deux années suivantes (2018 et 2019) et le seront également en 2021 de manière à déterminer si, et dans quelle mesure, les travaux ont eu un impact sur la densité des herbiers environnants. Grâce à l'intégration d'une station de référence, *a priori* non impactée par ces travaux, la variabilité interannuelle « naturelle » est prise en compte dans l'interprétation des résultats obtenus.



Figure 16 : Carte de positionnement des grilles de suivi stationnel dans le secteur de Gujan-Mestras.

4.1 Méthodes

Dans le cadre de cette étude, le protocole DCE de suivi stationnel des herbiers intertidaux a été appliqué (Auby *et al.*, 2018). Pour chacun des sites, ce protocole se base sur une estimation du taux de recouvrement par les feuilles de *Zostera noltei* sur une grille constituée de 30 points géoréférencés. Sur chacun des 30 points, un quadrat de 0,25 m² est posé et l'estimation visuelle du taux de recouvrement à l'intérieur du quadrat est réalisée en utilisant une échelle constituée de 5 classes (0, 1-25, 26-50, 51-75, 76-99, et 100 %). Par ailleurs, ces quadrats sont photographiés et l'analyse numérique de ces images (logiciel ImageJ) permet de valider ou de corriger les valeurs issues de l'estimation visuelle.

Ces données servent à calculer plusieurs indices (taux de recouvrement moyen, pourcentage de surface colonisée par les zostères) qui permettent de caractériser l'état des herbiers à l'intérieur de leur emprise.

4.2 Résultats

Ces résultats présentent les observations recueillies en 2018, 2019 et 2020.

4.2.1 Grille témoin (Rocher)

D'après les résultats du modèle hydro-sédimentaire, cette grille se situe en dehors de l'influence des travaux de nettoyage (Figure 4).

En **2018**, le suivi stationnel s'est déroulé le 13 septembre par un coefficient de 92. En **2019**, le suivi stationnel s'est déroulé le 19 juillet par un coefficient de marée de 76. En **2020**, le suivi stationnel s'est déroulé le 21 juillet par un coefficient de marée de 85. À ces trois périodes, les herbiers étaient en grande partie recouverts par des macroalgues vertes (notamment entéromorphes) comme en témoignent les photos ci-dessous (Figure 17a, 17b et 17c).

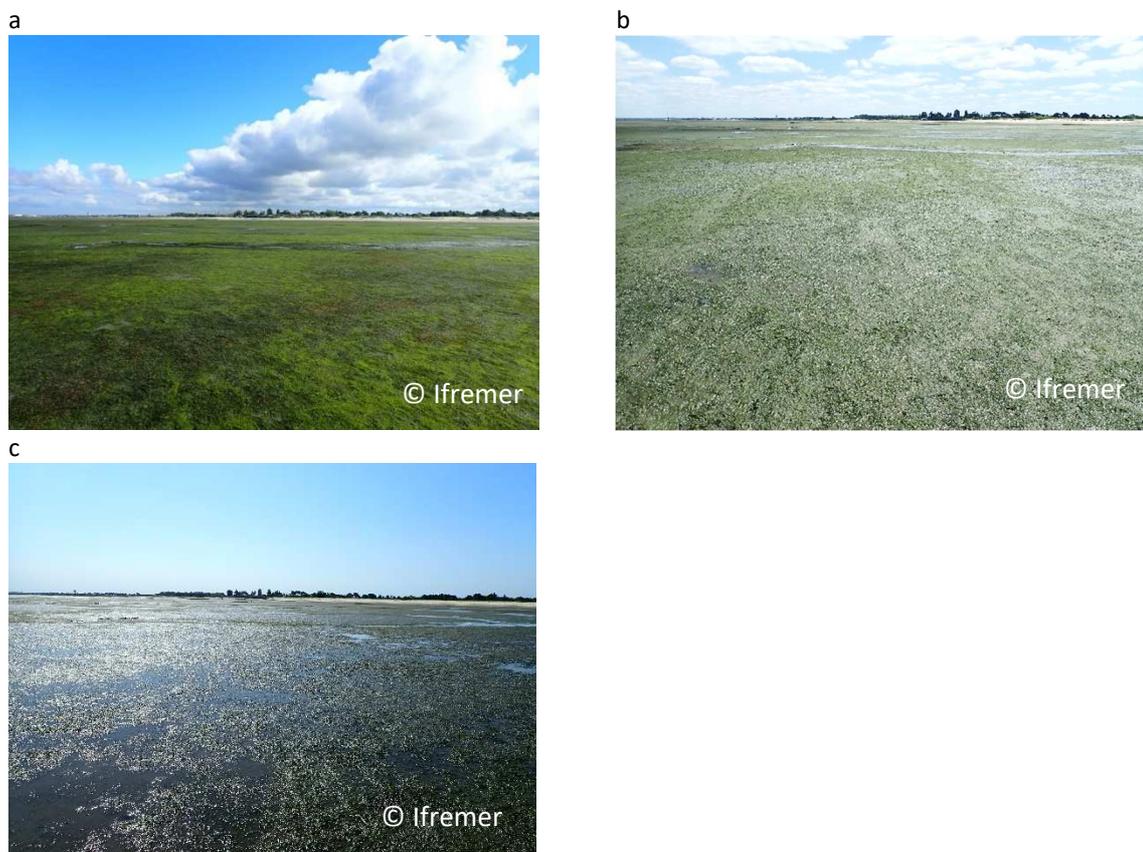


Figure 17 : Vue générale de la station de référence « Rocher Témoin », (a) en 2018, (b) en 2019 et (c) en 2020.

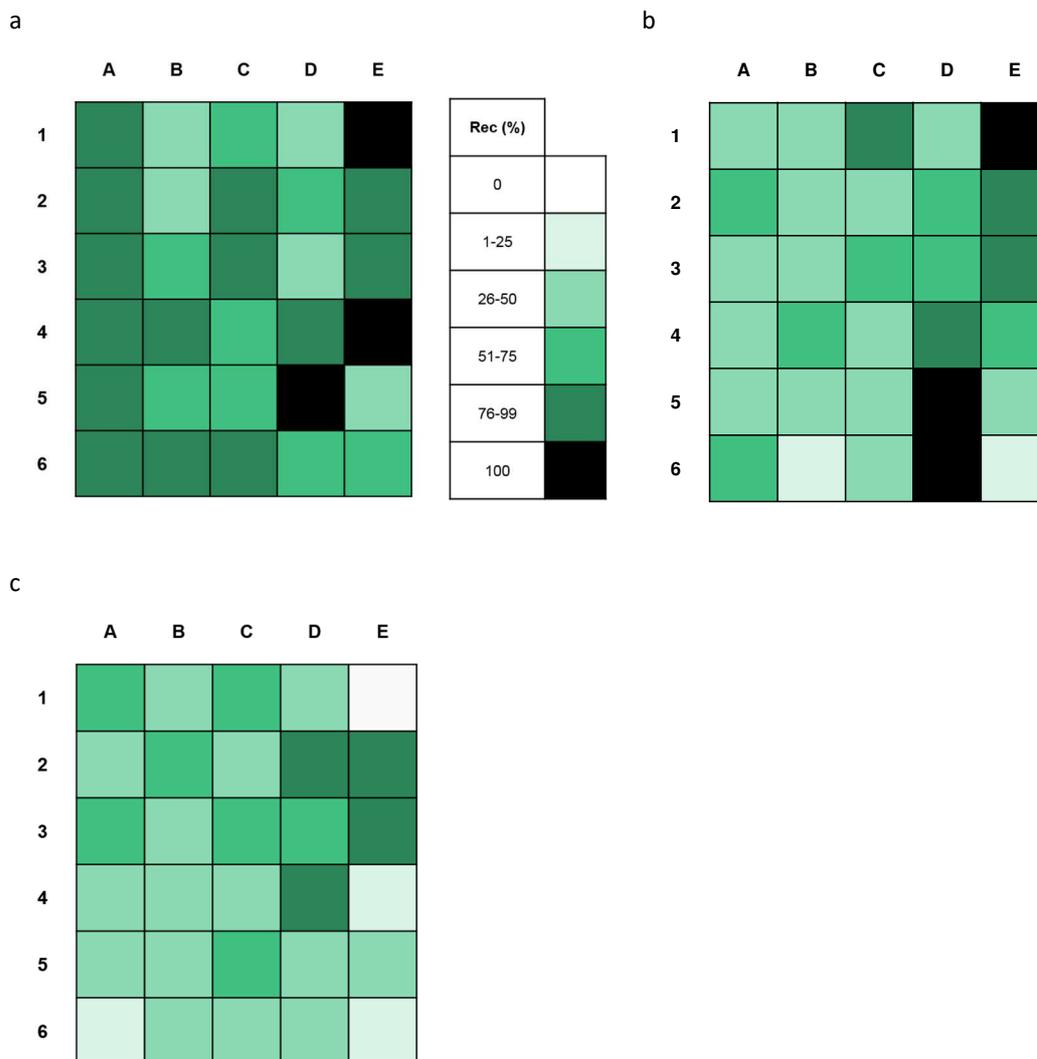


Figure 18 : Taux de recouvrement des zostères naines sur les 30 points de la station « Rocher Témoin », (a) en 2018, (b) en 2019 et (c) en 2020.

En **2018**, l'estimation du taux de recouvrement a pu être réalisée sur les 30 points de la grille (Figure 18-a), lesquels étaient tous colonisés par les zostères. La majorité des points présentait un fort taux de recouvrement (> 75 %) et le recouvrement moyen sur cette grille a été estimé à **75 %**.

En **2019**, l'estimation du taux de recouvrement a été réalisée sur les 30 points de la grille (Figure 18-b), lesquels étaient tous colonisés par les zostères. À l'inverse de ce qui était observé en 2018, la majorité des points présentent un taux de recouvrement inférieur à 50 % et le recouvrement moyen sur cette grille a diminué par rapport aux premières observations, s'élevant à **55 %**.

En **2020**, l'estimation du taux de recouvrement a été réalisée sur 29 points de la grille du fait de la présence d'un estey au point E1 (Figure 18-c), lesquels étaient tous colonisés par les zostères. Comme en 2019, la majorité des points présentent un taux de recouvrement inférieur à 50 % et le recouvrement moyen sur cette grille (**47 %**) a diminué par rapport aux premières observations.

La distribution des recouvrements en fonction des six classes a sensiblement évolué entre 2018 et 2019, avec un déplacement du mode principal vers de plus faibles valeurs, mais est restée stable entre 2019 et 2020 (Figure 19).

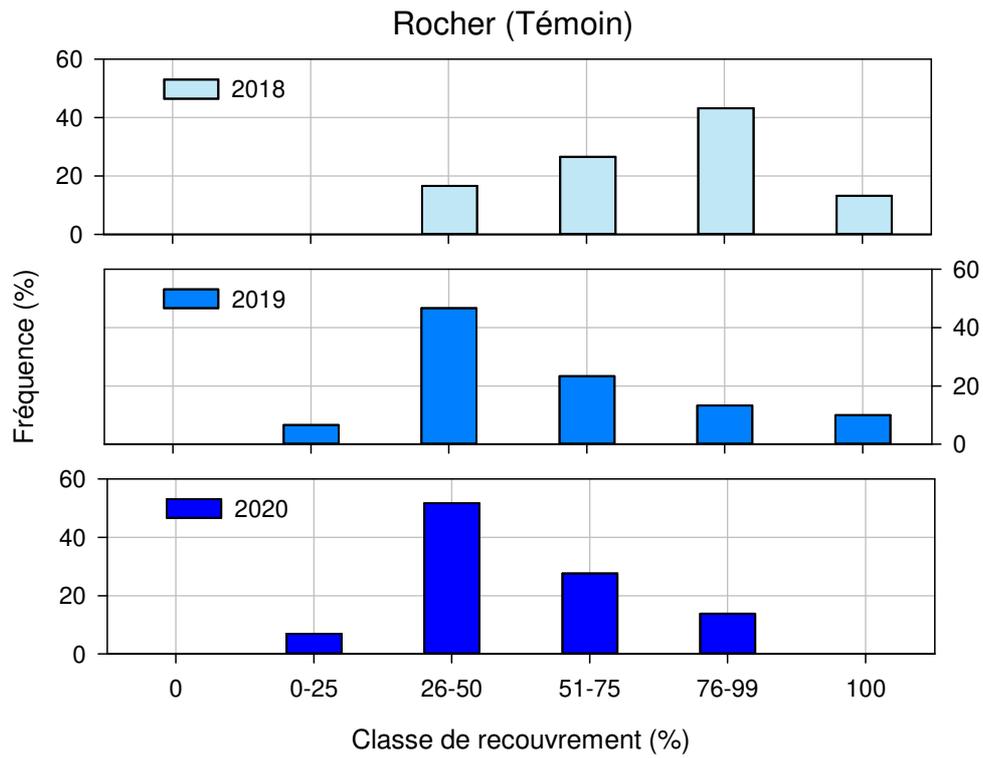


Figure 19 : Distribution du recouvrement des zostères naines sur les 30 points de la station « Rocher Témoïn » en 2018, 2019 et 2020.

4.2.2 Grille Gujan

La grille de suivi se situe à proximité de la zone draguée.

En **2018**, le suivi stationnel s'est déroulé le 13 septembre 2018 par un coefficient de 92. Très peu de macroalgues étaient observées sur cet herbier comme en témoigne la photo ci-dessous (Figure 20-a). En **2019**, le suivi stationnel s'est déroulé le 18 juillet 2019 par un coefficient de 77 (Figure 20-b). Par endroits, des tapis d'entéromorphes étaient visibles sur l'estran. En **2020**, le suivi stationnel s'est déroulé le 21 juillet 2020 par un coefficient de 85 (Figure 20-c). Peu de macroalgues étaient visibles sur l'estran.

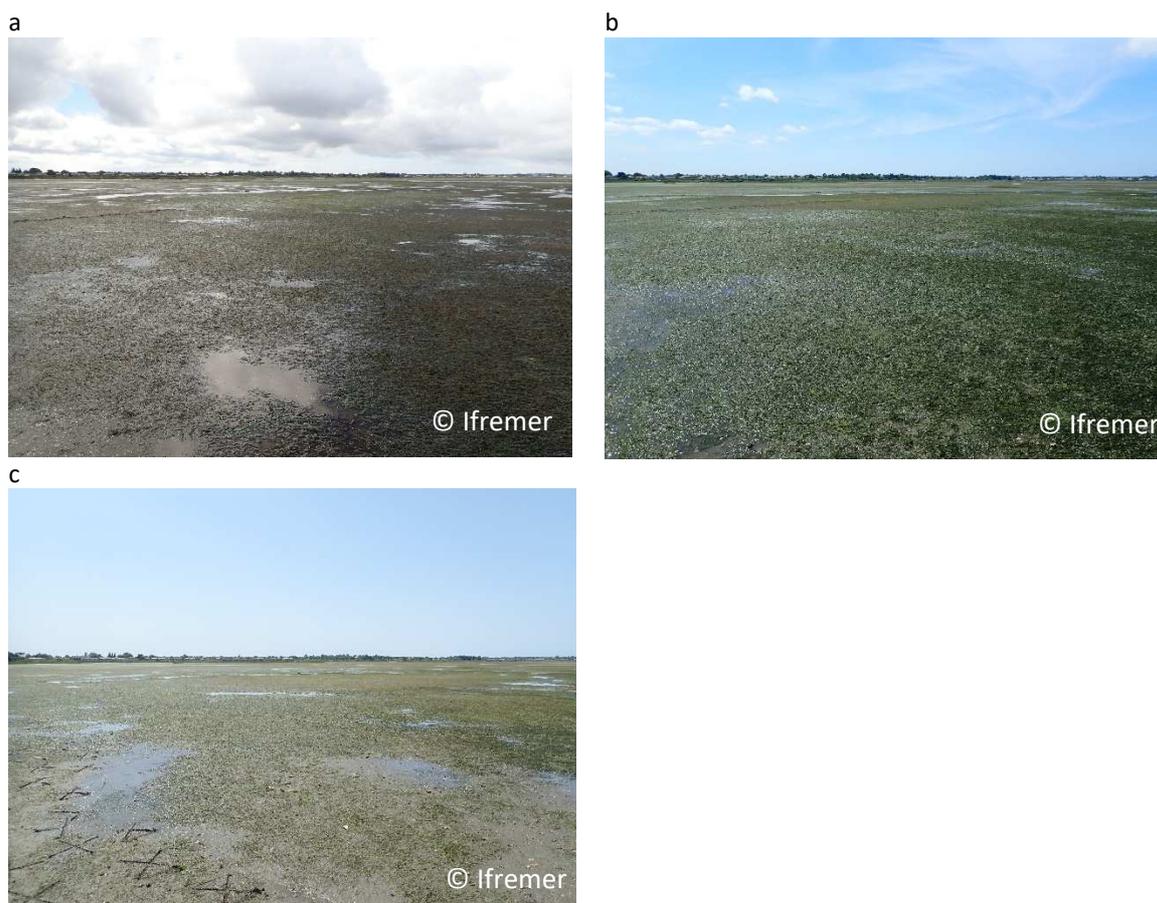


Figure 20 : Vue générale de la station de référence « Gujan », (a) en 2018, (b) en 2019 et (c) en 2020.

En **2018**, l'estimation du taux de recouvrement a pu être réalisée sur 30 points de la grille. Comme cela apparaît sur la figure 21-a, tous les points examinés présentent des zostères (100 % de la surface de la grille colonisée). La majorité des points présentent un fort taux de recouvrement (> 75 %) et le recouvrement moyen sur cette grille est estimé à **71 %**.

En **2019**, l'estimation du taux de recouvrement a pu être réalisée sur 30 points de la grille. Comme cela apparaît sur la figure 21-b, 29 des 30 points examinés présentent des zostères (97 % de la surface de la grille colonisée). La majorité des points présentent un fort taux de recouvrement (> 50 %) et le recouvrement moyen sur cette grille a un peu augmenté par rapport à 2018, s'élevant à **79 %**.

En **2020**, l'estimation du taux de recouvrement a pu être réalisée sur 30 points de la grille. Comme cela apparaît sur la figure 21-c, 29 des 30 points examinés présentent des zostères (97 % de la surface de la grille colonisée). La majorité des points présentent un fort taux de recouvrement

(> 50 %) et le recouvrement moyen sur cette grille a diminué par rapport à 2018 et 2019, s'élevant à **59 %**.

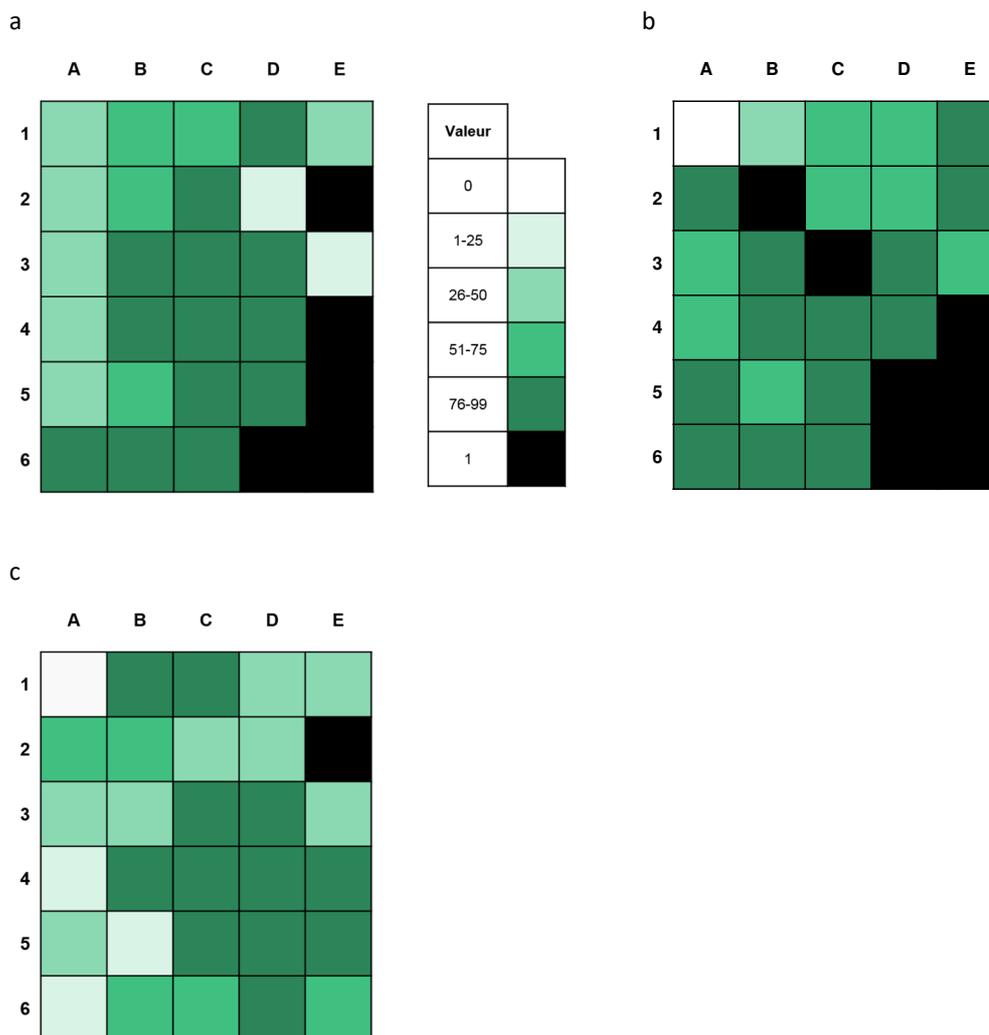


Figure 21 : Taux de recouvrement des zostères naines sur les 30 points de la station « Gujan », (a) en 2018, (b) en 2019 et (c) en 2020.

La distribution des recouvrements en fonction des six classes a sensiblement évolué entre **2018** et **2019**, avec une diminution de la fréquence des classes de recouvrement inférieures à 50 %, mais un maintien du mode principal dans la classe 76-99 %. En **2020**, cette distribution est redevenue semblable à celle de **2018**, avec cependant une forte raréfaction des quadrats présentant un recouvrement maximal (Figure 22).

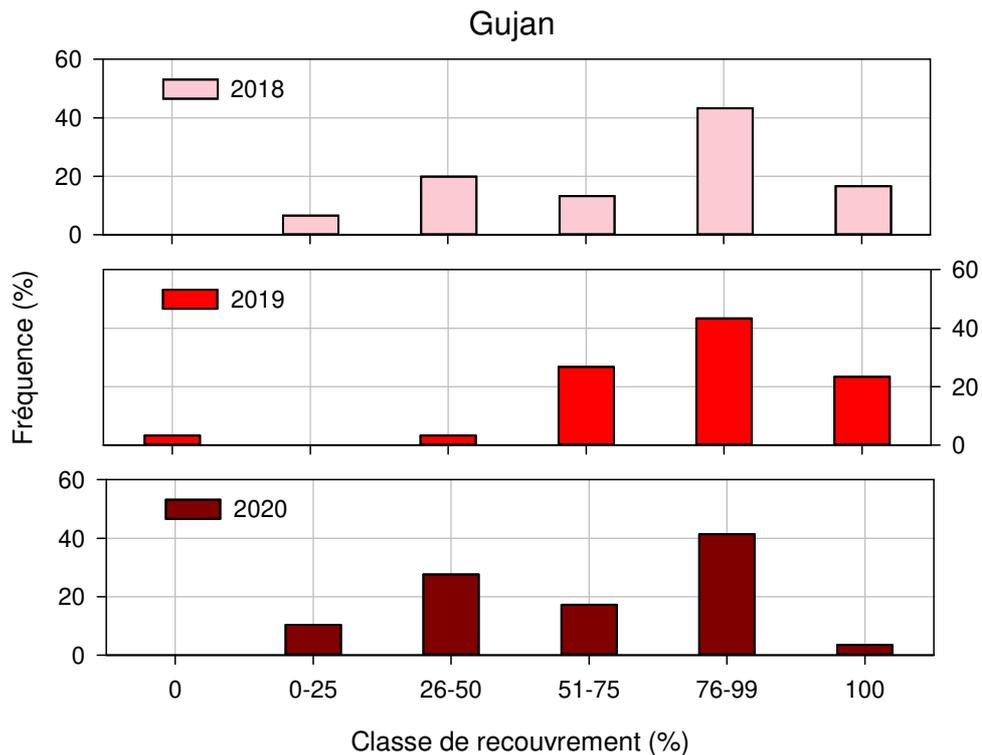


Figure 22 : Distribution du recouvrement des zostères naines sur les 30 points de la station « Gujan » en 2018, 2019 et 2020.

4.2.3 Évolution du recouvrement des herbiers entre 2018, 2019 et 2020

Pour chaque grille, les données de taux de recouvrement aux trois dates ont été comparées en utilisant le test statistique de Kruskal-Wallis (ANOVA à un facteur sur rangs), suivi, dans le cas où l'analyse indique une différence significative, d'un test *post hoc* de comparaison multiple (Procédure de Dunn) permettant de conclure sur les différences entre années. Les résultats de ces analyses sont présentés en détail dans l'annexe 2.

Ces analyses indiquent que les taux de recouvrements mesurés sur la grille « **Rocher Témoin** » en 2018 et en 2019 sont significativement différents, avec de plus faibles valeurs en 2019 qu'en 2018. Par contre, les recouvrements mesurés en 2019 et 2020 ne sont pas significativement différents. Globalement, entre 2018 et 2020, on observe une diminution significative du recouvrement (Figure 23).

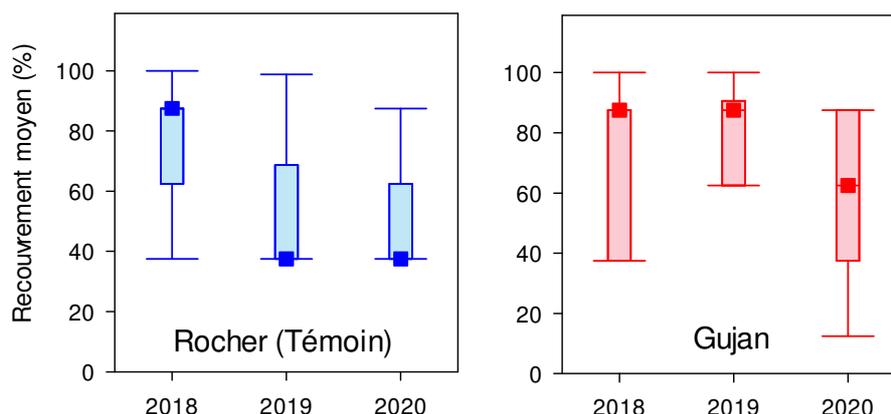


Figure 23 : Boîtes à moustaches¹ présentant le recouvrement des zostères (%) sur les deux grilles au cours des trois années.

Les zostères de la grille « Gujan » ne présentent pas un recouvrement significativement différent en 2018 et 2019. Par contre, leur recouvrement diminue significativement entre 2019 et 2020. Globalement (2018 à 2020), l'évolution du recouvrement des zostères à cette station ne présente pas d'évolution significative.

5 Suivi des sédiments

Les caractéristiques sédimentaires des deux sites sont suivies au cours du temps de manière à déterminer l'impact des travaux sur la composition des sédiments et notamment à mettre en évidence des phénomènes de sédimentation liés aux travaux.

5.1 Méthodes

L'analyse du sédiment des herbiers est conduite en utilisant deux types de stratégies :

Caractérisation du sédiment des herbiers des deux sites :

Lors de chaque campagne de suivi stationnel du taux de recouvrement des herbiers (cf. §4), trois carottes de sédiment sont prélevées sur l'emprise de la grille, à l'aide d'un carottier de 9 cm de diamètre sur 5 cm de profondeur. Ces carottes sont ensuite regroupées et homogénéisées avant d'être traitées par tamisage (Figure 24) suivant le protocole décrit par Garcia *et al.* (2014). Le traitement statistique est réalisé à l'aide du logiciel GRADISTAT (Blott et Pye, 2001). Ces données permettent de caractériser les sédiments de chaque grille en fonction des critères granulométriques : pourcentage relatif de sable et de vase, diamètre médian, modes granulométriques.

¹ Les boîtes représentent la distribution de 50% des valeurs situées entre le premier (25%) et le troisième (75%) quartile. Le symbole carré représente la valeur du second quartile (50% = médiane). La barre verticale (moustache) supérieure (respectivement inférieure) relie le haut (respectivement le bas) de la boîte à la valeur observée la plus élevée (respectivement la moins) en deçà d'une limite égale au troisième quartile (respectivement le premier) plus (respectivement le moins) 1,5 fois la distance interquartile (différence entre le 3ème et le 1er quartile).



Figure 24: Colonne de tamis normalisée AFNOR sur tamiseuse Retsch.

Suivi du sédiment superficiel dans les herbiers pendant les travaux :

Afin d'étudier les possibles modifications des sédiments superficiels liées aux travaux, trois prélèvements de sédiments superficiels (< 0,5 cm, correspondant au dépôt le plus récent) sont réalisés aux quatre coins de chaque grille, soit 12 prélèvements par grille. Ces prélèvements sont réalisés à chaque campagne de suivi stationnel du taux de recouvrement des herbiers (cf. §4). Les échantillons sont analysés pour déterminer leur teneur en eau et leur granulométrie (granulomètre laser de type « Malvern »). Les grandeurs calculées sont : la fraction vaseuse (< 63 μm) et le diamètre médian, permettant de caractériser la nature des sédiments (vase, sables), et la densité sèche qui est un témoin de l'état de consolidation du sédiment superficiel. Afin d'évaluer dans quelle mesure les sédiments superficiels ont (ou non) évolué entre les différents suivis, des analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées. Compte-tenu de la distribution des échantillons, la variante non paramétrique dite de Kruskal-Wallis a été employée, suivie, dans le cas où l'analyse indique une différence significative, d'un test *post hoc* de comparaison multiple (Procédure de Tukey) permettant de conclure sur les différences entre années.

5.2 Résultats

5.2.1 Caractérisation et évolution du substrat sédimentaire

Rocher (Témoin)

En **2018**, l'analyse granulométrique par tamisage du sédiment de l'herbier de ce site révèle que ce sédiment est constitué de 53,8 % de sables (dominés par les sables fins) et de 46,2 % de vases, avec une médiane de 137 μm (Figure 25).

En **2019**, ce sédiment est constitué de 72,9 % de sables (dominés par les sables moyens) et de 27,1 % de vases, avec une médiane de 221 μm .

En **2020**, ce sédiment est constitué de 61,9 % de sables (dominés par les sables moyens) et de 38,1 % de vases, avec une médiane de 189 μm .

Selon la classification de Folk et Ward (1957) ce sédiment peut être qualifié, en **2018**, **2019** et **2020** de « sable très fin ».

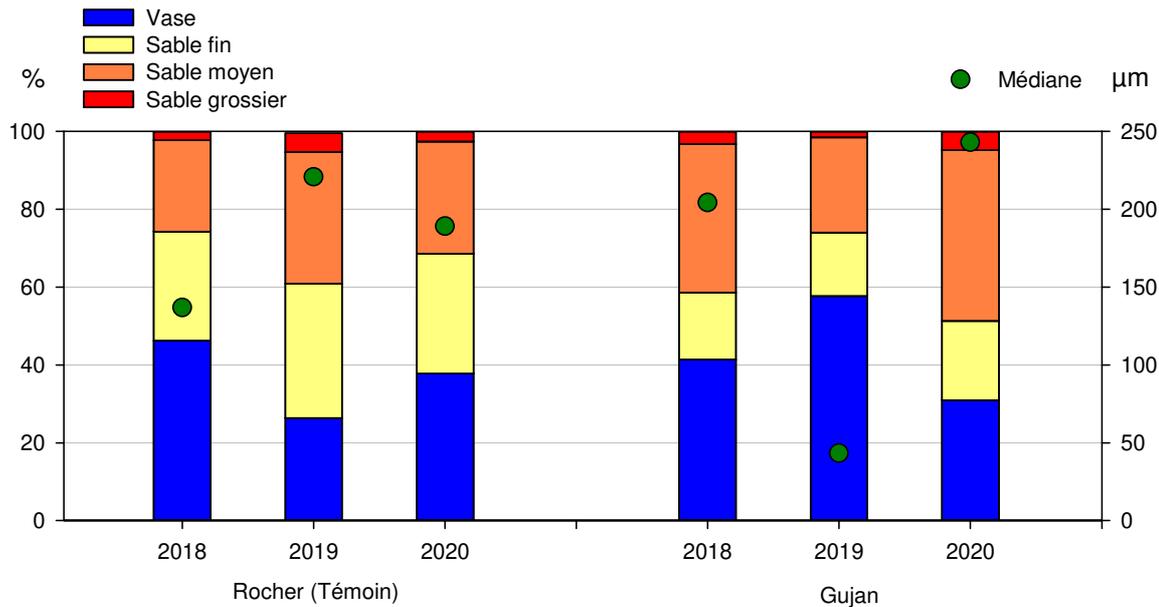


Figure 25 : Caractérisation granulométrique des sédiments des deux grilles suivies.

Gujan

En **2018**, l'analyse granulométrique par tamisage du sédiment de l'herbier de ce site révèle que ce sédiment est constitué de 41,4 % de vases et de 58,6 % de sables (dominés par les sables moyens), avec une médiane de 204 µm.

En **2019**, l'analyse de ce sédiment montre un fort envasement par rapport à l'année précédente, les sables (dominés par les sables moyens) ne représentant plus que 42,3 % et les vases 57,7 %, avec une médiane de 43,3 µm.

En **2020**, ce sédiment retrouve des caractéristiques proches de celle de 2018, avec 68,3 % de sables (dominés par les sables moyens) et de 31,7 % de vases, avec une médiane de 243 µm.

Selon la classification de Folk et Ward (1957) ce sédiment peut être qualifié, en **2018 et 2020**, de « sable très fin » et de « limon très grossier » en **2019**.

5.2.2 Évolution des sédiments superficiels

Pour les deux sites, et quel que soit le paramètre considéré, les caractéristiques des sédiments superficiels ne sont pas significativement différentes dans les échantillons prélevés en septembre 2018 (avant les travaux) et en juillet 2019 et 2020 (après les travaux) : fraction vaseuse (Figure 26a), diamètre médian (Figure 26b) ou densité sèche (Figure 26c).

On peut cependant remarquer que de manière générale les sédiments de la grille « Gujan » sont généralement plus fins, présentent une densité sèche plus faible et sont plus homogènes que ceux de la grille Rocher (Témoin). Pour les sédiments de la grille « Gujan », le diamètre médian et la densité sèche présentent une variabilité plus importante en 2020 qu'en 2018 et 2019.

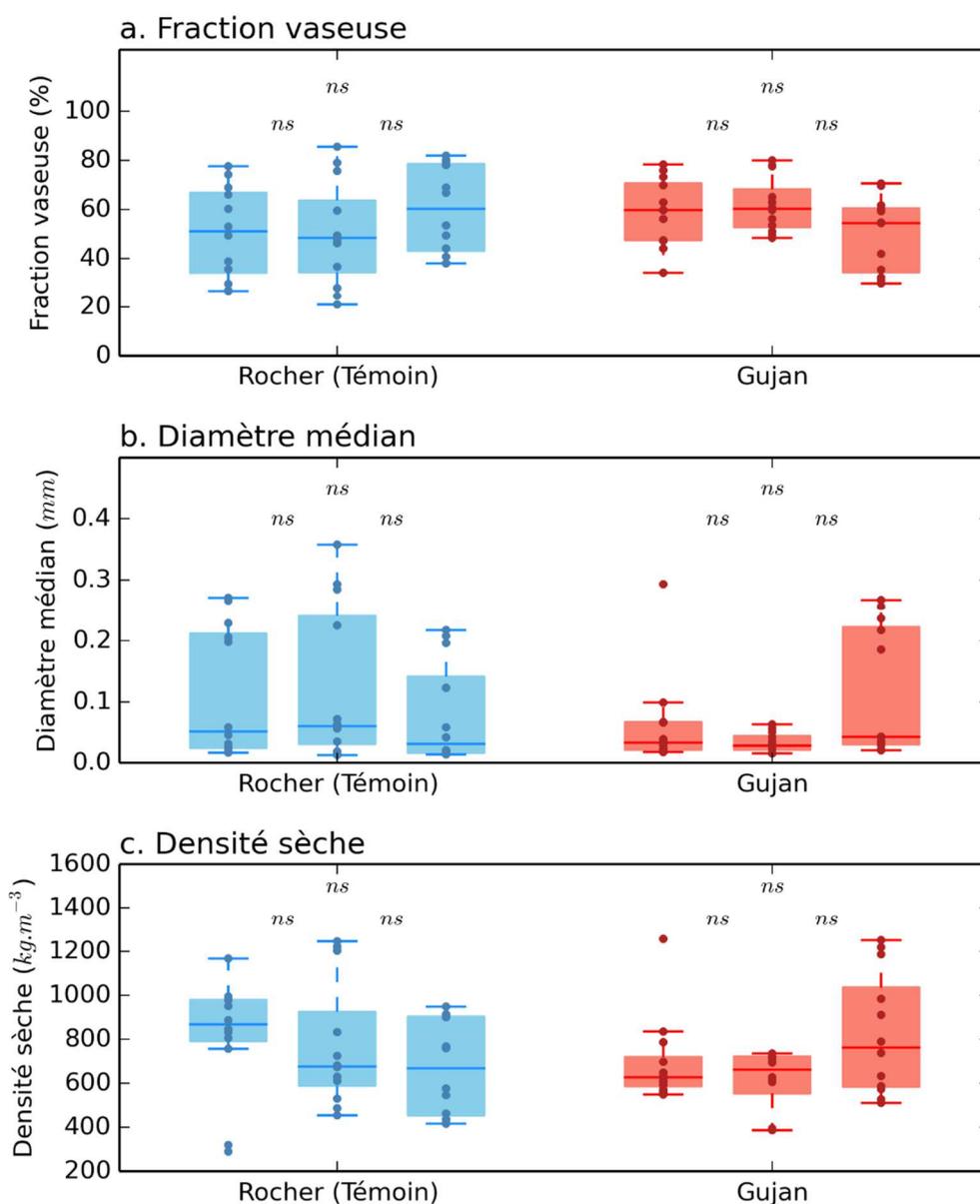


Figure 26 : Comparaison des caractéristiques des sédiments superficiels entre avant les travaux (2018) et après les travaux (2019 et 2020) pour les grilles « Rocher » (référence en bleu) et « Gujan » (en rouge), pour (a) la fraction vaseuse, (b) le diamètre médian et (c) la densité sèche.

6 Conclusions pour la période 2018-2020

Les différentes observations réalisées **avant** et **après travaux** sur la zone de **Gujan-Mestras** permettent d'aboutir aux conclusions suivantes :

- Un recul des limites basses des herbiers (de l'ordre de quelques mètres) a été observé, tandis que les limites hautes et les zones protégées ont plutôt eu tendance à progresser (localement de plusieurs dizaines de mètres). Globalement, l'emprise des herbiers situés à proximité des travaux a eu tendance à augmenter entre 2018 et 2020. Les évolutions d'emprise des herbiers semblent suivre les mêmes tendances, qu'ils soient situés à proximité ou à distance de la zone de travaux.
- Sur la grille « Rocher Témoin » le recouvrement moyen des zostères a diminué significativement entre 2018 et 2020, tandis que sur la grille « Gujan » celui-ci n'a pas évolué significativement entre ces deux années.
- La nature des sédiments superficiels des deux grilles n'a pas évolué significativement au cours du temps.

Ainsi, les opérations de dragage du port de la Passerelle et de son chenal d'accès ne semblent pas avoir eu d'effets délétères sur les herbiers situés à proximité en termes d'emprise et de recouvrement. Pour l'instant, seule la conduite de refoulement posée sur les herbiers a eu sur ces derniers un impact notable mais local.

7 Références bibliographiques

Auby I., Oger-Jeanneret H., Gouillieux B., Grall J., Janson A.-L., Maguer M., Rigouin L., Rollet C., Sauriau P.-G., Trut G. (2018). Protocoles de suivi stationnel des herbiers à zostères pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). *Zostera marina* - *Zostera noltei*. Rapport Ifremer/ODE/UL/LER/AR/18.017. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00471/58250/>

Blott S.J., Pye K. (2001). Gradstat : a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248. http://www.geo.mtu.edu/~raman/Ashfall/Syllabus/Entries/2009/6/21_GSD_files/GRADISTAT.pdf

Folk R.L., Ward W.C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27:3–26.

Garcia A., Desroy N., Le Mao P., Miossec L. (2014). Protocole de suivi stationnel des macroinvertébrés benthiques de substrats meubles subtidaux et intertidaux dans le cadre de la DCE - Façades Manche et Atlantique - Rapport AQUAREF 2014. Rapport AQUAREF 2014. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00269/38067/>

Kombiadou K., Ganthy F., Verney R, Plus M., Sottolichio A. (2014). Modelling the effects of *Zostera noltei* meadows on sediment dynamics: application to the Arcachon lagoon. *Ocean Dynamics*, 64:1499-1516.

Lazure P., Dumas F. (2008). An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). *Advances In Water Resources*, 31(2), 233-250. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.06.010>

Le Hir P., Cayocca F., Waeles B. (2011). Dynamics of sand and mud mixtures: A multiprocess-based modelling strategy. *Continental Shelf Research* S135-S149.

8 Annexe 1 : Résultats des analyses statistiques sur l'évolution du taux de recouvrement des zostères

Grille Rocher (Témoin)

One Way Analysis of Variance

mardi, avril 13, 2021, 09:56:33

Data source: Data 1 in rec%_GUJ_2018_2019_2020

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P < 0.050)

Test execution ended by user request, ANOVA on Ranks begun

Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks

mardi, avril 13, 2021, 09:56:33

Data source: Data 1 in rec%_GUJ_2018_2019_2020

Group	N	Missing	Median	25%	75%
Rocher-2018	30	0	0.875	0.625	0.875
Rocher-2019	30	0	0.375	0.375	0.688
Rocher 2020	30	1	0.375	0.375	0.625

H = 16.402 with 2 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Dunn's Method) :

Comparison	Diff of Ranks	Q	P<0.05
Rocher-2018 vs Rocher 2020	24.566	3.651	Yes
Rocher-2018 vs Rocher-2019	19.517	2.926	Yes
Rocher-2019 vs Rocher 2020	5.049	0.750	No

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.

Grille Gujan

One Way Analysis of Variance

mardi, avril 13, 2021, 09:58:05

Data source: Data 1 in rec%_GUJ_2018_2019_2020

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P < 0.050)

Test execution ended by user request, ANOVA on Ranks begun

Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks

mardi, avril 13, 2021, 09:58:05

Data source: Data 1 in rec%_GUJ_2018_2019_2020

Group	N	Missing	Median	25%	75%
Gujan-2018	30	0	0.875	0.375	0.875
Gujan-2019	30	0	0.875	0.625	0.906
Gujan 2020	30	1	0.625	0.375	0.875

H = 6.824 with 2 degrees of freedom. (P = 0.033)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0.033)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Dunn's Method) :

Comparison	Diff of Ranks	Q	P<0.05
Gujan-2019 vs Gujan 2020	16.680	2.479	Yes
Gujan-2019 vs Gujan-2018	6.967	1.044	No
Gujan-2018 vs Gujan 2020	9.713	1.444	No

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.