



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

Rigouin Loïc, Lissardy Muriel, Ganthy Florian, Trut Gilles, Auby Isabelle

Mai 2020

Rapport RST/LER/AR/20.007

IDHEBARC 2018-2019 : Bilan d'activité

Secteur de Gujan-Mestras







# Fiche documentaire

Titre du rapport : IDHEBARC 2018-2019 : Bilan d'activité – Secteur de Gujan Mestras				
Référence interne : RST/LER/AR/20.007	Date de publication : Avril 2019			
Diffusion :    libre (internet)	Langue(s) : Français			
restreinte (intranet)				
interdite (confidentielle)				
Résumé/ Abstract :  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.  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.				
Mots-clés/ Key words : Travaux maritimes, herbiers de zostères, Bassin d'Arcachon				
Comment citer ce document : Rigouin L., Lissardy M., Ganthy F., Trut G, Auby I. (2020). IDHEBARC 2018-2019 : Bilan d'activité – Secteur de Gujan Mestras. RST/LER/AR/20.007				
Disponibilité des données de la recherche :				
DOI:				





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





# Sommaire

# Table des matières

1	(	Cont	exte	/
2	ı	Mod	lélisation 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	9	Suiv	i 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	3.2.1	Emprise des herbiers de zostères avant travaux : automne 2018	12
	3	3.2.2	Emprise des herbiers de zostères après travaux : automne 2019	13
	3	3.2.3	Evolution de l'emprise entre 2018 et 2019 pour la partie Ouest du secteur	14
	3.3		Résultat pour la partie Est du secteur	15
	3	3.3.1	Emprise des herbiers de zostères avant travaux : automne 2018	15
	3	3.3.2	Emprise des herbiers de zostères après travaux : automne 2019	15
	3	3.3.3	Evolution de l'emprise entre 2018 et 2019 sur le secteur de la Mole	16
	3.4		Impact de la canalisation de refoulement	18
4	9	Suiv	i du recouvrement des herbiers	19
	4.1		Méthodes	19
	4.2		Résultats	20
	4	4.2.1	Grille témoin (Rocher)	20
	4	4.2.2	2 Grille Gujan	22
	2	4.2.3	Evolution du recouvrement des herbiers entre 2018 et 2019	23
5	9	Suiv	i des sédiments	24
	5.1		Méthodes	24
	5.2		Résultats	25
	į	5.2.1	Caractérisation et évolution du substrat sédimentaire	25
	į	5.2.2	2 Evolution des sédiments superficiels	26
6	(	Cond	clusions sur le suivi 2018-2019	27
7			rences bibliographiques	
8			exe 1 : Cartographie des herbiers par survol drone – Application à l'herbier du po	
ıa			Drázmbulo	
	8.1		Préambule	
	8.3		Prétraitement des données et génération de l'orthomosaïque	
	ບ. ລ	,	T I CHARLETTICHE ACS ACHITICES CERCITETALION ACTOUNDINGS INTO INCIDENTALION ACTOUND AC	JU



8.4	Traitement des données et classification de l'orthomosaïque	32
8.5	Calcul des taux de recouvrement	34
8 6	Perspectives	34



#### 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, 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 relai 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 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 du suivi.



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

La position des sites de mesure du recouvrement des herbiers (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 emboités, 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 (les pas de temps respectifs sont 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.

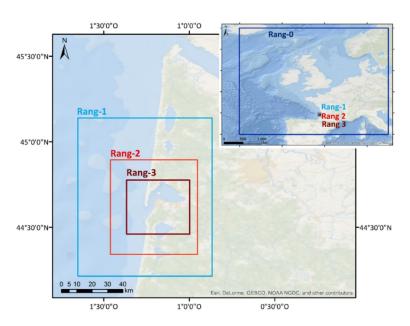


Figure 2 : Emprises spatiales des différents rangs du modèle MARS appliqué au Bassin d'Arcachon (Le système de coordonnées est ici le WSG84).

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 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> 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.



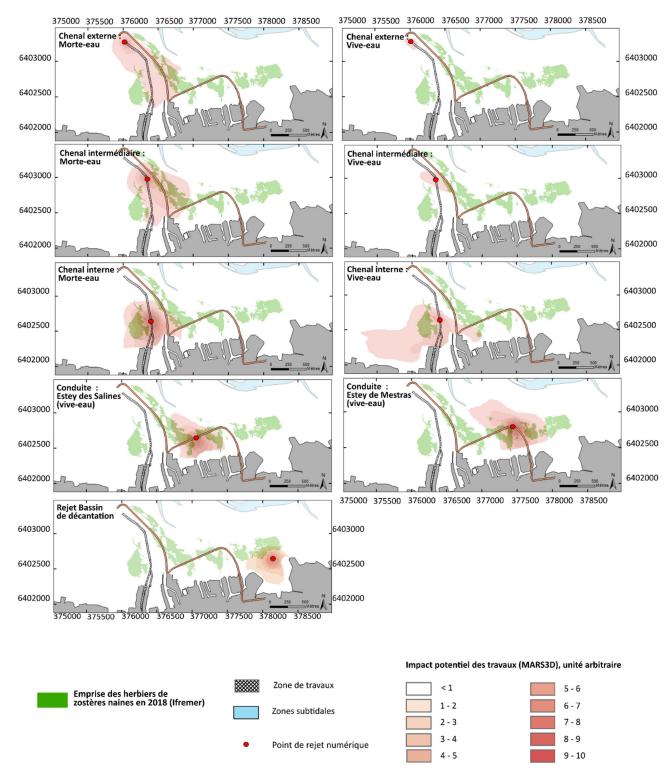


Figure 3 : Résultats détaillés de la modélisation de l'impact des travaux dans le secteur de Gujan-Mestras (Lambert93).



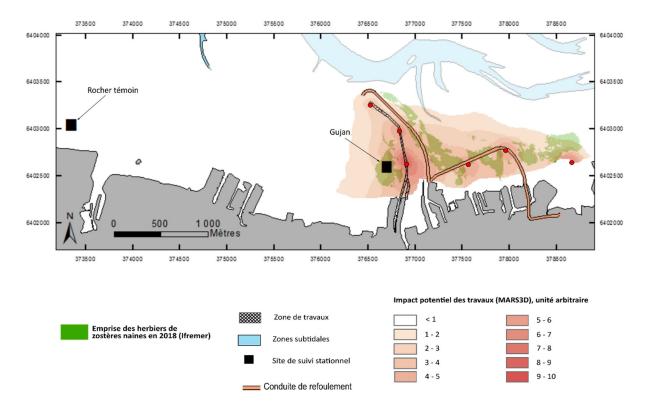


Figure 4 : Résultats synthétiques de la modélisation de l'impact des travaux dans le secteur de Gujan-Mestras (Lambert93).

# 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, à l'automne 2019.

#### 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 d'obtenir une orthomosaïque de ce secteur permettant à la fois d'accéder à l'emprise des herbiers et à leur 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'emprises à partir de données issues de méthodes similaires.

# 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.

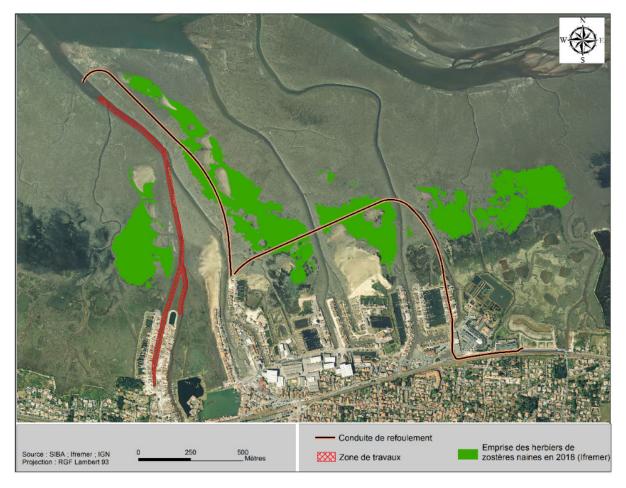


Figure 5 : Carte de l'emprise des herbiers de zostères naines (du port de la Passerelle au port de la Mole) à l'automne 2018.



### 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 Barbotière) du secteur de Gujan, à l'automne 2019.

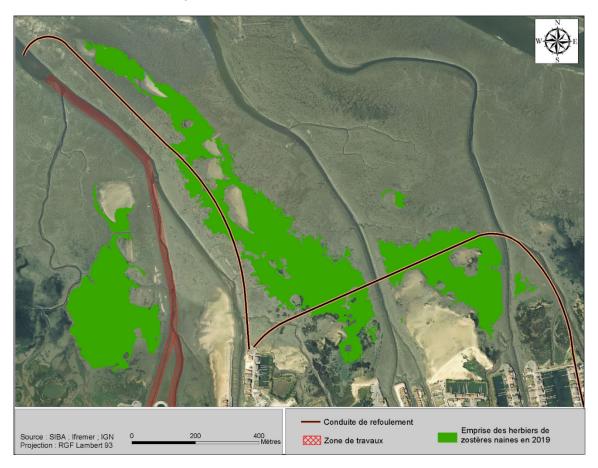


Figure 6 : Carte de l'emprise des herbiers de zostères naines (du port de la Passerelle au port de la Barbotière) à l'automne 2019.



#### 3.2.3 Évolution de l'emprise entre 2018 et 2019 pour la partie Ouest du secteur

La figure 7 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.

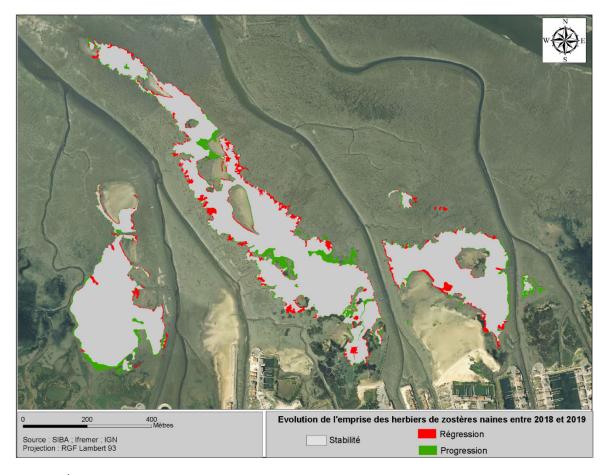


Figure 7 : Évolution de l'emprise des herbiers de zostères naines (du port de la Passerelle au port de la Barbotière) entre 2018 et 2019.

La comparaison des données acquises en 2018 et 2019 pour la partie Ouest du secteur (zones prospectées 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** est observée, soit **1,38** % par rapport à la surface de 2018 (environ **26 ha**). Cette progression (0,36 ha) s'avère cependant faible compte tenu de l'incertitude affectée aux levés de terrain (de l'ordre de 0,165 ha en considérant que le levé GPS peut être affecté d'une erreur de plus ou moins 0,5 m de part et d'autre de la limite de l'herbier).

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 limites hautes (côtières) des herbiers, tandis que les zones en régression sont majoritairement situées en limites basses et/ou non protégées par les herbiers alentours.

L'évolution future de l'emprise des herbiers, qui sera calculée à partir des mesures dans les années qui viennent, permettra ou non de confirmer cette tendance.



## 3.3 Résultat pour la partie Est du secteur

#### 3.3.1 Emprise des herbiers de zostères avant travaux : automne 2018

La figure 8 présente l'emprise des herbiers de la zone à l'automne 2018.

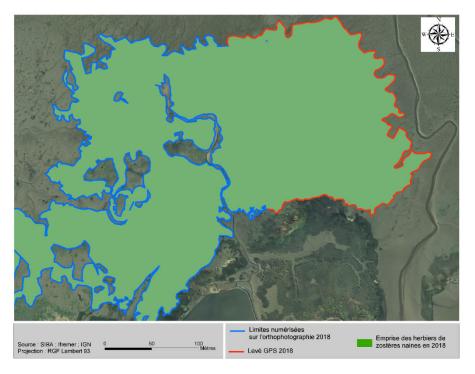


Figure 8 : Emprise des herbiers de zostères naines (port de la Mole) à l'automne 2018.

#### 3.3.2 Emprise des herbiers de zostères après travaux : automne 2019

La figure 9 présente l'emprise des herbiers de la zone Est (port de la Mole), à l'automne 2019.

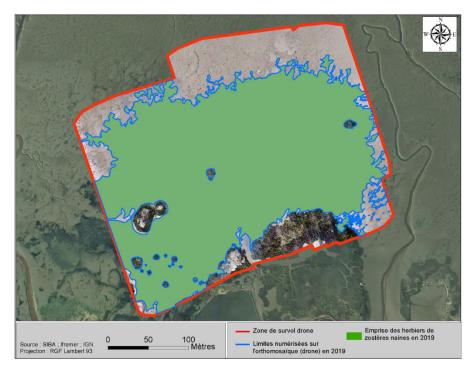


Figure 9 : Emprise des herbiers de zostères naines (port de la Mole) à l'automne 2019.



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

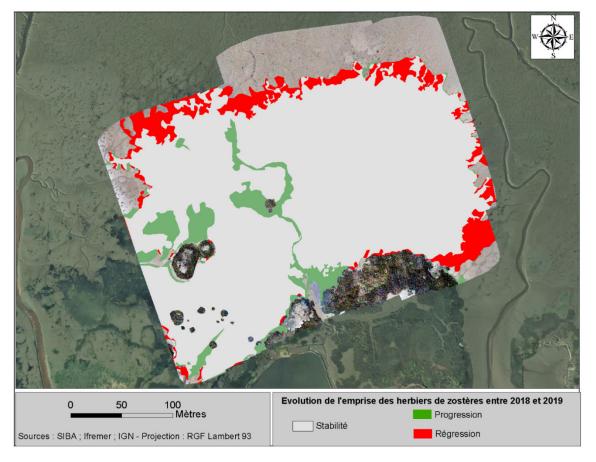


Figure 10 : Évolution de l'emprise des herbiers de zostères naines (port de la Mole) entre 2018 et 2019.

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 est observée, soit 0,02 % par rapport à la surface de 2018 (environ 6,5 ha).

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 11b), alors qu'en 2018, ces mêmes zones avaient été considérées comme du sédiment nu (figure 11a). 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 11d) qui n'étaient pas distingués individuellement en 2018 (figure 11 c).

En 2020, ce secteur sera cartographié selon la même méthode qu'en 2019, ce qui permettra de disposer de jeux de données réellement comparables et donc d'aboutir à des conclusions plus robustes quant à l'évolution de cet herbier.



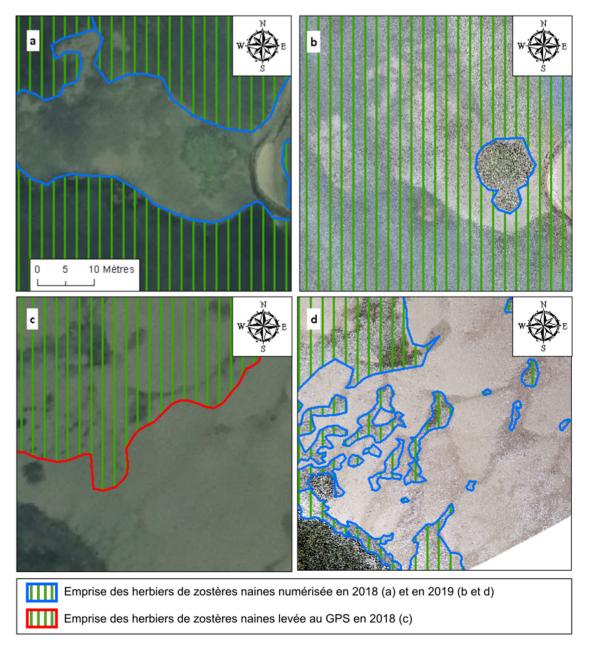


Figure 11 : Exemple de l'effet de la résolution des images sur la numérisation de l'emprise des herbiers : a et b différence d'emprise liée à de très faibles recouvrements entre 2018 (a) et 2019 (b) ; c.et d. différence d'emprise liée à la micro-fragmentation entre 2018 (c) et 2019 (d).



#### 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 12. 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 pose 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.

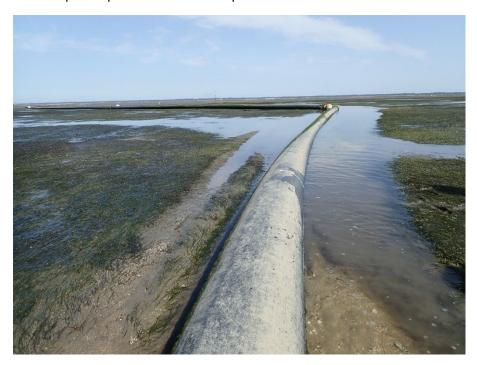


Figure 12 : Conduite de refoulement reposant sur l'herbier

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.



## 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 en automne 2018, pour établir des conditions initiales. Ces mesures ont été réitérées entre l'été et l'automne 2019 (et le seront également en 2020 et 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.

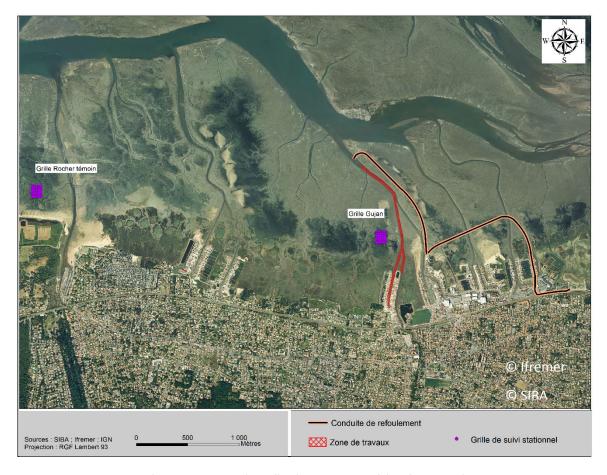


Figure 13 : Carte de positionnement des grilles de suivi stationnel dans le secteur de Gujan-Mestras.

#### 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 et 2019.

#### 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 dragage (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. À ces deux périodes, les herbiers étaient en grande partie recouverts par des macroalgues vertes (notamment entéromorphes) comme en témoignent les photos ci-dessous (Figure 14a et 14b).

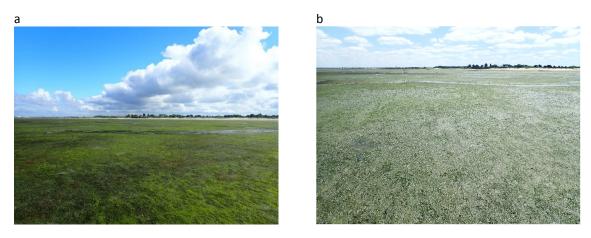


Figure 14 : Vue générale de la station de référence « Rocher Témoin », (a) en 2018 et (b) en 2019.

En **2018**, l'estimation du taux de recouvrement a pu être réalisée sur les 30 points de la grille (Figure 15-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 %.

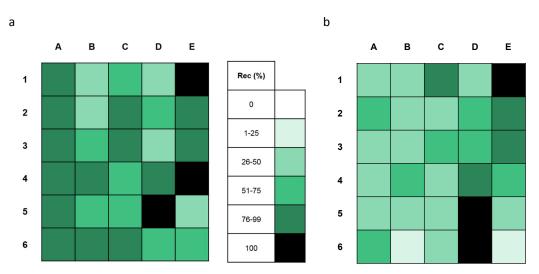


Figure 15 : Taux de recouvrement des zostères naines sur les 30 points de la station « Rocher Témoin », (a) en 2018 et (b) en 2019.



En **2019**, l'estimation du taux de recouvrement a été réalisée sur les 30 points de la grille (Figure 15-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 %.

La distribution des recouvrements en fonction des six classes a sensiblement évolué entre les deux années, avec un déplacement du mode principal vers de plus faibles valeurs (Figure 16).

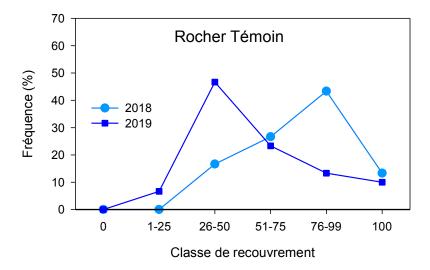


Figure 16 : Distribution du recouvrement des zostères naines sur les 30 points de la station « Rocher Témoin » en 2018 et 2019.



#### 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 17-a). En **2019**, le suivi stationnel s'est déroulé le 18 juillet 2019 par un coefficient de 77 (Figure 17-b). Par endroits, des tapis d'entéromorphes étaient visibles sur l'estran.

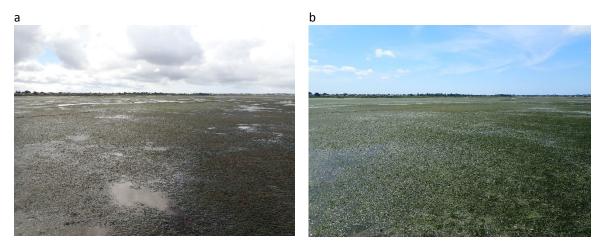


Figure 17 : Vue générale de la station de référence « Gujan », (a) en 2018 et (b) en 2019.

En **2018**, l'estimation du taux de recouvrement a pu être réalisée sur 30 points de la grille. Comme cela apparaît sur la figure 18-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 également pu être réalisée sur 30 points de la grille. Comme cela apparaît sur la figure 18-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 %.

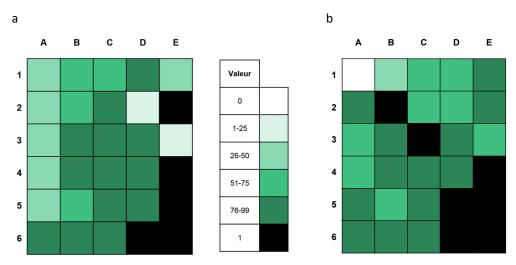


Figure 18 : Taux de recouvrement des zostères naines sur les 30 points de la station « Gujan », (a) en 2018 et (b) en 2019.



La distribution des recouvrements en fonction des six classes a sensiblement évolué entre les deux années, avec une diminution de la fréquence des classes de recouvrement inférieures à 50 %, mais un maintien du mode principal dans la classe 76-99 % (Figure 19).

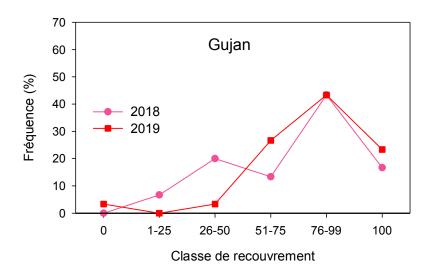


Figure 19 : Distribution du recouvrement des zostères naines sur les 30 points de la station « Rocher Témoin » en 2018 et 2019.

#### 4.2.3 Évolution du recouvrement des herbiers entre 2018 et 2019

Pour chaque grille, les données de taux de recouvrement aux deux dates ont été comparées en utilisant un test statistique (en l'occurrence le test de Wilcoxon Mann Whitney, l'utilisation d'un test de Student étant inapproprié en raison de la structure des données).

Ce traitement indique que les taux de recouvrements sur la grille « Rocher Témoin » en 2018 et en 2019 sont significativement différents, avec de plus faibles valeurs en 2019 qu'en 2018. Au contraire, les zostères de la grille « Gujan », en dépit de la proximité de cet herbier avec la zone de travaux, présentent globalement un recouvrement plus fort en 2019 qu'en 2018, bien que le test statistique n'indique pas de différence significative entre les deux années (Figure 20).

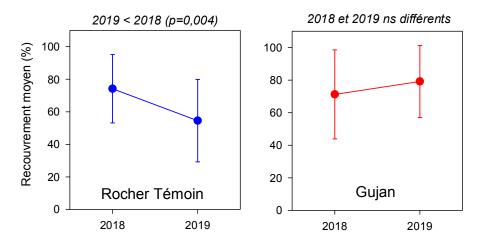


Figure 20 : Évolution des moyennes (± écart type) du recouvrement des zostères naines sur les deux grilles au cours des deux années.



## 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 21) 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.



Figure 21: 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.



#### 5.2 Résultats

#### 5.2.1 Caractérisation et évolution du substrat sédimentaire

NB : Les résultats de granulométrie 2019 ne sont pour l'instant pas disponibles.

**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  $\mu$ m. La distribution des tailles de particules est unimodale (225  $\mu$ m). Selon la classification de Folk et Ward (1957) ce sédiment peut être qualifié, en **2018**, de « sable très fin ».

**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  $\mu$ m. La distribution des tailles de particules est également unimodale (282,5  $\mu$ m). Selon la classification de Folk et Ward (1957) ce sédiment peut être qualifié, en **2018**, de « sable très fin ».

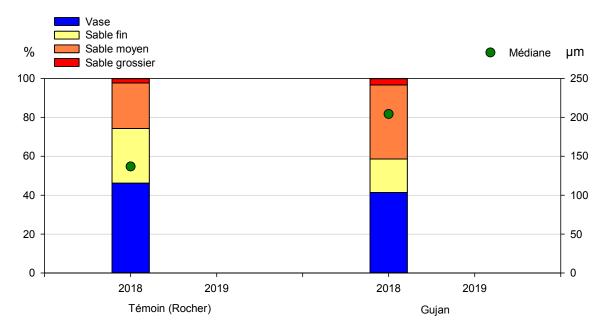


Figure 22 : Caractérisation granulométrique des sédiments des deux grilles suivies.



#### 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 (après les travaux) : fraction vaseuse (Figure 23a), diamètre médian (Figure 23b) ou densité sèche (Figure 23c).

On peut cependant remarquer que de manière générale les sédiments de la grille Gujan sont plus fins, présentent une densité sèche plus faible et sont plus homogènes que ceux de la grille Rocher (Témoin).

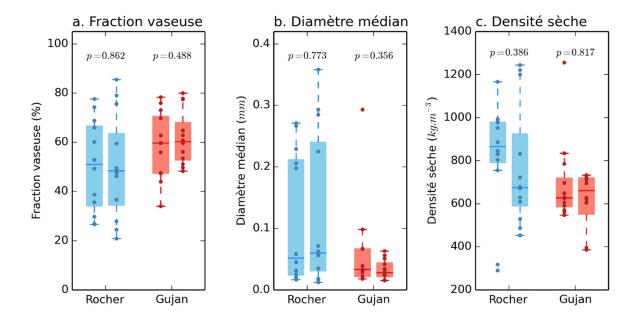


Figure 23 : Comparaison des caractéristiques des sédiments superficiels avant les travaux (13 septembre 2018) et après les travaux (19 juillet 2019) pour les grilles Rocher (référence en bleu) et Gujan (en rouge), pour (a) la fraction vaseuse, (b) le diamètre médian et (c) la densité sèche.



#### 6 Conclusions sur le suivi 2018-2019

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

- L'emprise des herbiers situés à proximité des travaux a peu varié, compte-tenu de l'incertitude de mesure.
- Un recul des limites basses des herbiers (de l'ordre de quelques mètres) a toutefois été observé, tandis que les limites hautes et les zones protégées ont plutôt eu tendance à progresser.
- Pour la grille Rocher Témoin le recouvrement moyen a diminué (de 75 à 55 %), tandis que pour la grille Gujan, celui-ci a légèrement augmenté (de 71 à 79 %).
- Les paramètres des sédiments superficiels n'ont pas évolué significativement (entre les étés 2018 et 2019) pour les deux grilles.

Ainsi, les opérations de dragage du port de la Passerelle et de son chenal d'accès ne semblent pas avoir eu d'effets délétères immédiats sur les herbiers situés à proximité en termes d'emprise et de recouvrement, et des caractéristiques des sédiments superficiels. Pour l'instant, seule la conduite de refoulement posée sur les herbiers a eu sur ces derniers un impact notable mais local. Il convient de poursuivre cette étude pendant plusieurs années, notamment dans la zone impactée par la conduite de refoulement afin de suivre l'évolution des herbiers de ce secteur.



# 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). Gradistat: 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

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. <a href="https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.06.010">https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.06.010</a>

**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 : Cartographie des herbiers par survol drone – Application à l'herbier du port de la Mole

#### 8.1 Préambule

Par rapport au levé GPS qui ne permet d'obtenir que les limites d'emprise des herbiers, l'acquisition d'images aériennes par drone fournit les données nécessaires pour calculer, sur ces herbiers, des taux de recouvrement spatialisés des zostères.

Cette méthode a été testée à l'automne 2019 sur une partie de la zone d'étude : l'herbier situé au droit du port de La Mole (Figure A1). Cette annexe décrit, pas à pas, les méthodes employées et les résultats obtenus en 2019.



Figure A1 : Zone prospectée à l'aide du drone en novembre 2019



#### 8.2 Acquisition d'images

Les images nécessaires à la cartographie de l'herbier situé au droit du port de La Mole (Figure A2), ont été acquises à l'aide d'un drone *DJI® Phantom4 pro*. De façon à couvrir l'intégralité de la zone (environ 250 par 350 mètres, soit 9 ha), plusieurs vols automatiques ont été programmés en novembre 2019. La reconstruction d'une image globale géoréférencée (orthomosaïque) nécessite d'acquérir des images se recouvrant plus ou moins les unes par rapport aux autres. Pour ce premier test, il a été décidé de choisir un taux de recouvrement important entre les images (80 % en frontal et 70 % en latéral ; un exemple est présenté Figure A2). Par la suite, après avoir réalisé une analyse de sensibilité, ce taux pourra être diminué afin d'optimiser les temps de traitement sans diminuer la qualité de l'image.

Une durée de vol d'environ 30 minutes a été nécessaire pour acquérir les 900 images géoréférencées permettant de couvrir l'intégralité de la zone.

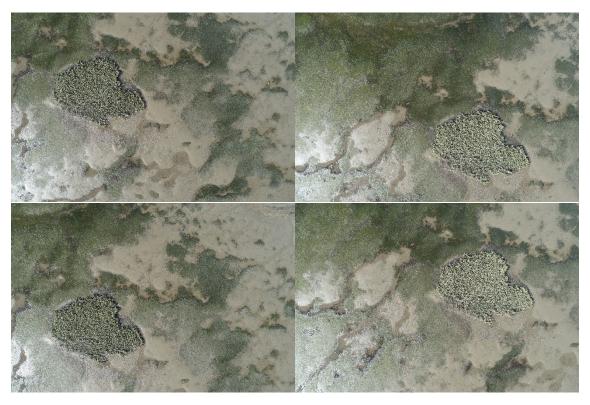


Figure A2 : Exemple d'images acquises sur le secteur avec un recouvrement frontal de 80 % et latéral de 70 %.

#### 8.3 Prétraitement des données et génération de l'orthomosaïque

Les images acquises sont traitées à l'aide du logiciel de photogrammétrie **Pix4Dmapper**. Ce logiciel dispose d'un algorithme de stéréoscopie numérique, qui permet à partir des informations de géoréférencement et d'orientation en 3 dimensions de chacune des images, de récupérer l'ensemble des pixels communs à plusieurs images afin de les assembler pour reconstituer une image globale et géoréférencée de la zone survolée (Figure A3). La résolution de l'orthomosaïque ainsi générée est dans notre cas très haute (0,7 cm), comme en témoigne la Figure A4.





Figure A3 : Orthomosaïque générée à partir des images drone.

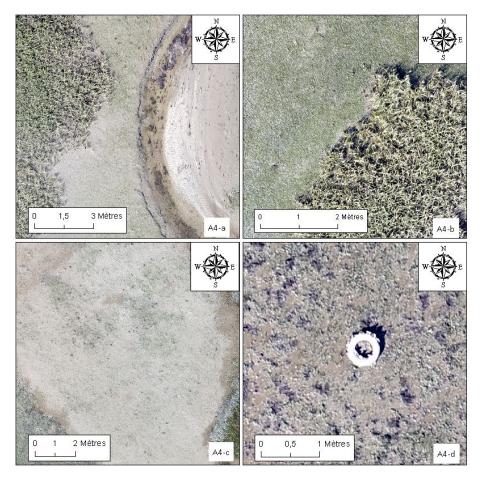


Figure A4: Zoom sur les détails de l'orthomosaïque: (a) estey à droite, spartines à gauche et au centre de l'image présence d'herbier avec un très faible recouvrement, (b) patch de spartine au cœur d'un herbier assez dense, (c) herbier avec un très faible recouvrement, (d) déchet anthropique (pneu) partiellement recouvert d'huitres.



#### 8.4 Traitement des données et classification de l'orthomosaïque

La précision spatiale de l'orthomosaïque (obtenue précédemment) est telle qu'il est possible d'identifier précisément les différents objets présents sur l'image: zostères, spartines, macroalgues, flaques, esteys, sédiments et structures d'origine anthropiques. En raison de la surface couverte par l'image, il n'est pas envisageable de classer manuellement les pixels selon le type d'objet auquel ils correspondent, mais cette possibilité de reconnaissance rend possible l'application de méthodes de classification semi-automatique basée sur un set d'apprentissage généré par l'opérateur. Afin de classer l'intégralité des pixels de l'orthomosaïque selon le type d'objet qu'ils représentent, un algorithme de classification supervisée basée sur la typologie colorimétrique est utilisé (module SCP de QGIS 3.2.0).

Cette classification permet de générer une image de même résolution que l'orthomosaïque pour laquelle à chaque pixel est affecté une valeur dépendant de l'objet qu'il représente (Figure A5). Dans le but d'améliorer la classification de l'image et de diminuer le temps de traitement un masque a été appliqué lors de l'analyse, visant à exclure du processus de classification le schorre et les taches de spartines présentes sur la zone d'étude.

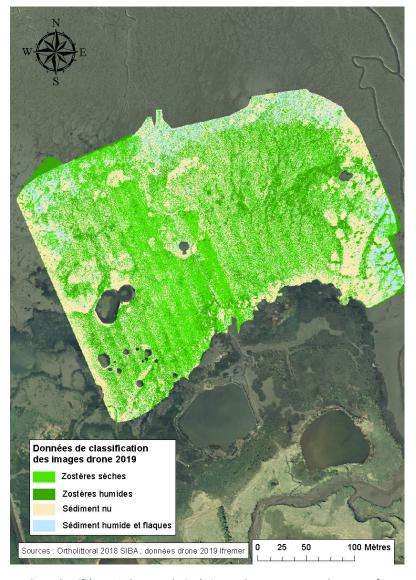


Figure A5 : Orthomosaïque classifiée en 4 classes colorimétriques. On remarque quelques artefacts en bordure Nord et Sud-est. Ces artefacts ont par la suite été supprimés manuellement.



L'image obtenue à partir de la classification est ensuite transformée en polygones (de résolution définie par l'opérateur). Plusieurs résolutions ont été testées pour finalement conserver une résolution de 10 cm correspondant au meilleur compromis entre la résolution et le temps de calcul. En effet, pour une résolution de 10 cm, le nombre de polygones est d'environ 2 millions, impliquant des temps de calculs déjà importants (vingtaine d'heures).

La méthode de génération des polygones est la suivante : pour chaque polygone (de 10 cm de côté), la valeur affectée au polygone correspond à la moyenne des valeurs des pixels codées de la sorte :

- 0 = NO DATA (masque utilisé précédemment cf. §7.4 et donc exclu de la moyenne)
- 1 = zostères sèches
- 2 = zostères humides
- 3 = Sédiment nu
- 4 = Sédiment humide et flaques

Une couche de polygones est ainsi générée, sur laquelle des méthodes de géotraitement peuvent être appliqués.

Les classes sont ensuite fusionnées de la façon suivante (figure A6) :

- Zostères = « zostères sèches » + « zostères humides »
- Sédiment = « Sédiment nu » + « Sédiment humide et flaques »



Figure A6 : Classification de l'orthomosaïque après polygonisation et fusion des classes.



#### 8.5 Calcul des taux de recouvrement

Afin de calculer le taux de recouvrement par l'herbier, la première étape consiste à générer un maillage (ici 1 m de résolution) de la zone. Dans un second temps, pour chacune des mailles ainsi créées, le pourcentage de surface occupée par les zostères est calculé. Ces étapes ont été réalisées à l'aide des logiciels QGIS 3.2.0 et Arcmap 10.7.

Les résultats du calcul des taux de recouvrement sont présentés dans la figure A8. À partir de cette donnée spatialisée, il sera possible de calculer pour un herbier donné la distribution des taux de recouvrements des zostères.

Il est néanmoins probable que la résolution du maillage ait un impact sur le calcul. Afin de quantifier cet impact, des tests de sensibilité seront réalisés ultérieurement.

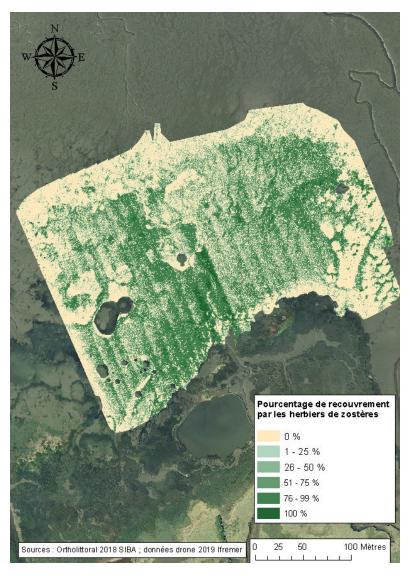


Figure A8 : Taux de recouvrement des zostères naines.

#### 8.6 Perspectives

Les résultats préliminaires issus du traitement des données acquises par survol du drone permettent de réaliser une orthomosaïque de très haute résolution (comparée à une acquisition



par avion) sur laquelle il est aisé de distinguer les objets (herbiers, spartines, etc..) et de numériser leurs contours. Après application de géo-traitements divers, ces données permettent également d'accéder à une représentation spatialisée du taux de recouvrement des herbiers.

Bien que certains aspects de la méthode de traitement demeurent perfectibles et que des analyses de sensibilité restent à être réaliser, les résultats obtenus apparaissent particulièrement prometteurs.