

Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques (2018 : + 13 ans)



Herbier recouvert de
sable à Dispute -
Photo septembre
2007

Juin 2019

X. de MONTAUDOUIN
M. MEYNADIER
N. LAVESQUE

Laboratoire EPOC (UMR 5805) - Station Marine Arcachon - Université de
Bordeaux

Equipe ECOBIOC/Plateforme biodiversité

Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques (2018 : + 13 ans)

Responsable scientifique : X. de Montaudouin (UMR EPOC)¹

Assistants scientifiques : M. Meynadier (UMR EPOC)
N. Lavesque (UMR EPOC)

Assistants techniques : L. Letort (INSU²)



Zone de recouvrement de l'herbier par les sédiments extraits de la nouvelle souille de Dispute (photo août 2005)

Juin 2019

¹ Unité Mixte de Recherche, CNRS- Université de Bordeaux

² Institut National des Sciences de l'Univers

Résumé

Treize ans après les travaux sur la zone de la Dispute, le constat est le suivant :

- ⇒ L'herbier à *Zostera noltei* a été recouvert sur une 30^{aine} d'ha par les sédiments provenant du calibrage de l'Estey du Réservoir et du creusement de la souille de la Dispute, soit le double de la surface prévue. Avec le temps, la zone impactée se subdivise en deux entités, une zone vaseuse (29 ha) et une zone sableuse (1-1,5 ha).
- ⇒ La superficie de cette zone sableuse n'avait pas bougé entre 2010 et 2016 (1 ha) mais a augmenté en 2018 (1,5 ha).
- ⇒ L'herbier environnant présente un peuplement benthique dont la structure est semblable à celle de l'état initial mais dont l'abondance est fortement diminuée. La couverture végétale est nulle sur les deux stations de référence depuis 2016, ce site s'inscrivant dans les zones de déclin généralisé de l'herbier.
- ⇒ Les peuplements benthiques dans la zone vaseuse ont, au bout de 9 ans, confirmé leur retour vers l'état initial et/ou vers l'état des stations de références, amorcé il y a 4 ans, que ce soit en termes de couverture d'herbier (pour l'état initial) qu'en termes de macrofaune associée.
- ⇒ Les peuplements benthiques dans la zone sableuse ont été profondément modifiés et aucun retour à l'état initial n'est noté même si un cortège d'espèces communes aux stations alentour est identifié. Qualitativement, la baisse de diversité est nette (richesse spécifique divisée par 2) et la structure du peuplement est bouleversée. Quantitativement, pour la première fois en 2018, abondance et biomasse sont à des niveaux équivalents de l'état initial.
- ⇒ Nous recommandons la poursuite du suivi, avec un rythme bisannuel.

SOMMAIRE

1. Introduction	5
2. Nouvelle souille de Dispute	8
2.1. Matériel et méthode	8
2.2. Résultats.....	12
2.2.1. Sédiments et couverture végétale	12
2.2.2. Communautés benthiques	15
2.2.3. Indice biotique.....	21
2.2.4. Impact des travaux sur les peuplements benthiques et leurs prédateurs	22
a Critères d'évaluation.....	23
b Herbier non impacté à <i>Zostera noltei</i> : comparaison 2002-2018	23
c Herbier à <i>Zostera noltei</i> vs zone impactée par vase (août-2018)	25
d Herbier à <i>Zostera noltei</i> vs zone impactée par sable (août-2018)	26
3. Conclusion.....	28
4. Références bibliographiques	30
Annexe 1.....	33

1. Introduction

Dans le cadre du Contrat Plan Etat/Région 2000/2006, et dans la continuité du CPER précédent, il était envisagé des travaux dans le Bassin d'Arcachon visant à limiter la prolifération des huîtres dites « sauvages », qui sont en réalité des huîtres japonaises (*Crassostrea gigas*) se développant à l'état naturel. Ces populations se sont principalement installées sur des structures dures d'anciens parcs ostréicoles. Une étude en 2011 a estimé que les tonnages s'élevaient à 16 600 t pour les huîtres en élevage, 65 000 t pour les huîtres en récif et 50 000 t pour les coquilles vides (Scourzic *et al.*, 2011).

L'un des objectifs de ce CPER était d'aménager le domaine conchylicole concédé, notamment en récupérant des surfaces envahies par les huîtres sauvages pour favoriser l'implantation de jeunes conchyliculteurs. Le site de la Matelle avait été envisagé pour mener un projet pilote servant de « base d'expérimentation pour d'autres sites » (de Montaudouin *et al.*, 2002a; de Montaudouin *et al.*, 2005b; de Montaudouin *et al.*, 2006a; de Montaudouin *et al.*, 2009; de Montaudouin *et al.*, 2011a).

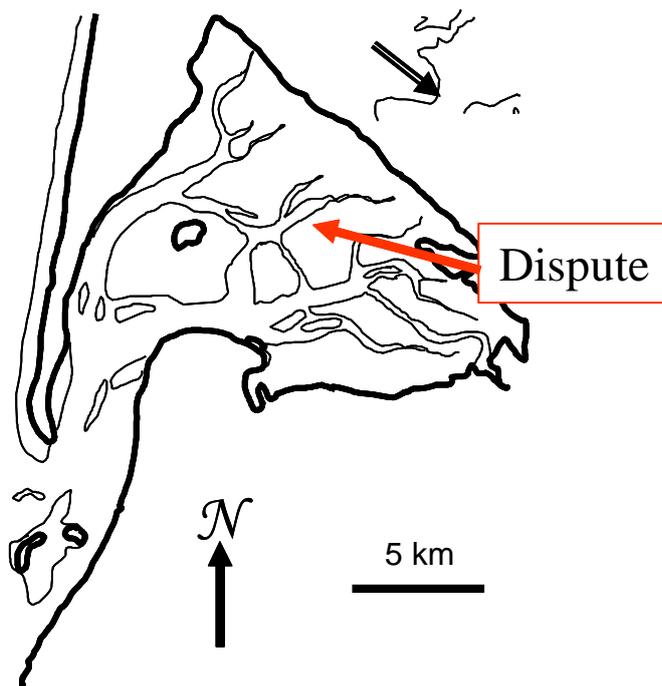


Figure 1 : Position de la souille de Dispute dans le Bassin d'Arcachon

L'un des aspects délicats de ces opérations de nettoyage est le devenir des matériaux. Si l'évacuation à terre des ferrailles, bois, plastiques, etc... est aujourd'hui admise, le devenir des coquilles a suscité plus de débats. Des deux solutions les plus « sérieuses », clapage dans la Passe Nord ou enfouissement dans le Bassin, c'est finalement la seconde qui a été retenue par le Comité Technique, sous réserve des conclusions des études environnementales, et en précisant qu'il s'agirait d'un élargissement d'une zone déjà existante et que cela n'empêchait pas de réfléchir à d'autres solutions à

moyen terme (de Montaudouin *et al.*, 2002b; de Montaudouin, 2003).

La zone d'enfouissement (« souille ») se situe au milieu du Bassin, au lieu-dit « Dispute », au bout de l'estey du Réservoir (Figures 1 et 2).

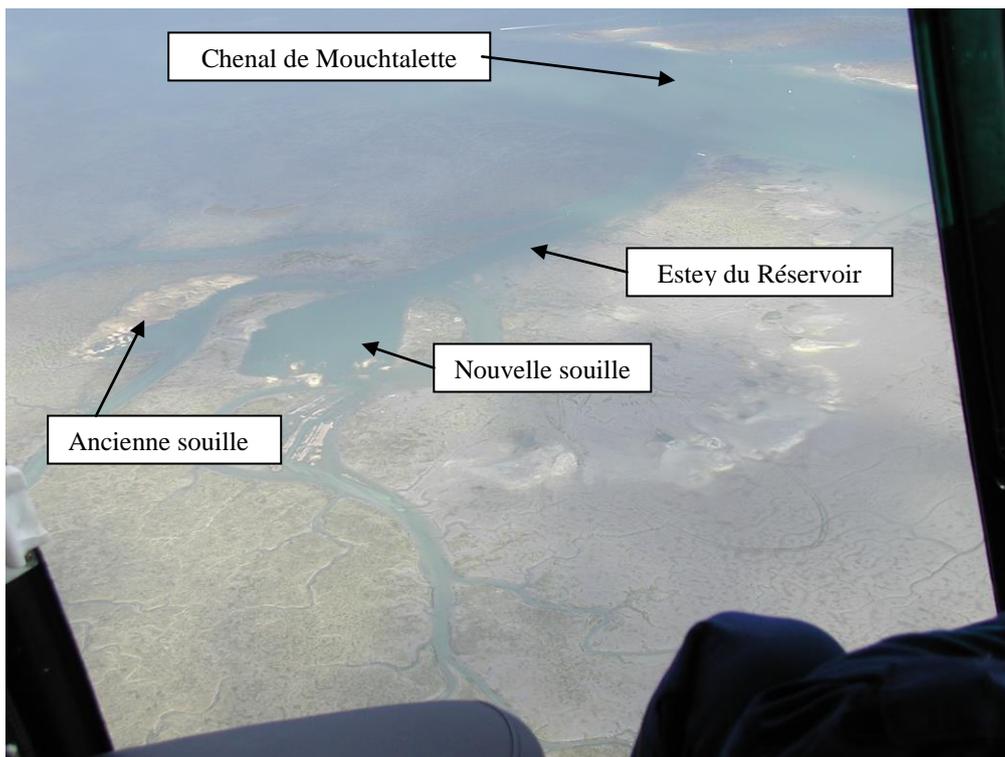


Figure 2 : Souille de Dispute et Estey du Réservoir

Cette souille de 4 ha (200 x 200 m) et de 4 m de profondeur complète une ancienne souille, aujourd'hui pleine, de 0,5 ha. Elle se situe au milieu d'un herbier à *Zostera noltei*. L'objectif est d'y stocker environ 100 000 m³ de substrat coquillier.

Le Bassin d'Arcachon est caractérisé par la présence d'un immense herbier, le plus grand d'Europe (Auby & Labourg, 1996), constitué en grande partie de zostère naine (*Zostera noltei*) en domaine intertidal (70 km² avant 2005), et en moindre proportion de grande zostère (*Zostera marina*) sur les talus de certains chenaux (4,3 km² avant 2005). Depuis 2005, une régression importante de ces herbiers a été constatée, de l'ordre de 40% (Plus *et al.*, 2010). Le Bassin d'Arcachon est aussi une ZNIEFF³ de type II⁴. Par ailleurs l'Article R. 146-1 de la Loi Littoral stipule que « sont préservés (...) les milieux abritant des concentrations naturelles d'espèces animales ou végétales telles que les herbiers, les frayères, les nourriceries (...) ».

En 2002, le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA), maître d'ouvrage des travaux avec ce qui est aujourd'hui le Comité Régional de la Conchyliculture Arcachon

³ Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

⁴ Grands ensembles naturels riches et peu modifiés, qui forment des unités de fonctionnement écologique et offrent des potentialités biologiques importantes

Aquitaine (CRCAA), avait confié au Laboratoire EPOC, Station Marine d'Arcachon, une mission d'expertise visant 1) à définir l'état initial des communautés benthiques du site de Dispute dans la perspective d'un agrandissement sur 4 ha, 2) à estimer l'impact des travaux sur ces communautés et 3) à vérifier la présence/absence d'un herbier à *Zostera marina* dans l'Estey⁵ du Réservoir accédant à la souille (de Montaudouin *et al.*, 2002b; de Montaudouin, 2003; de Montaudouin *et al.*, 2005a; de Montaudouin *et al.*, 2006b; de Montaudouin *et al.*, 2008; de Montaudouin *et al.*, 2011b; de Montaudouin *et al.*, 2013a; de Montaudouin *et al.*, 2015; de Montaudouin *et al.*, 2017).

Les travaux de calibrage de l'Estey du Réservoir et le creusement de la nouvelle souille étaient terminés au printemps 2005.

En 2005, le SIBA a demandé au Laboratoire :

- ⇒ D'estimer l'impact des travaux de refoulement des sédiments sur les herbiers avoisinants (surface prévue 14 ha).
- ⇒ D'évaluer la restauration de l'ancienne souille, nettoyée des déchets observés en 2002 (de Montaudouin *et al.*, 2002b) et devant être recouverte d'une nappe de sable.

Devant le blocage de la situation concernant le nettoyage de l'ancienne souille qui, en septembre 2005, était toujours en friche, le SIBA et le laboratoire ont convenu qu'il était inutile d'entamer le suivi biologique de ce site.

La dernière visite du site de Dispute en août 2016 (de Montaudouin *et al.*, 2017) avait permis de constater 1) que la zone recouverte de sable n'avait pas bougé ; 2) que l'herbier environnant abritait la faune « prévue » bien qu'il soit très clairsemé ; et 3) que la zone recouverte par la vase amorçait un retour à l'équilibre (présence d'herbier, faune associée présente) déjà observé en 2012 et 2014 (de Montaudouin *et al.*, 2013b; de Montaudouin *et al.*, 2017).

- ⇒ L'étude présentée ici concerne donc le devenir de la zone de refoulement et ses environs proches, et présente aujourd'hui la totalité des résultats des campagnes d'août 2018 en comparaison avec les résultats des campagnes précédentes.

⁵ Estey : petit chenal.

2. Nouvelle souille de Dispute

2.1. Matériel et méthode

La première campagne d'échantillonnage sur la souille de Dispute s'était déroulée le 10 juin 2002. Les zones de prélèvements correspondaient aux sites prévus pour l'élargissement de la souille, dans l'herbier, ainsi qu'une station un peu plus éloignée (de Montaudouin et al. 2002b). A partir de photos aériennes prises en juin 2005, six stations ont été choisies, deux dans l'herbier, deux dans la zone recouverte par les sédiments et deux dans la limite herbier/sédiments. Une fois les sédiments stabilisés, il a été décidé à partir de 2008 d'effectuer les comparaisons sur 4 stations (Figure 3): une station impactée par la vase (IM comme Impact Mud), une station impactée par le sable (IS comme Impact Sand) (Figure 4), une station témoin proche de la zone impactée (PS comme Proximate Seagrass) et une station témoin éloignée de la zone impactée (RS comme Remote Seagrass).

En 2010, 2012, 2014, 2016 et 2018, les points GPS de la zone sableuse représentée par la station IS ont été relevés pour estimer la surface (Figure 5).



Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage sur le site de Dispute : site impacté par le sable (IS), par la vase (IM), dans l'herbier à proximité des travaux (PS) et dans l'herbier loin des travaux (RS).



Figure 4 : Zone impactée (Station IS).

Les échantillons ont été collectés dans l'herbier de zostère naine (Figure 6) et sur la zone impactée (e.g. Figure 4) les mois d'août 2005, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016 et 2018.

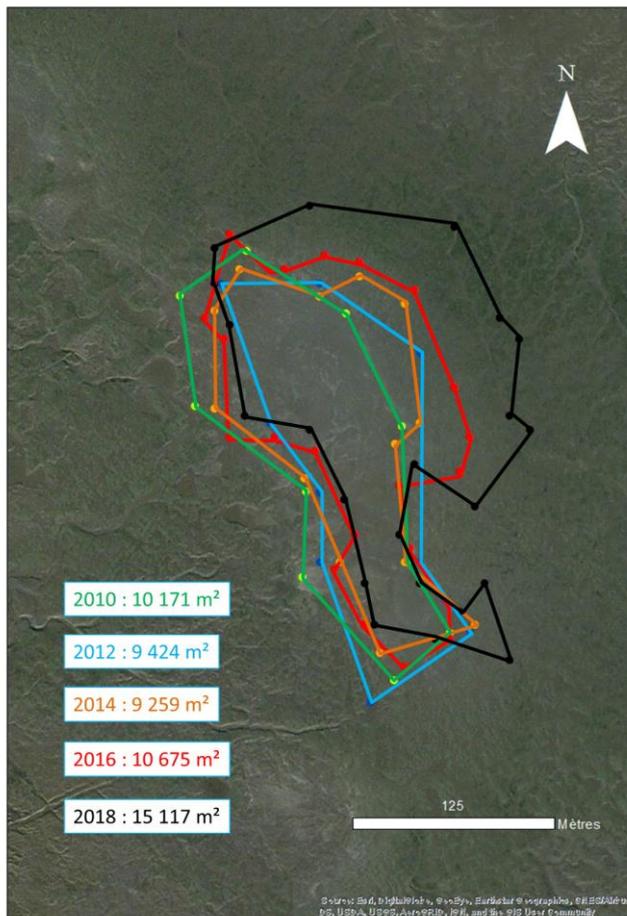


Figure 5 : zone impactée par le sable de 2010 à 2018

La granulométrie et la teneur en matière organique du sédiment sur les 5 cm supérieurs. Le cas échéant, le taux de couverture par l'herbier a été évalué par une méthode graphique après prise de 10 clichés par site (Binias *et al.*, 2014). Cette méthode permet de calculer un taux de recouvrement à l'échelle décamétrique et une biomasse foliaire au sein des zones d'herbier.

La diversité a été assimilée à la richesse spécifique (= nombre d'espèces) par échantillon.

⁶ Colorant de la matière organique

⁷ PSSC dans le reste du texte



Figure 6 : Echantillonnage au carottier dans l'herbier à *Z. noltei*.

Par ailleurs, les peuplements benthiques ont été comparés entre 2002 (avant travaux), 2005, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016 et 2018 (après les travaux) au moyen d'une analyse multivariée n-MDS (Logiciel PRIMER®). Cette méthode graphique permet de projeter les stations d'échantillonnage sur un plan, leur positionnement étant calculé d'après la présence des espèces et leur abondance (en racine carrée de x). Ainsi, sur un tel plan, deux stations aux peuplements benthiques similaires seront proches. En d'autres termes, nous étudierons dans le temps le « déplacement » des stations sur ces plans, avec deux cas de figure : soit le nuage de points rejoint celui de 2002 (= état initial) et cela signifie que les peuplements benthiques présentent les caractéristiques initiales, soit le nuage est distinct, signifiant que les peuplements benthiques sont différents. Dans ce dernier cas, il faudra distinguer un nuage de points stable (état d'équilibre), d'un nuage de points en mouvement (colonisation, état transitoire).

Les abondances et les biomasses de la faune ont été comparées en août 2018 entre zone d'herbier (PS et RS poolés) et zone impactée (IM et IS) à travers une série de tests statistiques (Cf. § 2.2.4). Il en a été de même entre les herbiers 2002 et les herbiers d'août 2018 (Cf. § 2.2.4.).

Enfin, nous appliquerons l'indice benthique d-MISS, mis au point sur cet herbier lors d'études précédentes (Do *et al.*, 2012) pour estimer l'état de santé de la zone ou du moins son écartement par rapport à un niveau de départ. Cet indice, dérivé de l'indice MISS (Lavesque *et al.*, 2009), repose sur 14 métriques qu'il est possible de grouper en 3 catégories : 1) les descripteurs de communautés (abondance, nombre d'espèces, indice de Shannon, indice d'équitabilité) ; 2) la composition trophique (filtreurs) ; et 3) indicateurs

de perturbations (AMBI⁸, BOPA⁹, abondance d'espèces sensibles, abondance d'espèces opportunistes et tolérantes). Pour chacune de ces métriques, un score de 0 ou 1 était attribué selon que la valeur était hors de valeurs seuils définies sur un herbier en bonne santé ou non, puis une moyenne était calculée. L'indice d-MISS peut donc prendre une valeur allant de 0 (très éloigné des conditions d'un herbier sain) à 1 (herbier sain) .

⁸ AMBI : Azti Marine Biotic Index

⁹ BOPA : Benthic Opportunistic Polychaetes-Amphipods ratio

2.2. Résultats

2.2.1. Sédiments et couverture végétale

Les photos aériennes avaient permis en 2005 d'estimer la surface recouverte par les sédiments creusés dans la souille ou issus du calibrage de l'Estey du Réservoir à environ 30 ha (Figure 7) (de Montaudouin *et al.*, 2005a).

En 2010, la tâche de sable (zone écologiquement la plus impactée) mesurait 1 ha et n'avait pratiquement pas bougé jusqu'en 2016 mais a augmenté en 2018 (1,5 ha) (Figure 4).

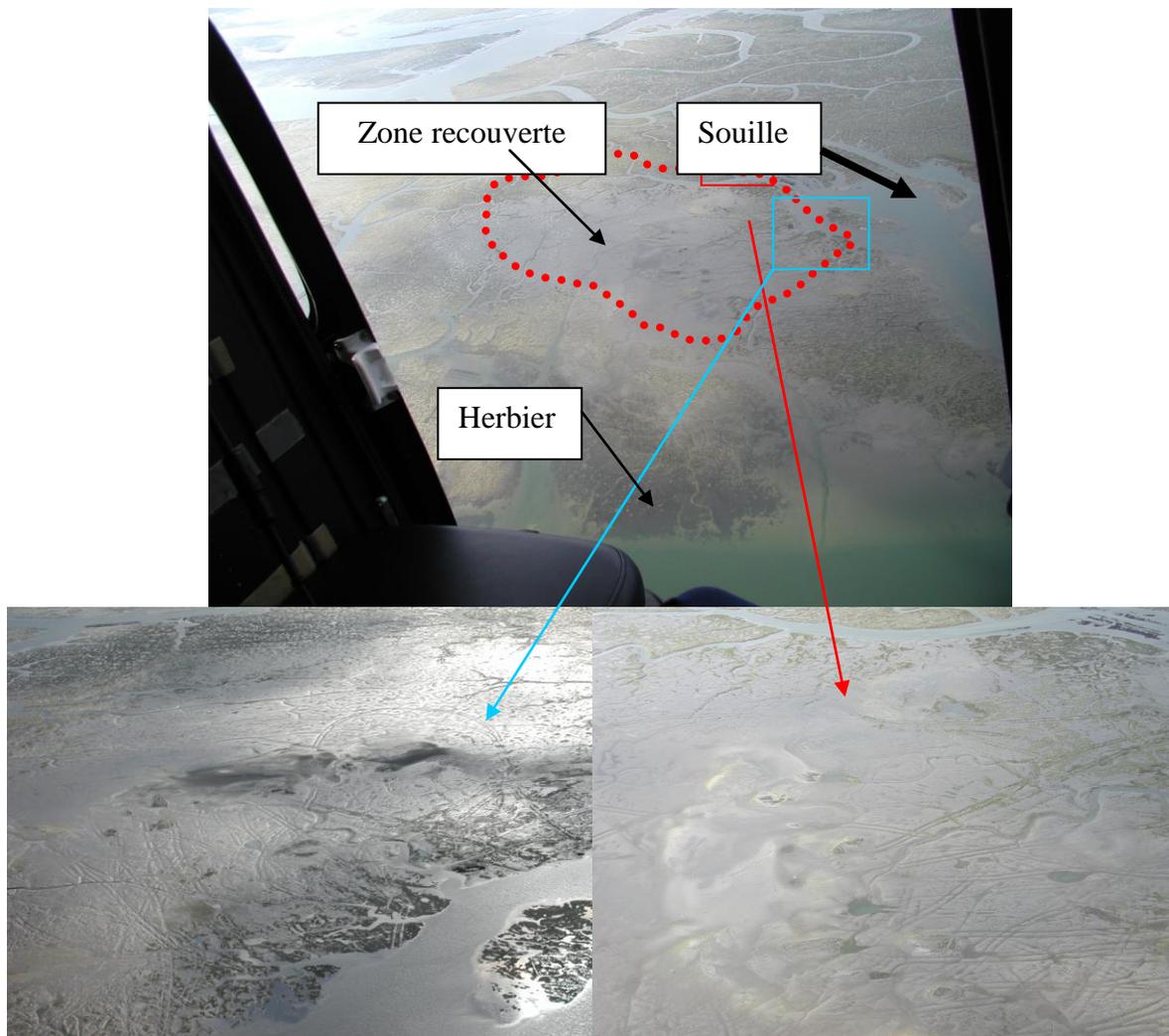


Figure 7 : Zone de la Dispute, de la nouvelle souille et de la zone de rejet

Année	Station	Biomasse feuilles (g PS/m ²)	Couvert végétal (%)	Médiane granulométrique (µm)	Concentration silt et argile (%)	Concentration en matière organique (%)
2002	RS	80	68	20 (vaso-sableux)	82	5
2005		-	-	90 (sablo-vaseux)	37	8
2006		29	33	100 (sablo-vaseux)	26	10
2008		82	70	30 (vaso-sableux)	73	9
2010		87	72	60 (vaso-sableux)	50	7
2012		10	11	63 (vaso-sableux)	50	8
2014		3	4	135 (sablo-vaseux)	30	6
2016		0	0	125 (sablo-vaseux)	30	5
2018		0	0	157 (sablo-vaseux)	29	7
2002	PS	70	62	20 (vaso-sableux)	73	7
2005		103	52	100 (sablo-vaseux)	31	9
2006		9	15	90 (sablo-vaseux)	36	8
2008		-	-	20 (vaso-sableux)	83	10
2010		192	100	40 (vaso-sableux)	57	8
2012		3	4	141 (sablo-vaseux)	21	5
2014		0	0	159 (sablo-vaseux)	19	5
2016		0	0	129 (sablo-vaseux)	31	6
2018		0	0	167 (sablo-vaseux)	17	6
2005	IM	0	0	100 (sablo-vaseux)	26	5
2006		0	0	70 (sablo-vaseux)	47	9
2008		0	0	40 (vaso-sableux)	59	6
2010		41	43	40 (vaso-sableux)	60	7
2012		40	38	141 (sablo-vaseux)	21	4
2014		88	70	160 (sablo-vaseux)	22	3
2016		94	73	109 (sablo-vaseux)	28	4
2018		45	43	152 (sablo-vaseux)	15	3
2005	IS	0	0	120 (sablo-vaseux)	28	5
2006		0	0	190 (sableux)	5	2
2008		0	0	150 (sablo-vaseux)	23	2
2010		0	0	180 (sableux)	6	1
2012		0	0	243 (sableux)	10	1
2014		0	0	266 (sableux)	3	0
2016		0	0	176 (sableux)	7	1
2018		0	0	187 (sableux)	0	2

Tableau 1 : caractéristiques sédimentaires des stations. RS et PS : zones témoins ; IM et IS, zones recouvertes par la vase et le sable, respectivement. « - » : pas de mesure.

En 2002, l'herbier reposait sur des vases ou des sables fins, la médiane variant autour de 60 µm, le pourcentage de pélites¹⁰ entre 70 et 80% et le pourcentage de matière organique de 5 à 7% (Tableau 1). Les travaux ayant finalement consisté en un brassage de sédiments dans la même zone, les caractéristiques sédimentaires avaient peu varié en 2005 et étaient semblables dans l'herbier et dans la zone d'impact (médiane entre 70 et 120 µm dans tous les cas ; pélites : 30 à 50% ; matière organique 5 à 9%).

En 2006, les granulométries ont changé dans la zone impactée : les sédiments ont été lessivés et « classés », laissant une composante sableuse (médiane = 190 µm) et une composante vaseuse (médiane = 70 µm).

En 2008, les zones d'herbier sont particulièrement vaseuses (médiane entre 20 et 30 µm) tandis que la zone impactée se compose toujours d'une zone « vase » (médiane de 40 µm) et d'une zone « sables » (150 µm). Le taux de recouvrement par l'herbier est de zéro sur les zones impactées, contre plus de 70% sur les zones herbiers (Tableau 1, Figure 8).

En 2010, soit plus de 5 ans après les travaux, un virage est remarqué. Si l'herbier reste avec une couverture >70% (sur nos stations témoins), associée à une biomasse

¹⁰ Pélites : particules sédimentaires < 63 µm (vases)

>87 gPS/m² de feuilles sur les zones végétalisées et une médiane de vase (44 à 62 µm), la zone impactée par la vase a commencé à être colonisée par l'herbier avec un taux de recouvrement de 40% et une biomasse en feuilles de 41 gPS/m² (Figure 9).

En 2012, une tendance inattendue se dessine avec des stations témoins (RS et PS) qui deviennent moins végétalisées que la station impactée par la vase (8% vs. 38%), alors que les sédiments sont partout sablo-vaseux (médiane comprise entre 60 et 140 µm). La station impactée (IS) par le sable conserve une médiane granulométrique élevée (240 µm) et reste sans zostère (Figure 10).

Ces tendances sont confirmées en 2014 : les stations de références sont même très peu végétalisées (RS : 4% et PS : 0%), alors que la station IM impactée par la vase présente un taux de recouvrement par l'herbier de 70%. La station IS impactée par le sable reste dévégétalisée. Toutes les stations ont subi un très léger ensablement avec une augmentation de la médiane granulométrique allant de 9% (IS) à 114% (RS).

En 2016 et 2018, les stations de références RS et PS sont maintenant complètement dépourvues d'herbier (Figure 8) et affichent une augmentation de la médiane granulométrique, tandis que la station impactée par la vase (IM) a vu sa couverture en herbier stabilisée autour de 70% en 2016 pour diminuer à 43% en 2018 (Figure 9). La médiane granulométrique de 2016 de IM avait légèrement décliné par rapport à 2014 (109 µm contre 160 µm en 2014) mais est revenue à 152 µm en 2018. La médiane de la station impactée par le sable (IS) a encore augmenté, et aucune reprise de végétation n'est notée (hormis de petites taches végétalisées, Figure 10).

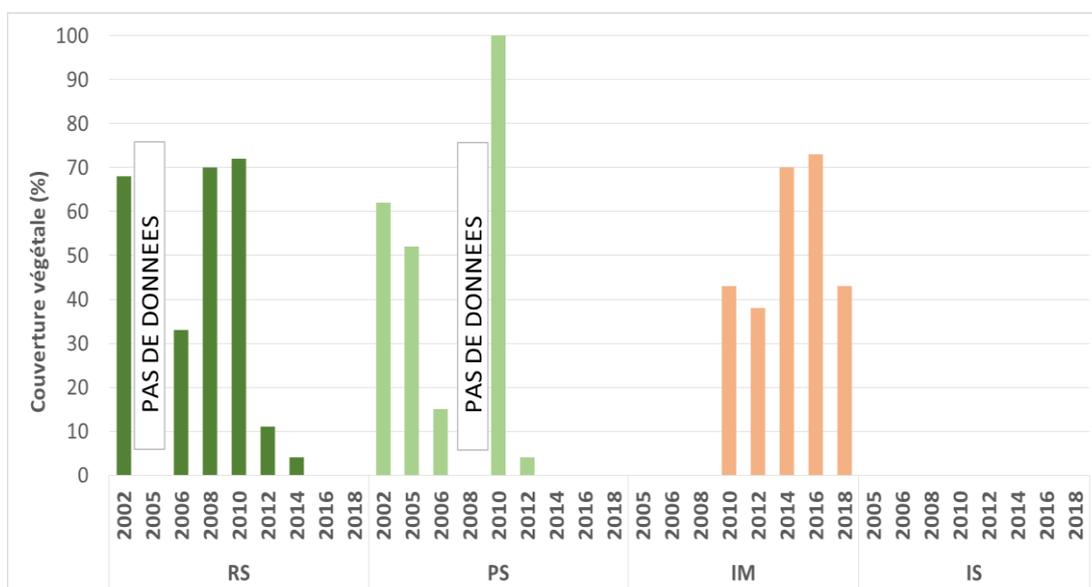


Figure 8 : Couverture végétale (% de sédiment recouvert par l'herbier) en fonction des années et des stations. RS et PS : zones témoins ; IM et IS, zones recouvertes par la vase et le sable, respectivement.



Figure 9 : Zone impactée recouverte par la vase (Station IM) et, depuis 2010, colonisée par l'herbier



Figure 10 : Zone impactée recouverte par le sable (Station IS) et, depuis 2010, toujours nue hormis de très rares tâches d'herbier

2.2.2. Communautés benthiques

Il est plus judicieux de comparer les traitements entre eux en août 2018 (herbiers vs. impacté) plutôt que de faire référence à l'herbier en 2002, afin de limiter l'influence de la variabilité temporelle. Cependant, il est possible de suivre l'évolution temporelle au sein de chaque station (Figure 11).

- **Station RS** : Le témoin éloigné (RS), après avoir affiché une forte abondance en mollusques (notamment en hydrobies, espèce aux effectifs fluctuants montrant un pic en 2008), présente des abondances autour de 8-10000 ind/m², avec des années creuses sous les 5000 ind/m² en 2005 et en 2014. L'année 2016 apparassait comme un retour à des valeurs moyennes avec ca. 9000 ind/m² mais 2018 amorce un nouveau déclin avec ca. 4000 ind/m², valeur très basse. La biomasse est beaucoup plus stable avec des valeurs autour de 14 gPSSC. Quant à la richesse spécifique, elle alterne entre 19 et 34 espèces, 2018 étant une année moyenne à 28 espèces. Cette année, *Hydrobia ulvae* est largement dominante (52% de l'abondance totale).
- **Station PS** : L'abondance et la biomasse du témoin proche (PS) est corrélé à celles de RS ($r=0.67$ avec $p=0.046$ et $r=0.80$ avec $p=0.010$, respectivement), ce qui n'est pas le cas de la richesse spécifique ($r=0.48$ $p=0.196$) qui en moyenne est 33% plus élevée à PS. Episodiquement, la biomasse de PS affiche des pics liés à la présence de palourdes

japonaises adultes. Concernant les espèces dominantes en 2018, l'amphipode exotique *Grandidierella japonica* domine (34% de l'abondance totale).

- **RS+PS (stations de références)** : en regroupant les stations de référence (Tableau 2), il apparaît que 3 des 5 espèces dominantes sont les mêmes que lors du dernier échantillonnage (2016). D'une manière générale, le cortège faunistique est toujours resté assez semblable depuis 2002.
- **Station IM** : La station impactée par la vase présente généralement des abondances, biomasses et richesses spécifiques moyennes proches de la station RS. Cependant 2018 affiche des valeurs hautes, avec notamment une abondance élevée et dominante de l'annélide *Melinna palmata* (56%). (Tableau 2). Sur les 10 dernières années, l'abondance d'annélides a été multipliée par 10 (Figure 11).
- **Station IS** : La station impactée par le sable est celle qui s'est toujours le plus éloignée de toutes les autres. En moyenne depuis 2005, l'abondance y est 4,9 fois plus faible, la biomasse 6,4 fois plus faible, et la richesse spécifique 1,4 fois plus faible. Les paramètres granulométriques et biotiques (abondance, biomasse, richesse spécifique) sont éloignés des autres stations. Le cortège faunistique en 2018 est très dominé par les crustacés, et notamment *Grandidierella japonica* (63% de l'abondance totale) (Tableau 2).

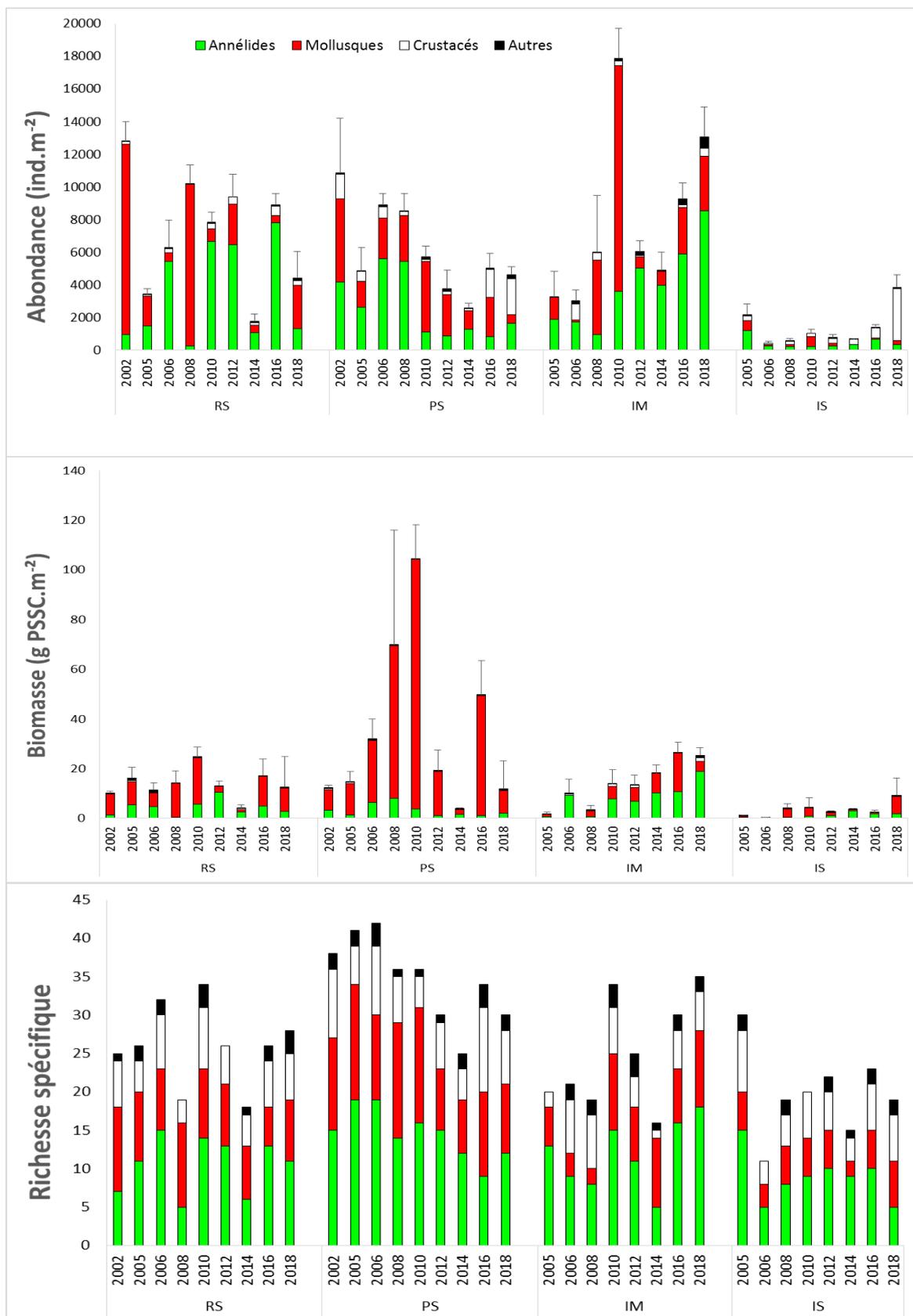


Figure 11 : Synthèse de l'évolution des caractéristiques biocénétiques entre 2002 et 2018, de l'herbier à *Zostera noltei*, de la zone limite et de la zone impactée. RS et PS : zones témoins ; IM et IS, zones recouvertes par la vase et le sable, respectivement. Barre d'erreur = erreur standard.

Rang	Espèce	Groupe zoologique	Abondance (ind m ⁻²)	%
Herbier 2002				
1	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	5300	50
2	<i>Tubificoides benedii</i>	Annélide oligochète	981	9
3	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	944	9
4	<i>Abra segmentum</i>	Mollusque bivalve	619	6
5	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	496	5
2005 Herbier				
1	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	767	19
2	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	639	16
3	<i>Tubificoides benedii</i>	Annélide oligochète	422	10
4	<i>Bittium reticulatum</i>	Mollusque gastéropode	378	9
5	<i>Clymenura leiopygos</i>	Annélide polychète	333	8
Janv-06 Herbier				
1	<i>Tubificoides benedii</i>	Annélide oligochète	3267	27
2	<i>Idotea chelipes</i>	Crustacé isopode	1522	13
3	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	1189	10
4	<i>Grandidierella japonica</i>	Crustacé amphipode	1183	10
5	<i>Gammarus locusta</i>	Crustacé amphipode	511	4
Aoû-06 Herbier				
1	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	1589	21
2	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	1283	17
3	<i>Bittium reticulatum</i>	Mollusque gastéropode	917	12
4	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	722	10
5	<i>Tubificoides benedii</i>	Annélide oligochète	467	6
Aoû-08 Herbier				
1	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	5556	60
2	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	1611	17
3	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	567	6
4	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	289	3
5	<i>Mytilus edulis</i>	Mollusque bivalve	250	3
Aoû-10 Herbier				
1	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	1561	23
2	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	1500	22
3	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	878	13
4	<i>Bittium reticulatum</i>	Mollusque gastéropode	800	12
5	<i>Ruditapes philippinarum</i>	Mollusque bivalve	317	5
Aoû-12 Herbier				
1	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	1633	25
2	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	1283	20
3	<i>Bittium reticulatum</i>	Mollusque gastéropode	1017	15
4	<i>Pygospio eleans</i>	Annélide polychète	861	13
2	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	383	6
Aoû-14 Herbier				
1	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	406	19
2	<i>Bittium reticulatum</i>	Mollusque gastéropode	378	17
3	<i>Clymenura leiopygos</i>	Annélide polychète	278	13
4	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	178	8
5	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	133	6

Tableau 2 : Liste des 5 espèces les plus communes de la macrofaune benthique de l'herbier à *Zostera noltei* 2002, de l'herbier 2005 à 2018 et de la zone impactée 2005 à 2018, à proximité de la souille de la Dispute. (Suite page suivante).

Rang	Espèce	Groupe zoologique	Abondance (ind m ⁻²)	%
Aoû-16 Herbier				
1	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	3122	25
2	<i>Bittium reticulatum</i>	Mollusque gastéropode	2194	18
3	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	2072	17
4	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	989	8
5	<i>Grandidierella japonica</i>	Crustacé amphipode	611	5
Aoû-18 Herbier				
1	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	1144	25
2	<i>Grandidierella japonica</i>	Crustacé amphipode	878	20
3	<i>Clymenura leiopygos</i>	Annélide polychète	333	7
4	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	311	7
5	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	306	7
2005 Zone impactée				
1	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	833	31
2	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	439	16
3	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	344	13
4	<i>Streblospio shrubsolii</i>	Annélide polychète	183	7
5	<i>Pygospio elegans</i>	Annélide polychète	133	5
Janv-06 Zone impactée				
1	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	733	36
2	<i>Pygospio elegans</i>	Annélide polychète	261	13
3	<i>Abra segmentum</i>	Mollusque bivalve	256	12
4	<i>Tubificoides benedeni</i>	Annélide oligochète	128	6
5	<i>Nephtys hombergii</i>	Annélide polychète	106	5
Aoû-06 Zone impactée				
1	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	372	22
1	<i>Cyathura carinata</i>	Crustacé isopode	372	22
3	<i>Nereis diversicolor</i>	Annélide polychète	367	21
4	<i>Pygospio elegans</i>	Annélide polychète	117	7
5	<i>Grandidierella japonica</i>	Crustacé amphipode	94	6
5	Dolichopodidae	Insecte	94	6
Aoû-08 Zone impactée				
1	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	2305	70
2	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	256	8
3	<i>Cyathura carinata</i>	Crustacé isopode	139	4
4	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	111	3
5	<i>Melita palmata</i>	Crustacé amphipode	67	2
Aoû-10 Zone impactée VASE				
1	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	12922	72
2	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	1978	11
3	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	689	4
4	<i>Abra segmentum</i>	Mollusque bivalve	356	2
5	<i>Cerastoderma edule</i>	Mollusque bivalve	267	1
Aoû-10 Zone impactée SABLE				
1	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	422	41
2	<i>Cerastoderma edule</i>	Mollusque bivalve	167	16
3	<i>Amphithoe</i> sp.	Crustacé amphipode	133	13
4	<i>Pygospio elegans</i>	Annélide polychète	44	4
5	<i>Melita palmata</i>	Crustacé amphipode	33	3

Tableau 2 (suite): Liste des 5 espèces les plus communes de la macrofaune benthique de l'herbier à *Zostera noltei* 2002, de l'herbier 2005 à 2018 et de la zone impactée 2005 à 2018, à proximité de la souille de la Dispute. (Suite page suivante).

Rang	Espèce	Groupe zoologique	Abondance (ind m ⁻²)	%
Aoû-12 Zone impactée VASE				
1	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	2667	44
2	<i>Pygospio elegans</i>	Annélide polychète	1133	19
3	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	644	11
4	<i>Bittium reticulatum</i>	Mollusque gastéropode	556	9
5	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	289	5
Aoû-12 Zone impactée SABLE				
1	<i>Grandidiriella japonica</i>	Crustacé amphipode	178	23
2	Anthozoa	Cnidaire	78	10
3	<i>Glycera unicornis</i>	Annélide polychète	67	9
4	<i>Acanthocardia tuberculata</i>	Mollusque bivalve	67	9
5	<i>Clymenura leiopygos</i>	Annélide polychète	56	7
Aoû-14 Zone impactée VASE				
1	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	3744	77
2	<i>Littorina littorea</i>	Mollusque gastéropode	256	5
3	<i>Bittium reticulatum</i>	Mollusque gastéropode	233	3
4	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	156	3
5	<i>Cerastoderma edule</i>	Mollusque bivalve	122	2
Aoû-14 Zone impactée SABLE				
1	<i>Grandidiriella japonica</i>	Crustacé amphipode	267	40
2	<i>Clymenura leiopygos</i>	Annélide polychète	144	22
3	<i>Nephtys hombergii</i>	Annélide polychète	56	8
4	<i>Phylo foetida</i>	Annélide polychète	33	5
5	<i>Cerastoderma edule</i>	Mollusque bivalve	22	3
Aoû-16 Zone impactée VASE				
1	<i>Bittium reticulatum</i>	Mollusque gastéropode	2689	29
2	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	2656	29
3	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	1211	13
4	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	1156	12
5	Anthozoa	Cnidaire	333	4
Aoû-16 Zone impactée SABLE				
1	<i>Grandidiriella japonica</i>	Crustacé amphipode	289	21
2	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	144	11
3	<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annélide polychète	144	11
4	<i>Corophium</i> sp.	Crustacé amphipode	133	10
5	<i>Notomastus latericeus</i>	Annélide polychète	122	9
Aoû-18 Zone impactée VASE				
1	<i>Melinna palmata</i>	Annélide polychète	7267	56
2	<i>Hydrobia ulvae</i>	Mollusque gastéropode	2687	21
3	Anthozoa	Cnidaire	644	5
4	<i>Heteromastus filiformis</i>	Annélide polychète	478	4
5	<i>Grandidiriella japonica</i>	Crustacé amphipode	400	3
Aoû-18 Zone impactée SABLE				
1	<i>Grandidiriella japonica</i>	Crustacé amphipode	2411	63
2	<i>Corophium</i> sp.	Crustacé amphipode	456	12
3	<i>Clymenura leiopygos</i>	Annélide polychète	178	5
4	<i>Ampelisca brevicornis</i>	Crustacé amphipode	167	4
5	Sphaeromatidae	Crustacé isopode	89	2

Tableau 2 (suite): Liste des 5 espèces les plus communes de la macrofaune benthique de l'herbier à *Zostera noltei* 2002, de l'herbier 2005 à 2018 et de la zone impactée 2005 à 2018, à proximité de la souille de la Dispute.

En termes de structure des peuplements, la n-MDS discrimine deux groupes de « station-date » que nous appellerons « stations » (Figure 12). Le premier groupe (gauche de la Figure 12) regroupe les deux stations de l’herbier (RS, PS), avant (2002) et après travaux, une station impactée sable (IS-2005) et toutes les stations impactées vases sauf IM-2006 qui présentait une structure des communautés assez différente des autres, avec notamment une médiane granulométrique basse et une carence en hydrobies. Le second groupe de la n-MDS (à droite de la Figure 12) réunit toutes les stations impactées sable sauf IS-2005 (Figure 12, Tableau 2, Annexe 1).

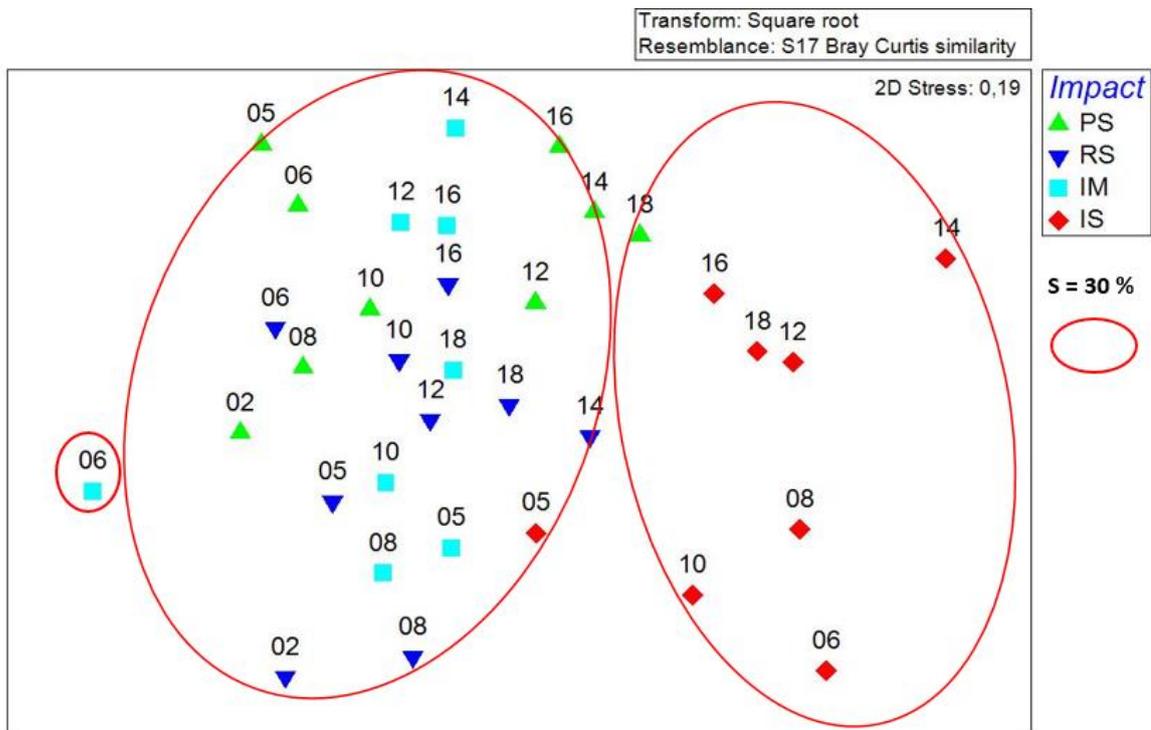


Figure 12 : n-MDS discriminant les peuplements benthiques de la zone intertidale avec un seuil de similarité de 30%. IM : zone impactée par la vase ; IS : zone impactée par le sable ; PS : zone témoin proche de la zone de perturbation ; RS : zone témoin éloignée de la zone de perturbation.

2.2.3. Indice biotique

L'évaluation de l'état de santé de la zone et son évolution dans le temps ont été évaluées à l'aide de l'indice multi-métrique d-MISS mis au point sur les herbiers du Bassin d'Arcachon (Figure 13). Cet indice repose sur la composition de la faune benthique à basse mer. Il apparaît globalement que les stations herbiers (RS et PS) répondent au statut écologique « élevé » ou « bon » depuis 2002, avec quelques incursions dans le « modéré ». Après 2 ans passés dans le statut « modéré », la zone impactée par la vase bascule dans les statuts « bon »

ou « élevé » à partir de 2008 mais repasse dans le « modéré » en 2014 et en 2016, avant de retourner « élevé » en 2018. La zone couverte de sable demeure depuis 2005 dans un état « modéré » à « mauvais » avec une très légère incursion dans le « bon » en 2010. Le statut est franchement dans « bon » en 2018 ce qui pourrait être lié à l'abondance des amphipodes exotiques. Cette évolution sera à suivre.

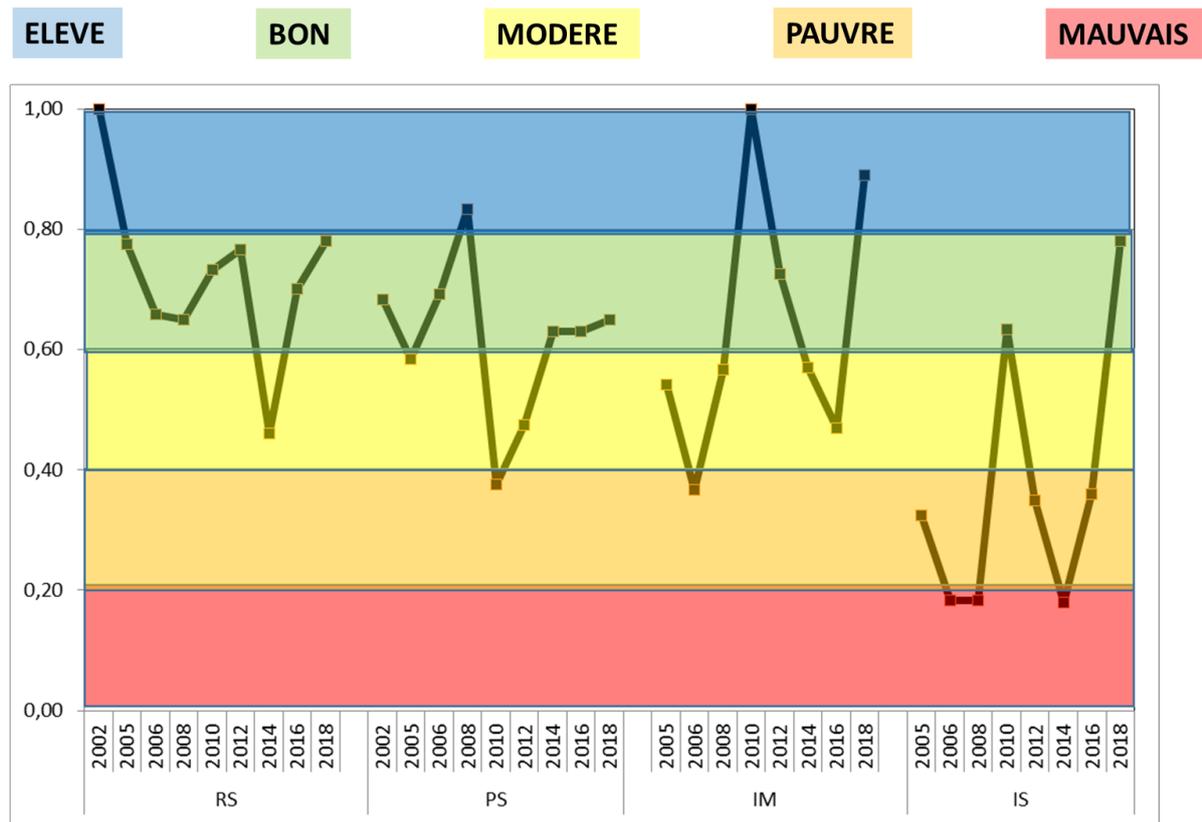


Figure 13 : Evolution de l'indice d-MISS au cours des années et en fonction des stations (RS et PS = herbiers ; IM = impacté par la vase ; IS = impacté par le sable) et traduction en termes de « qualité écologique ».

2.2.4. Impact des travaux sur les peuplements benthiques et leurs prédateurs

Le suivi *a posteriori* des travaux concerne l'herbier à *Zostera noltei* du site de la Dispute. Les comparaisons seront ici effectuées entre l'herbier de juin 2002 celui d'août 2018, et au sein d'août 2018 entre les prélèvements d'herbier et les prélèvements de sites recouverts par les sédiments, en distinguant recouvrement par vase et recouvrement par sable.

a Critères d'évaluation

Les critères d'appréciation sont très variés, et seront repris pour chaque zone sous forme de tableaux (Tableaux 3 à 5) :

- La nature des travaux (qui dans ce cas est du recouvrement d'herbiers par des sédiments), la superficie directement affectée, le calendrier d'exécution et la date de l'élaboration de l'état initial sont rappelés.
- Les modifications sédimentaires sont précisées, en mentionnant l'apparition d'herbiers (facteur positif pour l'écosystème) ou l'accumulation d'algues (facteur plutôt négatif).
- Les abondances des peuplements sont rappelées par groupe zoologique et sont comparées. Cette comparaison est faite par le test non paramétrique de Kolmogorov-Smirnov. 'ns', signifie l'absence de différence significative avec un risque de 5 % de se tromper, '*' signifie une différence significative avec un risque de 5 % de se tromper, '**' signifie une différence significative avec un risque de 1 % de se tromper, et '***' signifie une différence significative avec un risque de 0,1 % de se tromper.
- Les biomasses sont traitées comme les abondances. Elles serviront à estimer les pertes en biomasse animale (le cas échéant) et les répercussions sur les réseaux trophiques supérieurs (production des prédateurs) calculées selon la méthode décrite dans Do et al. (2013).
- L'évolution de la diversité est analysée au travers de la richesse spécifique et des résultats de la n-MDS.
- L'apparition d'espèces exotiques (comme les crépidules) est recherchée.
- Enfin un avis est émis sur l'état de la restauration de l'environnement.

Par ailleurs, les caractères orange soulignent les paramètres encore éloignés des conditions initiales, tandis que les caractères bleus signifient que la restauration (ou l'objectif à atteindre) est (presque) atteinte pour un paramètre donné.

b Herbier non impacté à *Zostera noltei* : comparaison 2002-2018

La comparaison de la faune benthique de l'herbier non impacté entre 2002 et 2018, fait apparaître des situations moins contrastées quantitativement et qualitativement (Tableau 3)

que lors de la comparaison 2014 (de Montaudouin *et al.*, 2015). Alors que la structure du peuplement est assez similaire à celle de 2002, on note une diminution de l'abondance (-38%) due en partie aux mollusques, de la richesse spécifique (-17%) alors que les valeurs de biomasse sont proches entre les 2 années. Ces résultats sont concordants avec une analyse récente comparant l'évolution de la macrofaune benthique en liaison avec le déclin des herbiers (Do *et al.*, 2013). Deux espèces exotiques récentes sont présentes (et abondantes) : les crustacés amphipodes *Grandidiriella japonica* (identifié pour la première fois dans le bassin en 2006 (Tableau 2) mais sans doute mal identifié avant) (Lavesque *et al.*, 2014) et *Aoroides semicurvatus* (Gouillieux *et al.*, 2016). La moule verte (ou moule asiatique) *Arcuatula senhousia* récemment signalée dans l'ensemble du bassin (Bachelet *et al.*, 2009) était présente en 2014 mais pas ici en 2016. Cependant : 1) cette espèce est retrouvée sur les quatre stations ; et 2) la présence ici n'a pas de lien évident avec les travaux de Dispute, car elle n'est apparue qu'en 2006.

Herbier à <i>Z. noltei</i> 2002 vs 2018 (Dispute)		
TRAVAUX	Type de travaux	Recouvrement par sables fins: hors zone
	Superficie travaux (m ²)	
	Période des travaux	Janvier-Mars 2005
	Etat initial	juin-02
	Dernière expertise	août 2018
SEDIMENTS	Médiane (µm)	157-167µm
	Macroalgues	
	Herbiers	Absent
	Teneur en matière organique (%)	6-7
ABONDANCE PEUPEMENTS	Evolution annélides	2550 -> 2033-> 5506 -> 2833-> 3889 -> 3656 -> 1178 -> 4306 -> 1461 ind. m ⁻² , ns
	Evolution mollusques	8372 -> 1722 -> 1522 -> 6372 -> 2500 -> 739 -> 1422 -> 1589 ind. m ⁻² , *
	Evolution crustacés	844 -> 333 -> 461 -> 139 -> 233 -> 344 -> 203 -> 1139 -> 1261 ind. m ⁻² , ns
	Evolution faune totale	11806 -> 4111 -> 7594 -> 9350 -> 6778 -> 6567 -> 2161 -> 6961 -> 4494 ind. m ⁻² , *
BIOMASSE PEUPEMENTS	Evolution annélides	2,77 -> 3,36 -> 5,53 -> 4,19 -> 4,74 -> 5,71 -> 2,02 -> 2,98 -> 2,47 gpssc m ⁻² , ns
	Evolution mollusques	8,36 -> 11,10 -> 15,18 -> 37,57 -> 59,48 -> 10,20 -> 1,44 -> 30,13 -> 9,24 gpssc m ⁻² , ns
	Evolution crustacés	0,25 -> 0,37 -> 0,20 -> 0,08 -> 0,15 -> 0,08 -> 0,41 -> 0,12 -> 0,17 gpssc m ⁻² , ns
	Evolution faune totale	11,11 -> 15,37 -> 21,66 -> 41,84 -> 64,40 -> 16,02 -> 3,89 -> 33,29 -> 12,14 gpssc m ⁻² , ns
	Perte biomasse (kgPSSC)	sans objet
	Perte biomasse (kgC)	sans objet
	Perte production secondaire annuelle (kgC an ⁻¹)	sans objet
	Perte production prédateurs annuelle (kgC an ⁻¹)	sans objet
	Perte production prédateurs annuelle (TPF an ⁻¹)	sans objet
DIVERSITE	Evolution faune totale	47->54-> 57 ->39 ->48 ->41 -> 33 -> 42 -> 39 espèces
	Similarité des communautés (MDS-seuil de 30%)	Oui
	Apparition espèces exotiques	<i>Arcuatula senhousia</i> (2006-14, 2018), <i>Grandidiriella japonica</i> (2012-18), <i>Aoroides semicurvatus</i> (2016)
EVOLUTION		DEFICIT QUANTITATIF

Tableau 3 : Synthèse des éléments pris en compte pour estimer l'évolution de l'herbier non impacté. Les valeurs sont comparées (mois d'août uniquement) : 2002 -> 2005-> 2006 -> 2008 -> 2010 ->2012 -> 2014 -> 2016 -> 2018. Les caractères orange soulignent les paramètres encore éloignés des conditions initiales ou d'un état d'équilibre, tandis que les caractères bleus signifient que la situation est restée stable pour un paramètre donné. 'ns' signifie aucune différence significative avec un risque de 5 % de se tromper, '**' signifie une différence significative avec 1% de risque de se tromper, '***' signifie une différence significative avec 0,1% de risque de se tromper.

c Herbier à *Zostera noltei* vs zone impactée par vase (août-2018)

Sur les 30 ha impactés au départ, on estime que la partie recouverte par les fractions fines représente (du moins en 2018) environ 97 %, soit 29 ha.

Les résultats de 2018 font apparaître une restauration à un niveau convenable, que ce soit en termes de couverture végétale par l’herbier ou de faune associée (Tableau 4). Cette station (IM) est la seule en effet à posséder un herbier, mais il est à noter que le % de couverture qui était de 73% en 2016 n’était plus que de 43% en 2018. Le pic d’abondance noté en 2018 est à 77% lié à deux espèces, l’annélide *Melinna palmata* et le gastéropode *Hydrobia ulvae*. Il faut cependant remarquer que la zone témoin (RS + PS) est dans un état préoccupant (Tableau 3), ce qui rend les comparaisons délicates.

Herbier à <i>Z. noltei</i> (2018) détruit par VASE (2018) (Dispute)		
TRAVAUX	Type de travaux	Recouvrement par sables fins
	Superficie travaux (m ²)	290 000
	Période des travaux	Janvier-Mars 2005
	Etat initial	juin-02
	Dernière expertise	Août 2018
SEDIMENTS	Médiane (µm)	152
	Macroalgues	
	Herbiers	Colonisation (43%)
	Teneur en matière organique (%)	3
ABONDANCE PEULEMENTS	Impact sur les annélides	1178 -> 3978 -> 5878 -> 8533 ind. m ⁻² , **
	Impact sur les mollusques	739 -> 844 -> 2867 -> 3333 ind. m ⁻² , ns
	Impact sur les crustacés	203 -> 67 -> 167 -> 500 ind. m ⁻² , ns
	Impact sur la faune totale	2161 -> 4867 -> 9267 -> 13056 ind. m ⁻² , **
BIOMASSE PEULEMENTS	Impact sur les annélides	2,02-> 10,22 -> 10,77 -> 18,91 gpssc m ⁻² , **
	Impact sur les mollusques	1,45 -> 7,81 -> 15,48 -> 3,90 -> gpssc m ⁻² , ns
	Impact sur les crustacés	0,41 -> 0,04 -> 0,05 -> 1,53 gpssc m ⁻² , ns
	Impact sur la faune totale	3,89 -> 18,07 -> 26,47 -> 25,31 gpssc m ⁻² , ns
	Perte biomasse (kgPSSC)	sans objet
	Perte biomasse (kgC)	sans objet
	Perte production secondaire annuelle (kgC an ⁻¹)	sans objet
	Perte production prédateurs annuelle (kgC an ⁻¹)	sans objet
	Perte production prédateurs annuelle (tPF an ⁻¹)	sans objet
DIVERSITE	Impact sur la faune totale	33 -> 17 -> 30 -> 35 espèces
	Similarité des communautés (MDS-seuil de 25%)	Oui
	Apparition espèces exotiques	<i>Arcuatula senhousia</i> (2012-16), <i>Grandidiella japonica</i> (2012-18)
RESTAURATION		Proche état initial

Tableau 4 : Synthèse des éléments pris en compte pour estimer l’état de restauration du site. Les valeurs sont comparées : herbier 2018 -> herbier recouvert par vase (2018). Les caractères orange soulignent les paramètres encore éloignés des conditions initiales ou d’un état d’équilibre, tandis que les caractères bleus signifient que la restauration est (presque) atteinte pour un paramètre donné. ‘ns’ signifie aucune différence significative avec un risque de 5 % de se tromper, ‘**’ signifie une différence significative avec 1% de risque de se tromper, ‘***’ signifie une différence significative avec 0,1% de risque de se tromper.

d Herbier à *Zostera noltei* vs zone impactée par sable (août-2018)

Herbier à <i>Z. noltei</i> détruit (2018) par SABLE (2018) (Dispute)		
TRAVAUX	Type de travaux	Recouvrement par sables fins
	Superficie travaux (m ²)	10 000
	Période des travaux	Janvier-Mars 2005
	Etat initial	juin-02
	Dernière expertise	Août 2018
SEDIMENTS	Médiane (µm)	187
	Macroalgues	
	Herbiers	Détruit
	Teneur en matière organique (%)	2
ABONDANCE PEUPEMENTS	Impact sur les annélides	178 -> 311 ind -> 667 -> 322 ind. m ⁻² , ns
	Impact sur les mollusques	739 -> 67 -> 78 -> 267 ind. m ⁻² , ns
	Impact sur les crustacés	203 -> 311 -> 589 -> 3178 ind. m ⁻² , ns
	Impact sur la faune totale	2161 -> 667 -> 1367 -> 3883 ind. m ⁻² , ns
BIOMASSE PEUPEMENTS	Impact sur les annélides	2,02-> 3,05 -> 1,71 -> 1,68 gpssc m ⁻² , ns
	Impact sur les mollusques	1,45 -> 0,66 -> 0,50 -> 7,02 gpssc m ⁻² , ns
	Impact sur les crustacés	0,41 -> 0,19 -> 0,10 -> 0,40 gpssc m ⁻² , ns
	Impact sur la faune totale	3,89 -> 3,63 -> 2,33 -> 9,14 gpssc m ⁻² , ns
	Perte biomasse (kgPSSC)	242
	Perte biomasse (kgC)	121
	Perte production secondaire annuelle (kgC an ⁻¹)	302
	Perte production prédateurs annuelle (kgC an-1)	45
	Perte production prédateurs annuelle (tPF an-1)	1
DIVERSITE	Impact sur la faune totale	33 -> 15 -> 23 -> 19 espèces
	Similarité des communautés (MDS-seuil de 25%)	Non
	Apparition espèces exotiques	<i>Arcuatula senhousia</i> (2018), <i>Grandidiella japonica</i> (2012-18)
RESTAURATION		NON

Tableau 5 : Synthèse des éléments pris en compte pour estimer l'état de restauration du site. Les valeurs sont comparées : herbier 2018 -> herbier recouvert par sable (2018). Les caractères orange soulignent les paramètres encore éloignés des conditions initiales ou d'un état d'équilibre, tandis que les caractères bleus signifient que la restauration est (presque) atteinte pour un paramètre donné. 'ns' signifie aucune différence significative avec un risque de 5 % de se tromper, '**' signifie une différence significative avec 1% de risque de se tromper, '***' signifie une différence significative avec 0,1% de risque de se tromper.

La surface impactée concerne 1-1,5 ha. Cependant, la surface de la souille n'est pas prise en compte ici car aucun espoir de recolonisation n'existe actuellement. Les comparaisons sont effectuées entre l'herbier témoin (RS + PS) et la zone sableuse, en août 2018 (Tableau 5). L'impact des travaux sur les peuplements est pour la première fois quantitativement négligeable, alors qu'il était très net les années précédentes. Cependant, cela est principalement lié à une abondance très élevée de l'amphipode exotique *Grandidiella japonica* qui représente 63% de l'abondance totale (Tableau 2). Qualitativement, le peuplement benthique de cette zone (IS) reste bien différent de celui des autres sites (RS, PS et IM) (Figure 12). La faible zone concernée et la perte négligeable de biomasse engendre une

perte de production de prédateurs négligeable (1 t/an). La perte de richesse spécifique est importante.

3. Conclusion

Onze ans après les travaux, la tendance observée en 2010 se confirme, c'est-à-dire un retour à des conditions proches de « la normale » pour la zone impactée par la vase et un statut toujours assez perturbé (dans le sens « différent de l'état initial ») dans la petite zone de dépôt de sable. Cependant, dans ce dernier cas, la ségrégation des stations IS par rapport aux autres n'est que qualitative, biomasse et abondance étant proches de l'état initial. La structure des peuplements est nettement différente et IS se distingue notamment par une dominance d'un amphipode exotique.

L'observation la plus troublante (déjà amorcée en 2012) est finalement le fait que la couverture de l'herbier est plus dense dans la zone « IM » (impactée vase) que dans les zones herbiers témoins (PS et RS) où il a totalement disparu en 2016. Aucune interprétation n'est proposée, mais il faut préciser que cette étude se fait toujours dans un contexte de dégradation générale de l'herbier dans le bassin d'Arcachon (Plus et al. 2010), ce qui rend globalement plus difficile de discerner l'impact vraiment lié aux travaux. La similarité des résultats (n-MDS) entre la station proche de la zone impactée (PS), la zone éloignée (RS) et la zone impactée par la vase (IM) montre l'effet finalement peu structurant de l'herbier pour la macrofaune endogée (Cottet *et al.*, 2007). C'est donc vraisemblablement plus la qualité du sédiment que la qualité de l'eau qui est le facteur clef sur cette zone. Cependant, la perte d'herbier a certainement un impact très fort sur la faune épigée vagile (non étudiée ici) (Edgar, 1999; Mattila *et al.*, 1999).

Concernant les 30 ha impactés par le dépôt de sédiments, après un long *statu quo*, on observe donc depuis 2012 des modifications qui nous obligent à considérer deux situations bien tranchées : d'une part une zone recouverte par le sable (1-1,5 ha) et d'autre part une zone de panache où l'herbier a été recouvert par les éléments fins (29 ha) issus du creusement de la souille. Sur la zone sableuse, l'impact est très fort, surtout au niveau qualitatif (identité des espèces, dominances). Quelques très rares tâches d'herbier, de quelques cm de diamètre ont été vues en 2010, sans évolution notable en 2016 ou 2018. La tâche sableuse a sensiblement augmenté en surface depuis 2016.

Il apparaît donc que l'opération Dispute pose finalement plus de problème au niveau du dépôt de la fraction sableuse. Ce constat a été fait à de nombreuses reprises sur le bassin : à chaque

fois qu'il nous a été demandé de qualifier la macrofaune sur ces placages sableux issus d'opérations de dragages (de Montaudouin & Gouillieux, 2007; de Montaudouin *et al.*, 2010), la conclusion a été que ces habitats restent très pauvres, même avec le temps, comme si la faune avait du mal à s'installer dans cette situation de paradoxe entre un hydrodynamisme faible et un sédiment sableux. Il apparaît d'ailleurs que le déclin de nos stations RS et PS s'accompagne en 2014 puis en 2016-18 d'une augmentation de la médiane granulométrique. La qualification de la « santé » des habitats de Dispute par des indices biotiques avait fait l'objet d'un programme national (Programme LITEAU 2, Projet QuaLiF). Les publications issues de ses études ont montré que ces indices biotiques classiques (AMBI, BOPA, BENTIX) ne fonctionnaient pas bien dans ce contexte. D'une part, ces indices calculés sur une même base de données ne répondent pas entre eux de la même manière ; et d'autre part, certains indices ne perçoivent pas les modifications liées au recouvrement par les sédiments (Blanchet *et al.*, 2008). Le message qui peut être rendu est donc brouillé. Un nouvel indice, MISS, avait donc été proposé (Lavesque *et al.*, 2009), puis simplifié dans sa version d-MISS (Do *et al.*, 2012). Si on ne connaît pas encore sa robustesse hors bassin d'Arcachon, il semble assez fiable pour l'exercice d'estimation des modifications d'habitats au sein du site de Dispute.

Au vu des résultats tranchés entre les différents secteurs et dans un contexte à la fois de gestion de l'ostréiculture et de préservation des habitats, nous recommandons un suivi bisannuel de la zone (avec une prochaine programmation pour l'été 2020).

4. Références bibliographiques

- Auby I. and Labourg P.-J.** (1996) Seasonal dynamics of *Zostera noltii* Hornem in the Bay of Arcachon (France). *Journal of Sea Research*, 35(4), 269-277.
- Bachelet G., Blanchet H., Cottet M., Dang C., de Montaudouin X., de Moura Queirós A., Gouillieux B. and Lavesque N.** (2009) A round-the-world tour almost completed: first records of the invasive mussel *Musculista senhousia* in the North-east Atlantic (southern Bay of Biscay). *Marine Biodiversity Records*, 2, 1-4.
- Binias C., Do V.T., Jude-Lemeilleur F., Plus M., Froidefond J.M. and de Montaudouin X.** (2014) Environmental factors contributing to the development of Brown Muscle Disease and perkinsosis in Manila clams (*Ruditapes philippinarum*) and trematodiasis in cockles (*Cerastoderma edule*) of Arcachon Bay. *Marine Ecology*, 35(Suppl.), 67-77.
- Blanchet H., Lavesque N., Ruellet T., Dauvin J.-C., Sauriau P.-G., Desroy N., Desclaux C., Leconte M., Bachelet G., Janson A.-L., Bessineton C., Duhamel S., Jourde J., Mayot S., Simon S. and de Montaudouin X.** (2008) Use of biotic indices in semi-enclosed coastal ecosystems and transitional waters habitats - Implications for the implementation of the European Water Framework Directive. *Ecological Indicators*, 8, 360-372.
- Cottet M., de Montaudouin X., Blanchet H. and Lebleu P.** (2007) *Spartina anglica* eradication experiment and *in situ* monitoring assess structuring strength of habitat complexity on marine macrofauna at high tidal level. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 71(4), 629-640.
- de Montaudouin X.** (2003) Réflexions complémentaires au rapport sur l'agrandissement de la souille de Dispute. *Laboratoire d'Océanographie Biologique - Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon*, 1-5.
- de Montaudouin X., Binias C. and Lavesque N.** (2010) Aménagement d'une jetée à Andernos-Les-Bains: état initial des communautés benthiques, impact. *SOGREAH - UMR EPOC*, 23.
- de Montaudouin X., Binias C., Vernet B. and Lavesque N.** (2011a) Rapport final - Nettoyage des parcs ostréicoles du Banc de la Matelle : étude d'impact après travaux (2010 = t+5 ans). *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-40.
- de Montaudouin X., Blanchet H. and Lebleu P.** (2002a) Nettoyage des parcs ostréicoles du Banc de la Matelle : état initial des communautés benthiques, impact. *Laboratoire d'Océanographie Biologique - Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon*, 1-42.
- de Montaudouin X., Blanchet H., Lebleu P., Escaravage C. and Mercier N.** (2002b) Agrandissement de la souille de Dispute : état initial des communautés benthiques, impact. *Laboratoire d'Océanographie Biologique - Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon*, 1-19.

- de Montaudouin X., Cottet M., Blanchet H. and Lebleu P.** (2005a) Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques - Réhabilitation de l'ancienne souille. *Laboratoire d'Océanographie Biologique - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-21.
- de Montaudouin X., Cottet M., Lavesque N., Blanchet H. and Lebleu P.** (2006a) Nettoyage des parcs ostréicoles du Banc de la Matelle : étude d'impact après travaux. *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-45.
- de Montaudouin X., Cottet M. and Lebleu P.** (2005b) Nettoyage des parcs ostréicoles du Banc de la Matelle : étude d'impact après travaux. *Laboratoire d'Océanographie Biologique - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-31.
- de Montaudouin X., Desurmont C., Lavesque N. and Gouillieux B.** (2017) Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques (2016 : + 11 ans). *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-31.
- de Montaudouin X., Do V.T., Lavesque N. and Blanchet H.** (2011b) Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques (2010 : + 5 ans). *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-38.
- de Montaudouin X., Do V.T., Lavesque N. and Blanchet H.** (2013a) Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques (2012 : + 7 ans). *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-29 + annexes.
- de Montaudouin X. and Gouillieux B.** (2007) Refoulement de sédiments sur l'estran et/ou le chenal de Gujan-Mestras : état initial des communautés benthiques, impact. *UMR 5805, Station Marine d'Arcachon - SOGREAH*, 1-21.
- de Montaudouin X., Lavesque N. and Blanchet H.** (2008) Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques (+ 15 mois). *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon*, 1-28.
- de Montaudouin X., Lavesque N., Fouque P.-E., Cottet M., Blanchet H. and Lebleu P.** (2006b) Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques (+ 8 mois). *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-28.
- de Montaudouin X., Nadau A., Blanchet H., Lavesque N. and Gouillieux B.** (2009) Nettoyage des parcs ostréicoles du Banc de la Matelle : étude d'impact après travaux (t+3ans). *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-37.
- de Montaudouin X., Pescay R., Gouillieux B. and Lavesque N.** (2015) Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques (2014 : + 9 ans). *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-31.
- de Montaudouin X., Simonet E. and Lavesque N.** (2013b) Impact du creusement de la nouvelle souille de Dispute sur les peuplements benthiques (2012: + 7 ans). *Station Marine d'Arcachon - Syndicat Mixte du Bassin d'Arcachon*, 1-29.

- Do V.T., Blanchet H., de Montaudouin X. and Lavesque N.** (2013) Limited consequences of seagrass decline on benthic macrofauna and associated biotic indicators. *Estuaries and Coasts*, 36, 795-807.
- Do V.T., de Montaudouin X., Blanchet H. and Lavesque N.** (2012) Seagrass burial by dredged sediments: benthic community alteration, secondary production loss, biotic index reaction and recovery possibility. *Marine Pollution Bulletin*, 64(11), 2340-2350.
- Edgar G.J.** (1999) Experimental analysis of structural versus trophic importance of seagrass beds. II. Effects on fishes, decapods and cephalopods. *Vie et Milieu-Life and Environment*, 49(4), 249-260.
- Gouilleux B., Lavesque N., Leclerc J.C., Le Garrec V., Viard F. and Bachelet G.** (2016) Three non-indigenous species of Aoroides (Crustacea: Amphipoda: Aoridae) from the French Atlantic coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(8), 1651-1659.
- Lavesque N., Blanchet H. and de Montaudouin X.** (2009) Development of a multimetric approach to assess perturbation of benthic macrofauna in *Zostera noltii* beds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 368, 101-112.
- Lavesque N., Gouilleux B., de Montaudouin X., Bachelet G., Bonifacio P. and Simonet E.** (2014) Premier signalement de l'espèce introduite *Grandidiriella japonica* Stephensen, 1938 (Crustacea : Amphipoda : Aoridae) dans le bassin d'Arcachon. *An aod*, 3, 11-19.
- Mattila J., Chaplin G., Eilers M.R., K.L. Heck J., O'Neal J.P. and Valentine J.F.** (1999) Spatial and diurnal distribution of invertebrate and fish fauna of a *Zostera marina* bed and nearby unvegetated sediments in Damariscotta River, Maine (USA). *Journal of Sea Research*, 41, 321-332.
- Plus M., Dalloyau S., Trut G., Auby I., de Montaudouin X., Emery E., Claire N. and Viala C.** (2010) Long-term evolution (1988-2008) of *Zostera* spp. meadows in Arcachon Bay (Bay of Biscay). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 87, 357-366.
- Scourzic T., Loyen M., Fabre E., Tessier A., Dalias N., Trut G., Maurer D. and Simonnet B.** (2011) Evaluation du stock d'huîtres sauvages et en élevage dans le Bassin d'Arcachon. *Agence des Aires Marines Protégées & OCEANIDE*, 70.

Annexe 1

Liste faunistique 2018 (ind/m²). IM : impacté par la vase, IS : impacté par le sable, PS : herbier près de la zone de travaux, RS : herbier loin de la zone de travaux.

	IM	IS	PS	RS
<i>Abra segmentum</i>	200	56	167	256
<i>Acanthocardia tuberculata</i>	0	0	22	11
<i>Ampelisca brevicornis</i>	0	167	44	0
Anthozoa	644	44	211	78
<i>Aphelochaeta marioni</i>	133	44	422	189
<i>Arcuatula senhousia</i>	0	11	22	0
<i>Bittium reticulatum</i>	111	22	0	11
<i>Capitella minima</i>	11	0	0	0
<i>Carcinus maenas</i>	44	11	11	11
<i>Cerastoderma edule</i>	67	67	11	44
<i>Corophium</i> sp	22	456	478	0
<i>Crangon crangon</i>	0	0	0	22
<i>Cyathura carinata</i>	22	44	0	44
<i>Diopatra</i> spp	44	0	11	11
<i>Euclymene oerstedii</i>	44	0	133	0
<i>Galathowenia oculata</i>	22	0	56	0
<i>Glycera</i> spp.	67	33	133	44
<i>Grandidierella japonica</i>	400	2411	1567	189
<i>Haminoea navicula</i>	11	0	0	0
<i>Heteromastus filiformis</i>	478	11	156	144
<i>Iphinoe</i> sp	0	0	11	0
<i>Leiopygos leiopygos</i>	144	178	567	100
<i>Littorina littorea</i>	11	0	0	0
<i>Loripes orbiculatus</i>	0	0	44	0
<i>Melinna palmata</i>	7267	0	0	622
<i>Mysida</i>	0	0	0	11
<i>Mysta picta</i>	33	0	0	0
<i>Mytilus</i> sp	11	0	0	11
Neirididae	11	0	0	0
Nemertea	44	0	11	22
<i>Nephtys hombergii</i>	22	56	22	33
<i>Nereis diversicolor</i>	0	0	0	67
<i>Notomastus latericeus</i>	0	0	67	33
<i>Oligochaeta</i>	22	0	0	0
<i>Owenia fusiformis</i>	11	0	11	0
<i>Peringia ulvae</i>	2867	67	22	2267
<i>Perioculodes longimanus</i>	0	0	33	0
Platyhelminthes	0	22	0	44
<i>Pseudopolydora</i> sp	22	0	11	22
<i>Pygospio elegans</i>	33	0	0	0
<i>Ruditapes philippinarum</i>	22	44	111	22
<i>Solen marginatus</i>	22	0	122	22
Sphaeromatidae	11	89	78	22
<i>Steromphala umbilicalis</i>	11	0	11	0
<i>Streblospio shrubsolii</i>	156	0	33	0
<i>Tubificoides benedii</i>	11	0	0	33