

SAR-LAB

Site Atelier de Restauration écologique de la Lagune du Brusco

RAPPORT SCIENTIFIQUE

1^{ère} Phase : 2017-2018



Projet SAR-LAB

Site Atelier de Restauration écologique Lagune du Brusc

Rapport intermédiaire. Phase 2017 - 2018

Porteur du projet :

Institut océanographique Paul Ricard

Responsable scientifique :

Jean-Luc Bonnefont

Mission terrain :

Aurélie Vion ; Damien Kirchhofer ; Sylvain Couvray ; Rémy Simide

Traitement des données :

Sylvain Couvray ; Rémy Simide

Rédaction :

Sylvain Couvray ; Rémy Simide ; Damien Kirchhofer

Ce document doit être cité comme suit :

Couvray S., Simide R., Kirchhofer D., Vion A., Bonnefont J-L., 2020 - Projet SAR-LAB. Site Atelier de Restauration écologique Lagune du Brusc. Rapport intermédiaire. Phase 2017 – 2018. 140p.

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	6
1.1. CONTEXTE	6
1.2. RESTAURATION ECOLOGIQUE : CONCEPT ET DEFINITIONS.....	6
1.3. PRESENTATION DU PROGRAMME SARLAB.....	9
1.3.1 Études et réflexions préliminaires	9
1.3.2 Programme de restauration écologique.....	10
2. DYNAMIQUE ET FONCTIONNEMENT DE LA LAGUNE DU BRUSC	14
2.1. CONTEXTE	14
2.1.1 La lagune du Brusc	14
2.1.2 Protections et pressions anthropiques	14
2.1.3 Une dynamique et un fonctionnement fortement perturbé.....	15
2.2. CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DU SITE	16
2.3. ÉVOLUTION DE LA LAGUNE DU BRUSC.....	17
2.3.1 Les principales activités anthropiques.....	17
2.3.2 Les mesures de protection.....	22
2.4. LES HERBIERS DE MAGNOLIOPHYTES MARINES DE LA LAGUNE DU BRUSC	22
2.5. LE FONCTIONNEMENT ET LES FONCTIONS ECOLOGIQUES DE LA LAGUNE DU BRUSC.....	29
2.5.1 Bilan avant 2018	30
2.5.2 Caractérisation du site en 2018 et discussion	31
2.6. CONCLUSION.....	54
3. REHABILITATION ECOLOGIQUE DE LA FONCTION DE NURSERIE DE POISSONS DANS LES PORTS DU BRUSC ET DES EMBIEZ.	55
3.1. INTRODUCTION.....	55
3.2. REHABILITATION ECOLOGIQUE DE LA FONCTION DE NURSERIE DE POISSONS DANS LE PORT DU BRUSC	57
3.2.1 Contexte	57
3.2.2 Action de réhabilitation de la fonction nurserie	58
3.2.3 Suivis écologiques.....	59
3.3. REHABILITATION ECOLOGIQUE DE LA FONCTION DE NURSERIE DE POISSONS DANS LE PORT ST-PIERRE DES EMBIEZ	72
3.3.1 Contexte	72
3.3.2 Action de réhabilitation de la fonction nurserie	73
3.3.3 Suivis écologiques.....	74
3.4. CONCLUSION.....	80
4. REHABILITATION ECOLOGIQUE DE LA FONCTION DE NURSERIE DE POISSONS DE L'ANCIEN PARC MYTILICOLE	82
4.1. INSTALLATION DE MICRO-HABITAT NURSERIE	82
4.2. SUIVIS ECOLOGIQUES	83
4.3. RESULTATS ET DISCUSSION	84
4.4. CONCLUSION.....	87
5. RESTAURATION ECOLOGIQUE D'UN HERBIER DE CYMODOCEA NODOSA DANS LA LAGUNE DU BRUSC	88
5.1. INTRODUCTION.....	88
5.2. OPERATION DE TRANSPLANTATION DE CYMODOCEE DANS LA LAGUNE DU BRUSC	89
5.3. SUIVI DES HERBIERS TRANSPLANTES	92
5.3.1 Matériel et méthode	92
5.3.2 Résultats et discussion.....	92

5.4.	SUIVIS DES PEUPEMENTS ICHTYOLOGIQUES	95
5.4.1	<i>Matériel et méthode</i>	95
5.4.2	<i>Résultat et discussion</i>	96
5.5.	CONCLUSION.....	100
6.	REAFFECTATION DES ANCIENS MARAIS SALANTS DES EMBIEZ	102
6.1.1	<i>Contexte</i>	102
6.1.2	<i>Descriptif des actions préliminaires à la phase de travaux</i>	104
6.1.3	<i>Détermination de l'ouvrage pour la reconnexion des masses d'eau</i>	107
6.1.4	<i>Autorisations réglementaires</i>	108
6.1.5	<i>Perspectives</i>	108
7.	ACTIONS DE COMMUNICATION	109
7.1.	PANNEAUX DE COMMUNICATION	109
7.2.	INTERVENTIONS ET CONFERENCES	110
7.3.	INTERVENTIONS AVEC DES SCOLAIRES	111
7.4.	ARTICLES DE PRESSE.....	112
8.	CONCLUSION GENERALE	113
9.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	116
10.	ANNEXES.....	120

1. Introduction

1.1. Contexte

Dans un contexte global de perturbations anthropiques toujours croissantes des écosystèmes côtiers et marins, des mesures de gestion et de protection de ces milieux ont été mises en place sur l'ensemble de la façade méditerranéenne. Cependant, pour certains écosystèmes sévèrement et historiquement impactés, limiter les pressions et assurer la non-dégradation du milieu ne suffit pas à leur donner les capacités de régénération qui seront garantes du maintien futur de leurs fonctions écologiques, et par conséquent d'un bon état durable des eaux et du milieu. L'orientation des dernières directives européennes, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) puis la Directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin » (DCSMM), en fixant l'objectif d'atteindre le bon état écologique des eaux à l'horizon 2020, traduit cette volonté de dépasser les dynamiques acquises de gestion et de protection. L'action directe sur le milieu peut donc s'avérer nécessaire pour assister un écosystème dans son rétablissement ou sa régénération. La mise en place de ces actions, qui constituent la restauration écologique dans son sens global, assure un complément essentiel aux mesures de gestion et de protection. La restauration écologique fait alors pleinement partie des stratégies qui concourent à l'atteinte du bon état écologique des eaux.

C'est pourquoi, dès 2012, engager la restauration de la moitié des sites présentant des habitats naturels dégradés a été défini comme l'un des objectifs environnementaux particuliers du Plan d'action pour le milieu marin de Méditerranée (PAMM), outil de transposition en droit français de la DCSMM. L'élaboration d'un document stratégique de façade pour la restauration écologique constitue la mesure M035-MED2 du programme de mesures, cinquième et dernier volet du Plan d'action pour le milieu marin de Méditerranée occidentale.

Dans cette optique, une des mesures programmées par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse consiste à mettre en place des sites ateliers voués à des opérations de R&D et de restauration écologique à une échelle significative. De par son caractère patrimonial et ses forts enjeux écologiques, des diverses pressions anthropiques sur la zone, le site de la Lagune du Brusca a été identifié comme site atelier de restauration écologique. C'est l'ambition du programme SAR-LAB : Site Atelier de Restauration écologique de la Lagune du Brusca.

1.2. Restauration écologique : concept et définitions

Actuellement, la destruction des habitats est considérée comme la première cause de perte de biodiversité sur la planète. Les aires marines protégées (AMP) apparaissent de plus en plus comme un instrument privilégié de la gestion intégrée des zones côtières. Toutefois, les AMP ne représentent qu'une faible portion du linéaire côtier et ne suffisent pas à elles seules de maintenir une part substantielle des zones peu profondes en bon état écologique

(Bouchoucha, 2017 et bibliographie associée). Face à ce constat les programmes de restauration écologique peuvent être des compléments aux moyens de protection des écosystèmes en augmentant la superficie, la fonctionnalité et la connectivité entre les fragments des écosystèmes indigènes leur permettant d'assurer un flux durable des services et des produits écosystémiques (Mc Donald et al., 2016).

La **restauration écologique** est une action intentionnelle qui initie ou accélère l'auto-réparation d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit, en respectant sa santé, son intégrité et sa gestion durable (SER, 2004). La restauration écologique vise à « assister la régénération » d'un écosystème naturel ou semi-naturel plutôt que de lui imposer une nouvelle direction ou forme. C'est-à-dire que l'activité de restauration place un écosystème sur une trajectoire de rétablissement pour qu'il puisse persister et que ses espèces puissent s'adapter et évoluer (Mc Donald et al., 2016). En milieu marin, la restauration écologique peut aussi être définie comme « une action sur l'habitat marin, la faune ou la flore permettant d'améliorer le fonctionnement écologique, dans une zone littorale où la qualité de l'eau est bonne et où les pressions à l'origine de la dégradation ont disparu ou sont maîtrisées » (Boissery, 2014).

Le terme de restauration écologique est souvent confondu avec le terme de **réhabilitation écologique**. La réhabilitation écologique se sert des écosystèmes historiques ou préexistants comme références, mais les buts et stratégies des deux activités diffèrent. La réhabilitation insiste sur la réparation et la récupération des processus, et donc sur la productivité et les **services de l'écosystème**, tandis que la restauration vise également à rétablir l'intégrité biotique et abiotique préexistante, en termes de composition spécifique et de structure des communautés. (Bouchoucha, 2017).

La **réaffectation** correspond à la conversion d'un écosystème en un type différent d'écosystème ou d'aménagement, n'ayant pas pour objectif primaire la gestion conservatoire d'écosystèmes autochtones locaux (Aronson et al. 1993). Cette action ne va pas se baser sur une référence, mais sur un besoin sociétal. La dégradation de l'écosystème étant trop importante, on peut choisir de le modifier, afin de l'utiliser à d'autres fins que celles prévues initialement.

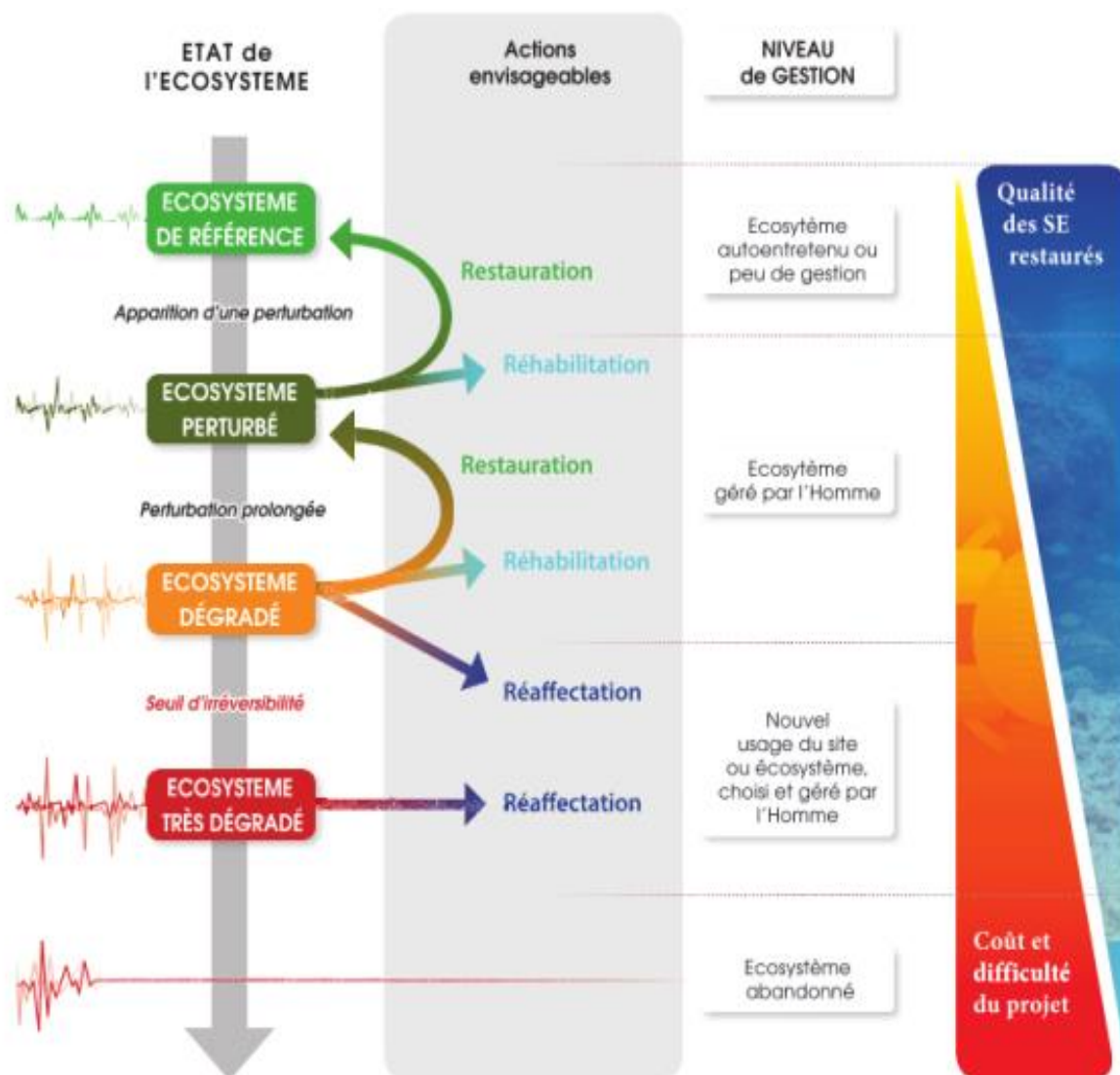


Figure 1: Les différents types de réponse/actions possibles suite à une dégradation d'un ou plusieurs écosystèmes. (LENFANT et al., 2015. Guide de Restauration écologique des petits fonds côtiers de Méditerranéen AERMC/CEFREM).

Des actions de réhabilitation ou de réaffectation peuvent être intégrées dans des programmes de restauration écologique en tant qu'actions restauratives dans des parties du site où la restauration de l'écosystème dégradé n'est pas possible ou pas souhaitée. Ces actions permettent d'améliorer des fonctions et services écosystémiques de ses zones (Figure 1).

Les petits fonds côtiers sont des zones de nurserie pour de nombreuses espèces de poissons côtiers. Une des clés du maintien de ces espèces et de ces stocks de poissons côtiers réside dans la préservation et la non dégradation de leurs zones de nourricerie (Bouchoucha, 2017). La fonction de nurserie apparaît donc comme une fonction écosystémique prioritaire à intégrer dans des opérations de restauration écologique en milieu marin côtier.

L'**habitat nurserie** répond à quatre critères (Beck et al, 2001) :

- Il offre une nourriture variée et adaptée aux espèces en présence ;
- Il constitue un habitat favorable à l'installation des post-larves en les protégeant des prédateurs et des pressions pendant leur période juvénile jusqu'à la taille refuge ;
- Il permet un environnement où les juvéniles grandissent plus vite et ont un meilleur taux de survie qu'ailleurs ;
- Sa localisation permet un déplacement naturel vers les habitats adultes.

1.3. Présentation du programme SARLAB

1.3.1 Études et réflexions préliminaires

L'Institut océanographique Paul Ricard mène depuis les années 70 des recherches sur le milieu marin méditerranéen, dont plusieurs dans la lagune du Brusc et plus largement autour de l'archipel des Embiez. Plus récemment, L'IOPR a contribué à la réalisation du DOCOB Natura 2000 Lagune du Brusc (Rouanet et al., 2009 ; Rouanet et al., 2010a, b) dans lequel a été réalisée une cartographie de l'état des habitats et biocénoses du site.

La lagune du Brusc se situe entre l'île des Embiez et le Brusc (commune de Six-Fours-les-Plages, Région PACA, France) (Figure 2). La surface de la lagune est de 44 hectares. Elle est partiellement fermée au Nord par un récif barrière de Posidonie et ouverte au Sud par deux passes peu profondes et de quelques mètres de largeur au niveau des îles du Gaou. La zone centrale de la lagune, constituée de sable vaseux de mode calme à affinité lagunaire, ainsi que les sables grossiers en bordure Nord de l'île du Grand Gaou étaient des zones recouvertes d'un important herbier de cymodocée (*Cymodocea nodosa*). En 2008, il recouvrait encore 16,5 ha puis il a rapidement régressé conduisant à sa disparition presque totale en 2011. Entre 2012 et 2014, des repousses éparées de *Cymodocea nodosa* et *Zostera nolti* ainsi qu'une extension des surfaces restantes ont été observées, laissant présager un retour de conditions favorables au développement des herbiers. Le pourtour de la lagune est fortement anthropisé, avec des activités multiples qui exercent une forte pression sur le site.

Ces observations ont motivé l'IOPR à réaliser le programme LANDAU (2014-2015) dont les objectifs étaient de caractériser le rôle de nurserie de la lagune du Brusc ainsi que de réaliser une expérimentation de transplantation de cymodocée. Ce programme a montré que le site de la Lagune du Brusc revêt une importance particulière pour de nombreuses espèces de poissons dans les premiers stades de vie. Malheureusement, du fait de la disparition presque totale des herbiers de Magnoliophytes, le site est actuellement très fortement dégradé en termes de capacité d'accueil concernant les différentes espèces de poissons rencontrées, limitant sa fonction de nurserie. L'expérimentation de transplantation de cymodocée a été effectuée sur des surfaces restreintes et avec un nombre de transplants limités par les autorisations afin de tester sa faisabilité technique. Les résultats de cette opération ont été encourageants puisque les faisceaux de cymodocée transplantés ont survécu (même à la saison hivernale suivante), se sont densifiés et ont commencé à coloniser les zones

adjacentes. Ces résultats ont démontré la faisabilité et l'efficacité de la transplantation de *Cymodocea nodosa* dans la lagune du Brusc.

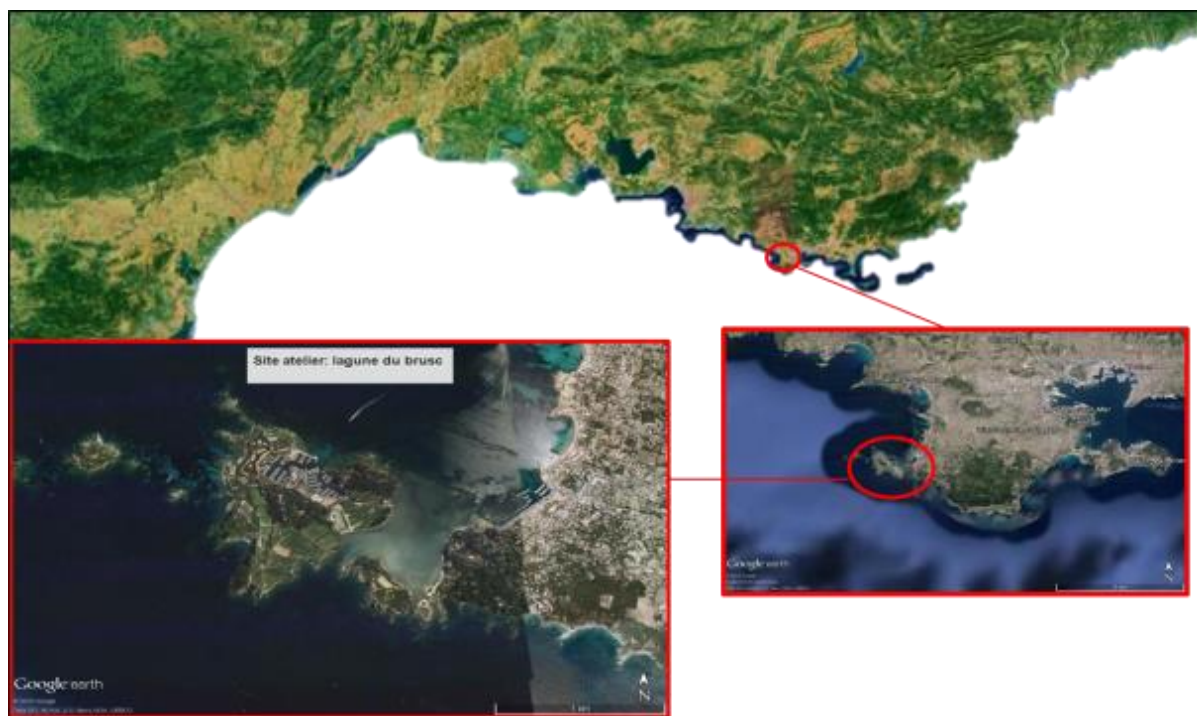


Figure 2 : localisation de la zone d'étude.

1.3.2 Programme de restauration écologique

À la suite des études réalisées sur le site de la lagune du Brusc et plus largement sur l'archipel des Embiez et le port du Brusc, et plus largement sur la thématique des « petits fonds côtiers de Méditerranée » il est donc apparu important de proposer un programme de restauration écologique de plus grande envergure. La conception de ce programme s'appuie sur les connaissances actualisées dans le domaine de la restauration écologique en milieu marins. C'est l'ambition du programme SAR-LAB : Site Atelier de Restauration écologique de la LAGune du Brusc. Ce programme de restauration écologique a pour objectif de réaliser un ensemble de mesures restauratives dans plusieurs zones avec des écosystèmes différents, plus ou moins dégradés. L'ensemble de ces actions restauratives permet ainsi d'agir sur un site à une échelle cohérente, tenant compte des interactions entre les écosystèmes naturels et anthropisés, ainsi que des activités humaines associées. (Figure 3 et tableau 1).

Lagune du Brusc : Typologie de dégradation des sites



Figure 3: Typologie de dégradation des sites.

Site	Ecosystème de référence	Etat actuel	Type d'action	Objectif
Saline des Embiez	Sable vaseux de mode calme à affinité lagunaire, herbier de phanérogames marines	Ecosystème de référence	Surveillance environnementale	Veiller au bon état de l'écosystème. Poursuite de l'acquisition de connaissance
Ports du Brusc et des Embiez	Roche infralittorale à algues photophiles et herbier de posidonie	Ecosystème très dégradé	Réhabilitation	Améliorer de la fonction de nurserie de poissons
Ancien parc à moules	Sable vaseux de mode calme à affinité lagunaire, herbier de phanérogames marines	Ecosystème dégradé/ très dégradé	Réhabilitation	Améliorer de la fonction de nurserie de poissons
Lagune du Brusc	Sable vaseux de mode calme à affinité lagunaire, herbier de phanérogames marines	Ecosystème dégradé	Restauration	Restaurer l'herbier de cymodocée
Anciens salins de l'île des Embiez	Marais salants	Ecosystème très dégradé	Réaffectation	Création d'un nouvel espace naturel intégrant un écosystème productif

Tableau 1: Caractérisation des différentes zones et actions de restauration écologique du programme SARLAB

Le choix de ce site est aussi argumenté par les mesures de gestion et de protection qui y sont déjà mises en place :

- La lagune du Brusc est intégrée dans le site Natura 2000 FR 9302001 - Lagune du Brusc.
- Ce site bénéficie de la labellisation Aire Spécialement Protégée d'Intérêt Méditerranéen (ASPIM) au titre de la convention de Barcelone.
- Il est aussi classée Zone Naturelle d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF n°83 004 000 « Le Brusc »).

Cette démarche globale inclut des actions sur différentes problématiques de restauration écologique telles que :

- La **réhabilitation** de la fonction de nurserie dans les ports des Embiez et du Bruscat par des aménagements artificiels qui permettent d'augmenter la capacité d'accueil pour les poissons et pallier l'absence d'habitat naturel.
- La **réhabilitation** de la fonction de nurserie dans l'ancien parc mytilicole de la lagune du Bruscat par l'installation de micro-récifs artificiels pour favoriser l'accueil de juvéniles de poissons.
- Des actions de **restaurations écologiques** des herbiers de cymodocée par des techniques de transplantation de Magnoliophytes marines pour accélérer la reconquête de ces herbiers.
- La **réaffectation** des anciens salins de l'île des Embiez, notamment par des travaux de réaménagement permettant une meilleure gestion des flux d'eau dans les bassins pour recréer des conditions favorables au développement d'un écosystème lagunaire.

La cible prioritaire de cette opération est l'amélioration de la fonction de nurserie de poissons côtiers. Plus largement, ses actions permettront aussi à terme d'augmenter le potentiel d'approvisionnement des stocks de poissons dans les zones adjacentes. Les bénéfices indirects sont multiples à la fois pour le fonctionnement des écosystèmes de la zone concernée mais aussi des zones adjacentes, ainsi que pour les activités économiques et culturelles qui y sont associées (pêche, plongée sous-marine, tourisme, qualité paysagère, valeur patrimoniale du site...).

Toutes ces actions font l'objet de suivis scientifiques pour en évaluer la bonne atteinte aux objectifs mais aussi pour acquérir des connaissances pour mieux comprendre le rôle de nurserie de poissons des milieux anthropisés (ports, anciens parc mytilicole). Le principal indicateur choisi dans la réalisation des suivis scientifiques pour évaluer la dynamique de restauration est la composition des communautés ichtyologiques, avec un focus sur la phase juvénile (Figure 4). Pour cela nous avons choisi d'utiliser deux méthodes d'échantillonnage différentes mais complémentaires basées sur des comptages visuels :

- Les comptages sur points fixes. Cette méthode est classiquement utilisée pour étudier le rôle de nurserie induit par des micro-récifs ou des habitats naturels. Cette méthode est plutôt adaptée pour des habitats à surface verticale et pour l'observation des juvéniles de poissons à leur plus jeune stade de vie. Lors de la mise en œuvre de cette méthode, l'observateur est relativement immobile pour ne pas effrayer les juvéniles de poissons, ce qui permet de prendre le temps de bien identifier les espèces présentes, ce qui est délicat pour certaines espèces au premier stade de vie juvénile. Pour la plupart des espèces, les juvéniles sont peu mobiles et restent sur la zone d'observation. Lorsque les individus sont plus grands (taille refuge) ils sont souvent plus mobiles et peuvent fuir devant l'observateur.

- Les comptages sur transects. Il s'agit d'une méthode classique pour étudier les communautés de poissons, particulièrement dans les petits fonds côtiers. Elle permet d'étudier la structuration des communautés de poissons adultes et juvéniles sur une surface pertinente au regard de l'habitat considéré. Cette méthode permet d'intégrer une notion de surface d'habitat dans la caractérisation et la compréhension du rôle de nurserie. Cette méthode permet de mieux prendre en compte les individus mobiles qui peuvent fuir devant l'observateur comme la plupart des poissons adultes ou les juvéniles de certaines espèces particulièrement mobiles comme les saupes (*Sarpa salpa*) ou les mulets (*Mugilidae*).



Figure 4: Comptage visuel en plongée dans le port du Brusc.

Les comptages sont réalisés 2 fois par mois, tous les mois et sur une durée d'au moins 2 ans à ce rythme.

Un travail de recherche est réalisé en parallèle concernant la compréhension de la dynamique de la lagune du Brusc d'un point de vue hydrologique et sédimentaire, de la dynamique de ces herbiers de Magnoliophytes et de ses peuplements de poissons.

Le programme SARLAB va donc dans le sens des objectifs de maintien et de restauration des habitats pour lequel le site a été désigné site Natura 2000, complémente les actions de gestion mises en place et servira de socle de connaissance pour ajuster les mesures de gestion.

Dans le cadre de la première phase du programme SAR-LAB, le présent rapport présente le déroulement des actions mises en place, les formalités administratives effectuées ainsi que des résultats préliminaires concernant la première année de suivis scientifiques.

2. Dynamique et fonctionnement de la lagune du Brusc

2.1. Contexte

2.1.1 La lagune du Brusc

La lagune du Brusc est un milieu remarquable et unique sur le littoral méditerranéen français. En effet, cet espace lagunaire est formé par un grand récif barrière de posidonie (*Posidonia oceanica*) au nord mais aussi par la présence de trois passes au sud, avec les passes du Petit Gaou et du Grand Gaou au sud-est et la passe des Embiez au sud-ouest. La masse d'eau comprise entre le récif barrière et les passes a donc des échanges limités avec le milieu marin ce qui modifie sa composition physico-chimique et crée un espace très particulier d'un point de vue biotique et abiotique. Dans cette zone, les courants sont ralentis et la houle est limitée ce qui crée un piège sédimentaire avec une très faible profondeur. La température et la salinité - parmi d'autres paramètres physico-chimiques de l'eau - varient plus qu'en mer. Ce milieu est alors favorable au développement d'herbiers de deux espèces de magnoliophytes marines, la zostère (*Zostera noltii*) et la cymodocée (*Cymodocea nodosa*). Ces prairies sous-marines, associées à un régime marin de mode calme, forment un espace propice de nurserie pour de nombreuses espèces de poissons côtiers.

Les récifs barrières de posidonie sont très rares avec seulement quatre exemplaires de grandes tailles en France. Par leur structure unique dans la biosphère les récifs barrières ont une valeur patrimoniale inestimable. La situation géographique de celui du Brusc qui ferme la baie du Brusc est exceptionnelle. Ce site est également associé à un deuxième petit récif barrière et trois passes au sud. La fermeture d'une masse d'eau par un récif barrière est sémantiquement décrite comme un lagon (alors qu'une lagune est coupée du large par un cordon littoral et communique avec la mer par un grau). Ainsi, cet espace littoral de 40 hectares est le seul lagon fonctionnel de grande taille de la façade Méditerranéenne française.

2.1.2 Protections et pressions anthropiques

Le caractère remarquable de la lagune du Brusc est mis en exergue depuis 1987 et son classement comme zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF). De plus, l'archipel des Embiez est devenu un site Natura 2000 en 2008 (qui porte le nom de « lagune du Brusc ») afin d'aller vers une gestion équilibrée et durable de la biodiversité. Enfin, pour limiter l'impact sur l'espace lagunaire limité en profondeur, des arrêtés préfectoraux interdisent le piétinement et la navigation (à l'exception du kayak, de la pirogue et de l'aviron).

Malgré l'importance de ce site naturel, les pressions anthropiques sont très nombreuses. La lagune du Brusc se situe en zone urbaine sur la commune de Six-Fours-Les-Plages. Les

activités terrestres ont donc des impacts directs (e.g. artificialisation du littoral) et indirects (e.g. lessivage des sols) sur la zone. À cela s'ajoute les nombreuses activités nautiques avec deux ports de plaisance qui sont situés de part et d'autre du récif barrière ou encore l'augmentation de la fréquentation nautique et touristique.

2.1.3 Une dynamique et un fonctionnement fortement perturbé

L'habitat historique dans la lagune du Brusc est un vaste herbier de cymodocée qui constitue une prairie globalement continue entre le récif barrière de posidonie, les berges du Brusc et de l'île des Embiez et jusqu'aux passes entre le Brusc, le Gaou et les Embiez. Cet habitat est une nurserie pour de nombreuses espèces qui peuvent par ailleurs circuler dans ce continuum entre les zones rocheuses des passes et le récif barrière de posidonie créant ainsi une connectivité efficace, une productivité importante et une zone riche en biodiversité.

Entre 2008 et 2010 cet habitat a très fortement régressé jusqu'à une quasi disparition de la cymodocée au sein de la lagune. Cette régression d'environ 30 hectares d'herbiers implique une régression quasi-totale d'une espèce protégée de la zone ainsi que la perte de l'intégralité de ses bienfaits et services écosystémiques en tant qu'espèce et en tant qu'ingénieur d'écosystème. Le fonctionnement écologique de la zone est donc fortement perturbé. Depuis les années 2013-2015 les herbiers de cymodocée mais surtout de zostère, se mettent très progressivement à recoloniser la zone. Le collapse des herbiers, mais aussi dans une moindre mesure leur recolonisation, montre d'importantes modifications dans la dynamique biotique et abiotique de la lagune du Brusc. Or, si la cause de la régression des herbiers est - au moins en partie – identifiée, il n'en reste pas moins que les impacts sur la dynamique et le fonctionnement de la lagune n'ont pas été prévisibles. Dans un contexte de restauration écologique et de préservation de ce milieu remarquable, une étude de sa dynamique et de son fonctionnement est nécessaire pour mieux juger l'efficacité des actions mises en œuvre mais aussi pour acquérir les connaissances nécessaires à la prévention de nouvelles dégradations.

2.2. Caractérisation morphologique du site

La lagune du Brusc est localisée dans le Var, sur le littoral de la commune de Six-Fours-Les-Plages et située entre le Brusc, l'île du Gaou et l'île des Embiez (Figure 5).

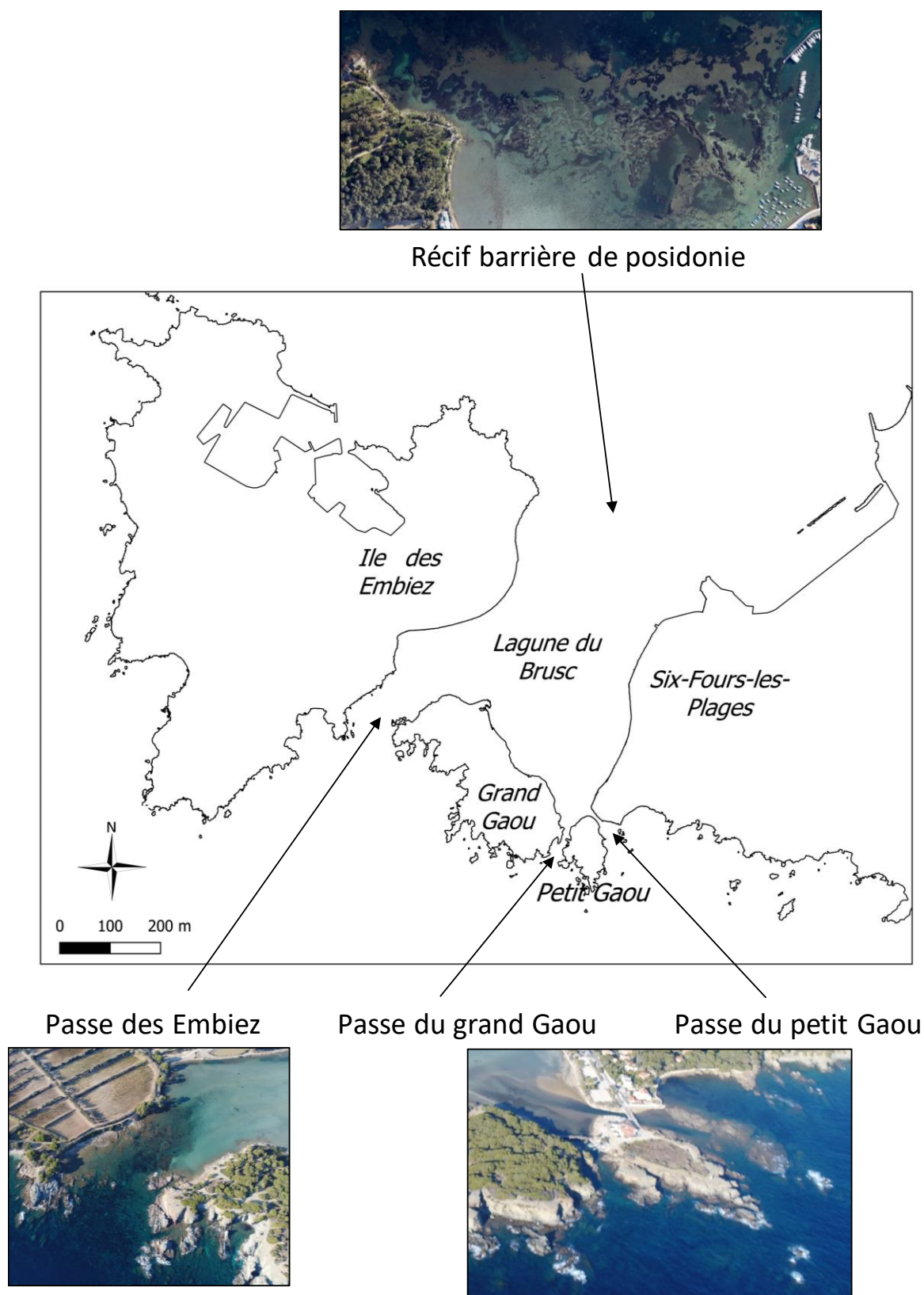


Figure 5 : Lagune du Brusc.

La morphologie très particulière de ce site, cloisonne une masse d'eau entre une biostructure au nord avec le récif barrière de posidonie, la présence de passes étroites au sud et le littoral continental à l'est et celui des Embiez à l'ouest. Au sud, les 3 passes – du petit Gaou, du grand Gaou et des Embiez – sont de faibles profondeurs et peu larges. La passe des Embiez, la plus large, possède également un petit récif barrière de posidonie qui favorise l'atténuation de la houle et agit également comme un piège à sédiment (Figure 6).



Figure 6 : Atténuation de la houle du large dans la passe par l'action combinée de la réduction de la hauteur d'eau et du petit récif barrière de posidonie.

Au nord le grand récif barrière est affleurant lors des basses marées lunaires et barométriques. Ce récif forme une barrière naturelle entre l'île des Embiez et le littoral continental. Cette bio-structure unique dans la biosphère est possible grâce à la croissance verticale de la posidonie qui forme une matte solide et imputrescible. Dans certains cas où l'hydrodynamisme est favorable la matte peut remonter jusqu'à affleurer la surface de l'eau et former des structures récifales. La barrière physique de la matte est amplifiée par les feuilles de posidonie qui remontent vers la surface et participent à l'atténuation de l'hydrodynamisme ainsi qu'à l'amplification de la sédimentation. Le récif barrière du Brus est exceptionnel car il s'étend sans discontinuer entre l'île des Embiez et le Brus ce qui permet de réellement cloisonner la masse d'eau de la baie du Brus. La présence des passes et de ce grand récif a conduit à la formation d'un lagon au sein duquel la masse d'eau est différente de la mer ouverte ce qui favorise l'installation d'un écosystème très particulier.

2.3. Évolution de la lagune du Brus

2.3.1 Les principales activités anthropiques

Le contexte hydrodynamique bien particulier de cette zone la rend particulièrement sensible à toute action anthropique ayant lieu à l'intérieur comme à l'extérieur de l'espace lagunaire. Malgré cela, les pressions anthropiques sur cet espace sont énormes à tel point que la

majeure partie de la lagune est modélisée comme une « zone classée à très fort impact des pressions anthropiques côtières » comme seulement 0,68 % de l'intégralité du littoral méditerranéen français (Holon *et al.*, 2015).

2.3.1.1 L'urbanisation et l'artificialisation du littoral

La commune de Six-Fours-Les-Plages et le Brusc ont connu une intensification de l'urbanisation ces dernières décennies (Figure 7).



Figure 7 : Évolution de l'urbanisation entre 2017 (partie haute) et 1955 (partie basse).

Dans les années 1950, le littoral continental était majoritairement occupé par des espaces boisés et des cultures. Progressivement les sols ont été largement bétonnés et cette



imperméabilisation favorise le lessivage des sols vers la lagune et le risque de pollution associée. En plus de l'urbanisation « conventionnelle », un camping sauvage s'était instauré dès les années 50 jusqu'au début des années 1990 sur l'île du Gaou avec des rejets d'eau usées directement dans l'espace lagunaire (Figure 8).

Figure 8 : Photographie aérienne du camping sauvage sur le Gaou en juillet 1982. Données IGN.

De tout temps, les berges de la lagune ont été largement soumises à l'artificialisation du littoral avec des modifications considérables de sa morphologie. Avant la construction des premiers salins, l'archipel des Embiez était composé de 2 îles principales, l'île de la tour fondue et l'île des Embiez et le grand récif barrière de posidonie s'étendant de l'extrémité ouest de l'actuel port Saint Pierre aux Embiez jusqu'au littoral du Brusc formant un vaste espace lagunaire au cœur d'un archipel d'îles. Jusque dans les années 1980, on trouvait un chemin, historiquement « la route du sel », plus ou moins à sec qui reliait le Brusc au Embiez. Cette voie limitait voire empêchait la circulation de l'eau au sud de la lagune. De même, la passe du Brusc a été comblée avant d'être réouverte en 1978. Les autres aménagements majeurs ont été la construction d'un parking sur la lagune le long du littoral du Brusc et les aménagements portuaires (Figure 9).

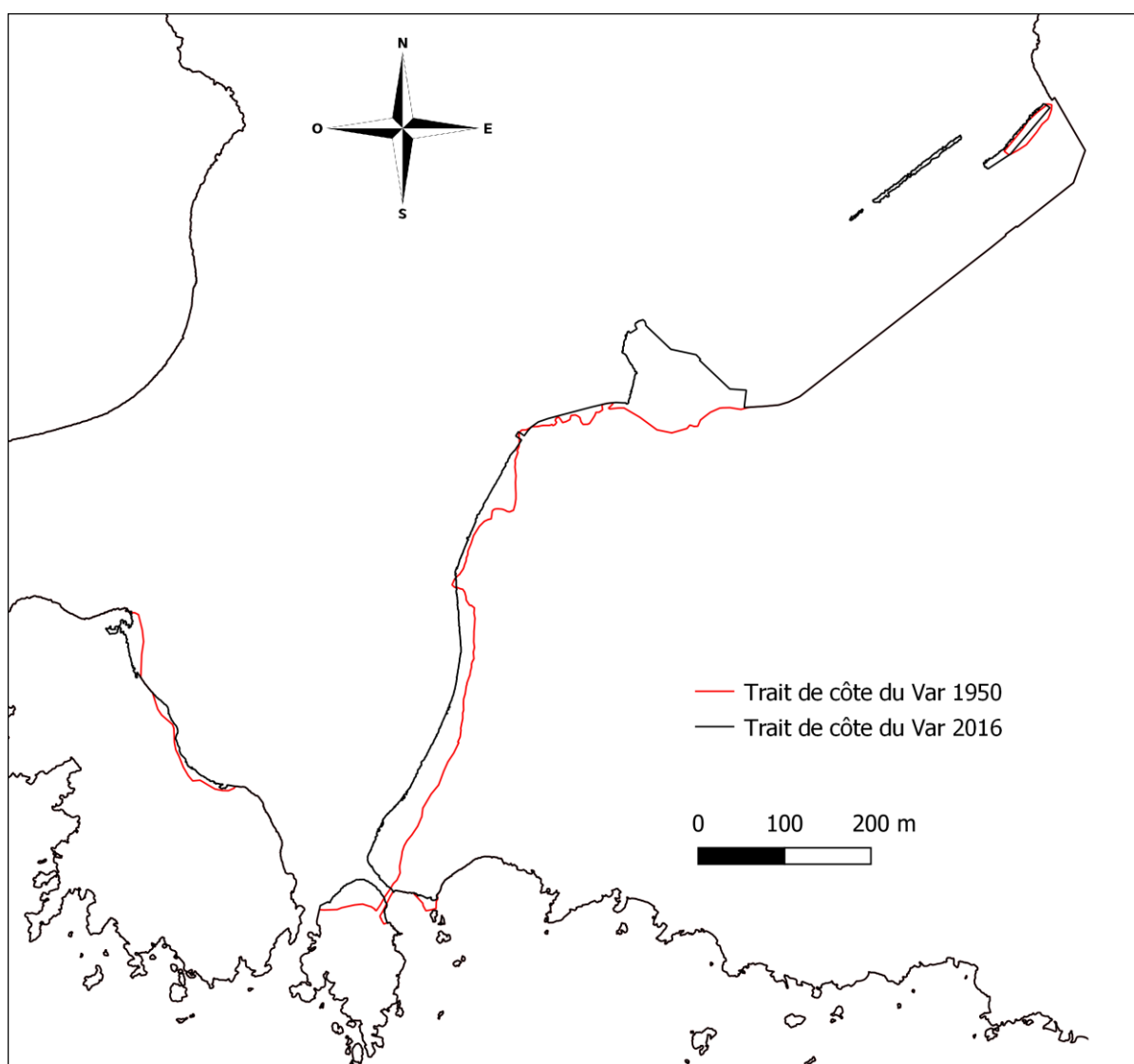


Figure 9 : Évolution du trait de côte entre 1950 et 2016.

2.3.1.2 La plaisance, les sports nautiques et les activités de plage

Il y a deux grands ports de plaisance à proximité de la lagune, le port du Brusc et le port des Embiez. Les risques de pollutions ponctuelles (en particulier par des eaux usées ou des hydrocarbures) sont donc relativement élevés. De plus, le mouillage sauvage s'est multiplié à partir des années 1960 et intensifié à partir des années 1970 avec des impacts directs sur le fond de la lagune du Brusc (Figure 10).



Figure 10 : Photographies aériennes entre 1964 et 1986 montrant l'intensification du mouillage dans la lagune du Brusc le long du rivage du Brusc. Données IGN.

Afin de limiter le nombre de petites embarcations au mouillage et la multiplication des petits pontons, le port du Brusc a été agrandi, dans le récif barrière, et un grand ponton en bois a été construit dans la lagune (Figure 11). Le nombre important de bateaux augmente également le risque d'échouage et donc d'atteinte directe dans le récif affleurant.

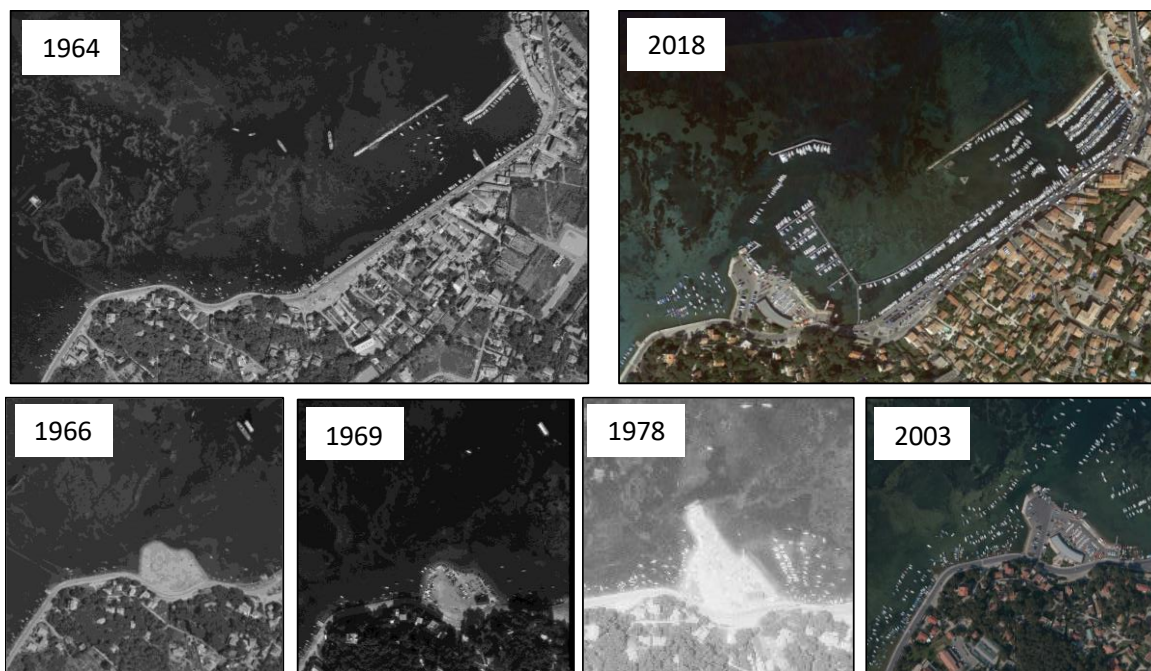


Figure 11 : Photographies aériennes et satellites entre 1964 et 2018 montrant l'avancée progressive des infrastructures portuaires dans la lagune et sur le récif barrière. Ci-dessous, détails sur les aménagements successifs de la mise à l'eau augmentant progressivement l'emprise sur la lagune. Données IGN et Google Earth.

Plus récemment les sports nautiques se sont multipliés ce qui a augmenté le risque de piétinement dans les eaux peu profondes de la lagune. Également, la présence d'une plage sur le grand Gaou au niveau de la passe des Embiez amplifie le piétinement sur la lagune et tout particulièrement sur le petit récif barrière de la passe sud.

L'augmentation de la pression touristique avait poussé la commune de Six-Fours-Les-Plages à enlever les banquettes de posidonies des plages pour donner un aspect « propre » tout au long de l'année aux plages du Cros et des Charmettes, au nord de la lagune. Le rôle essentiel de la posidonie sur le maintien du sable a conduit à l'érosion du littoral. Pour contrer la perte du sable, la commune a procédé à des rechargements en sable, vraisemblablement d'origine terrigène, dès le début des années 2000 et jusqu'en 2013. En continuant à procéder de la sorte, un cercle vicieux s'engage année après année avec une dispersion de ce sable exogène en mer. Malgré la présence du récif barrière de posidonie, cet apport exogène en sédiment a en partie été transporté jusqu'à la lagune du Brusc (Figure 12).

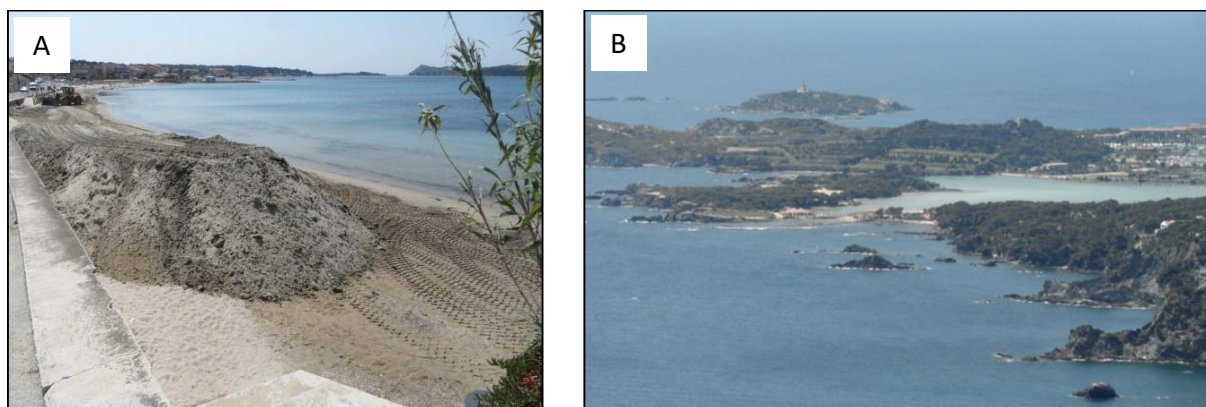


Figure 12 : A/ Rechargement en sable sur la plage du Cros en 2011. B/ Dispersion du sable dans la lagune à la suite d'un rechargement. Photographies et observations : Jean Descatoire.

Les espaces lagunaires sont par définition des pièges à sédiments et sont très sensibles à l'ensablement. Dans la lagune du Brusc, l'ensablement a pu être constaté par imagerie satellite et observations *in situ* à partir de 2002 avec une accélération en 2006. Les sédiments se sont tout d'abord accumulés le long de la partie sud de la lagune avant de couvrir progressivement l'ensemble de la zone lagunaire (Descatoire, 2012 ; étude ville de Six-Fours-Les-Plages CREOCEAN 1-12214-G, 2013).

2.3.1.3 La pêche

Historiquement, les pêcheurs professionnels perpétuaient deux fois par an une pêche à pied traditionnelle dans la lagune, la seinche, qui consistait à amener les poissons de la lagune jusqu'à la berge dans un large filet déplacé à pied. Une autre activité de pêche à pied était couramment réalisée par les pêcheurs de loisirs, appelée pêche des « machottes » qui consistait à prélever dans son terrier un crustacé (*Upogebia sp.*) pour l'utiliser comme appât de pêche.

2.3.2 Les mesures de protection

Le site exceptionnel de la lagune du Brusc a été reconnu comme tel très tôt. Il fait partie d'un classement ZNIEFF depuis 1987 avec une actualisation ZNIEFF de 2^{ème} génération de type II en 2001. Cela signifie que la zone est reconnue comme un ensemble naturel riche qui offre des potentialités biologiques importantes.

Avec l'augmentation de la fréquentation de la zone, les activités anthropiques ayant un impact direct sur le fond ont été limitées par des arrêtés préfectoraux (n°3/2000 du 9 février 2000 et n°58/2000 du 8 août 2000) et municipaux (n°24143 du 4 juillet 2005). Depuis, la navigation et le mouillage des navires sont interdits ainsi que le piétinement et la navigation des engins de plage et nautique à l'exception de la pirogue, du kayak et de l'aviron.

Pour lier le caractère unique en termes d'habitats et de biodiversité de la lagune avec les menaces qui pèsent sur cette zone, ce site, ainsi que le pourtour de l'archipel des Embiez, est devenu une zone Natura 2000 en 2008 (FR 930 2001) qui porte le nom de son espace remarquable « Lagune du Brusc ». Cette zone est donc dorénavant gérée dans un souci d'équilibre et de durabilité entre les enjeux de biodiversité et les activités humaines.

2.4. Les herbiers de magnoliophytes marines de la lagune du Brusc

Les trois principales espèces de magnoliophytes marines de Méditerranée sont présentes dans les quelques dizaines d'hectares de la lagune auxquels s'ajoute une quatrième espèce, la ruppia (*Ruppia spiralis*) présente par petits patches dans la saline et les anciens salins qui jouxtent la lagune sur l'île des Embiez (Figure 13).

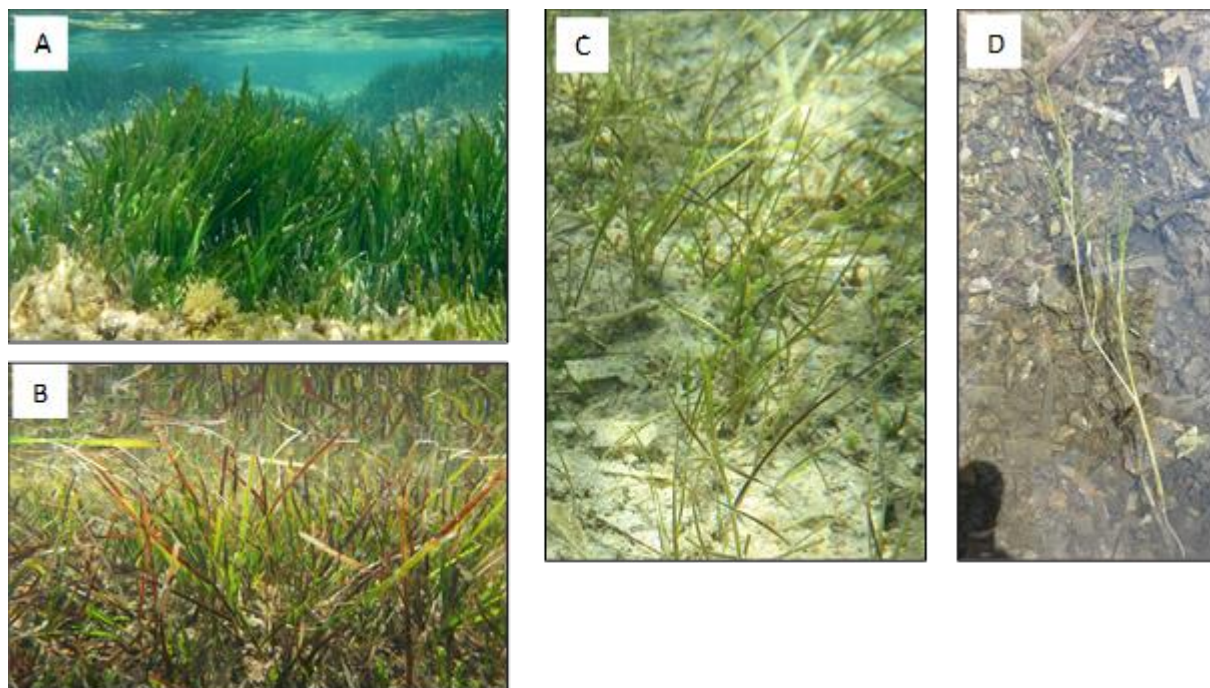


Figure 13 : A/ Posidonie B/ Cymodocée C/ Zostère D/ Ruppia.

La posidonie de la lagune présente une structure très spécifique qui est devenue rare de nos jours, avec la formation de deux récifs barrières, le premier de très grande taille au nord et le second de taille plus modeste au sud (Figures 14 et 15).



Figure 14 : Récifs barrières de la lagune du Brusca.

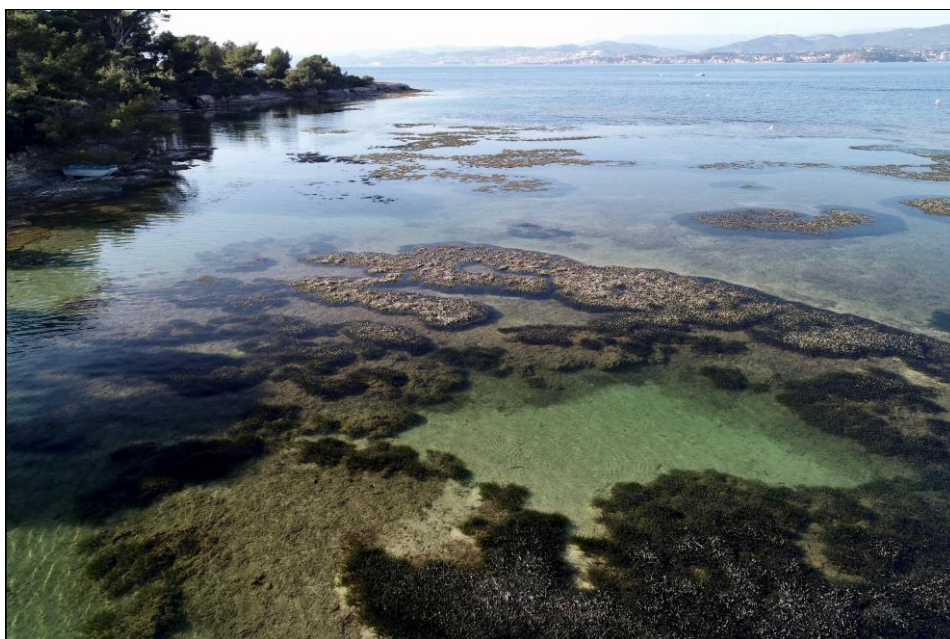


Figure 15 : Posidonie affleurante à marée basse dans le récif barrière.

Malgré l'importance écologique et patrimoniale du grand récif barrière nord, celui-ci a été largement détruit au cours des dernières décennies. Notamment, la surface du récif a été divisée par 2,8 entre 1944 et 1986 (Francour et Sartoretto, 1991). La cause principale est due à l'installation des infrastructures portuaires du Brusc directement sur la matte, apparente ou envasée, et sur les passes naturelles du récif permettant la respiration lagunaire (Figure 16).

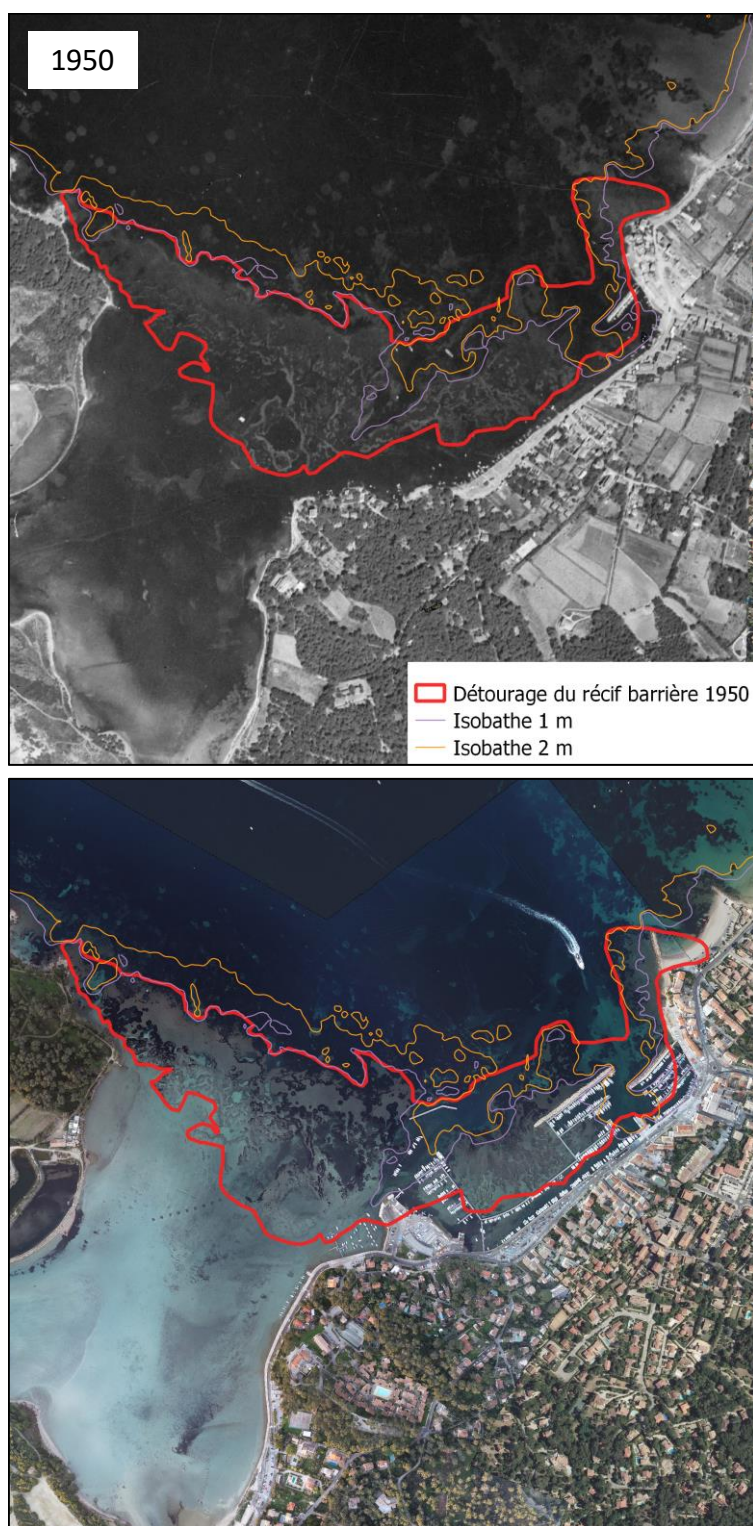


Figure 16 : Espace bio-structuré du récif barrière (mattes et passes naturelles encadrées de tombants) détourné d'après la photographie aérienne de 1950 et des étalonnages *in situ*. Photographie historique IGN.

Les paramètres physico-chimiques de la masse d'eau et des sédiments de la lagune ont longtemps été très favorables aux herbiers de cymodocée (*Cymodocea nodosa*) qui couvraient la majeure partie de la lagune. Cette pelouse était clairsemée au sud contre le Gaou et près des passes et dense dans le centre de la lagune et jusqu'au récif barrière au nord. La troisième espèce de magnoliophyte, la zostère (*Zostera noltii*) était présente en plus faible abondance et poussait plutôt en bordure de la lagune, plus particulièrement contre le littoral du Brusc. Ce profil est resté globalement constant au cours du XX^{ème} siècle comme le laissent supposer les photographies aériennes et comme l'attestent les premières études scientifiques sur la zone (Deguen et Molinier, 1961 ; Vicente, 1974 ; Vicente *et al.*, 1993) (Figure 17). Deguen et Molinier précisent également dès 1961 que la cymodocée est dense dans les zones fortement envasées.

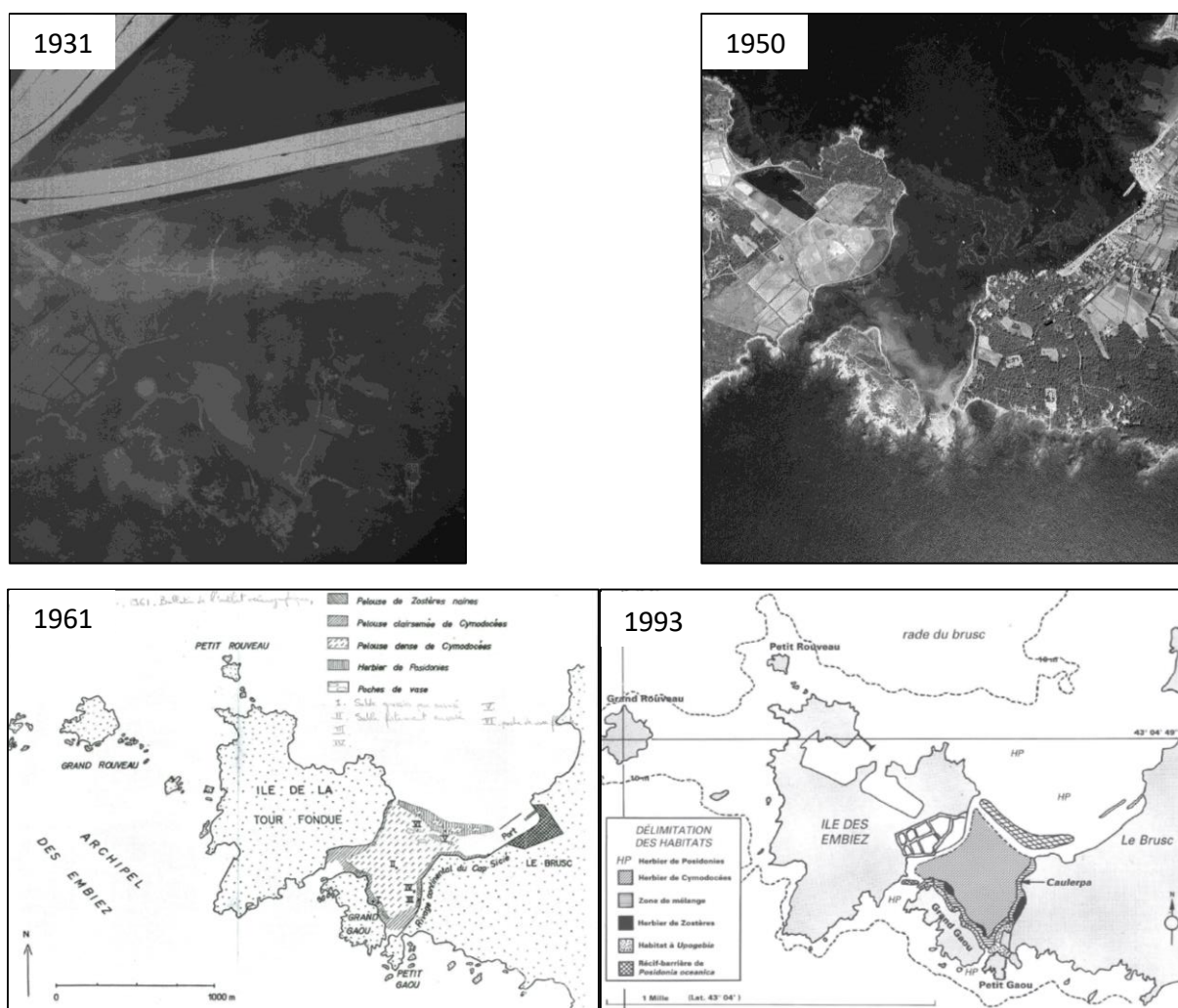


Figure 17 : Stabilité de la pelouse de magnoliophytes dans la lagune du Brusc au cours du XX^{ème} siècle. Photographies : IGN. Cartes : Deguen et Molinier, 1961 ; Vicente et al., 1993 (adapté de Vicente, 1974).

Au tout début du XXI^{ème} siècle la situation s'est brutalement modifiée (Figure 18). La régression de la cymodocée a été signalée pour la première fois en 2002 et ce phénomène s'est accéléré dans la toute fin des années 2000. En 2004, c'est-à-dire juste au début de la décroissance des herbiers, un détournement précis de la cymodocée dans la lagune par Bernard

du GIS Posidonie permet de déterminer que cette pelouse occupait une surface de 30 hectares (Bernard, 2004). En 2008, l'espace de la lagune couvert de cymodocée avait été presque divisé par deux avec 16,5 ha restant (Rouanet *et al.*, 2009). Par ailleurs en 2008 l'herbier de zostère contre le littoral du Brusc avait presque disparu avec seulement 10 m² recensés. Il semble que dès 2011 la quasi-totalité des herbiers de cymodocée et de zostère avaient disparu de la lagune.



Figure 18 : Photographies aériennes de 2003 et 2017 laissant deviner le passage d'une pelouse de magnoliophytes à une vaste zone sableuse dans la lagune du Brusc. Remarques : Les taches plus claires en 2003 n'indiquent pas l'absence d'herbiers mais simplement une plus faible densité et les taches très sombres en 2017 au nord-est ne sont pas des herbiers mais des dépôts de feuilles mortes de posidonies. Photographies : IGN.

En 2014, un recensement rigoureux dans la zone décrit la disparition de la zostère et la présence de quelques petits patchs de cymodocée avec principalement deux zones de seulement 50 m² chacune le long du littoral du Brusc et au niveau de la passe du Grand Gaou (Kirchhofer *et al.*, 2016). En 2017, les patchs de cymodocée ont fortement progressé pour atteindre un total de 1400 m² et des repousses éparées sont observées dans d'autres zones de la lagune. Pour la première fois, la zostère devient la magnoliophyte la plus présente au cœur de la lagune avec des patchs de 1 à 190 m² dispersés dans toute la lagune pour un total d'environ 1600 m² (Lyonnet, 2017). Faute de suivis scientifiques intermédiaires, il n'est pas possible de déterminer précisément à quel moment entre 2014 et 2017, les herbiers ont amorcé une recolonisation de la zone lagunaire (Figure 19).

Figure 19 : Double page de cartographies de 2004, 2008, 2014 et 2017 des herbiers de cymodocée dans la lagune du Brusc. À partir de 2017, la zostère prend le dessus sur la cymodocée en colonisant tout l'espace par des repousses éparées qui sont donc comptabilisées. Ces repousses de zostère n'ont pas de surface délimitée sur la carte et ne sont représentées que les repousses de plus de 500 faisceaux. m⁻².

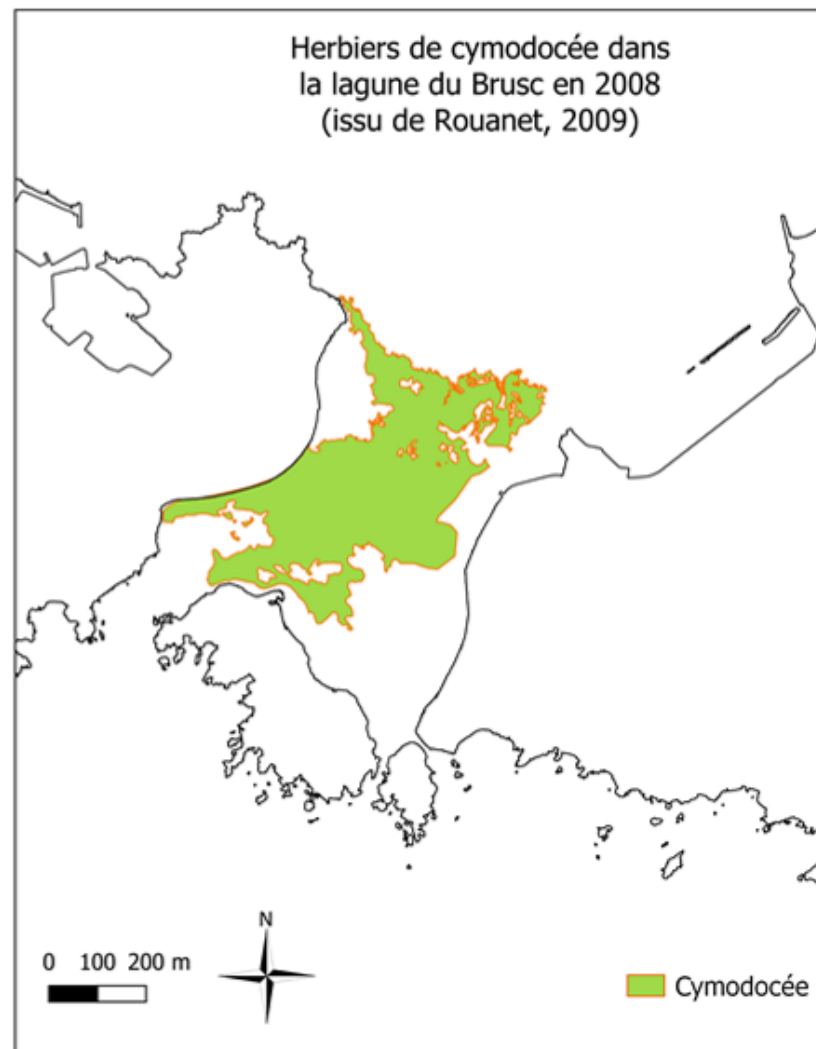
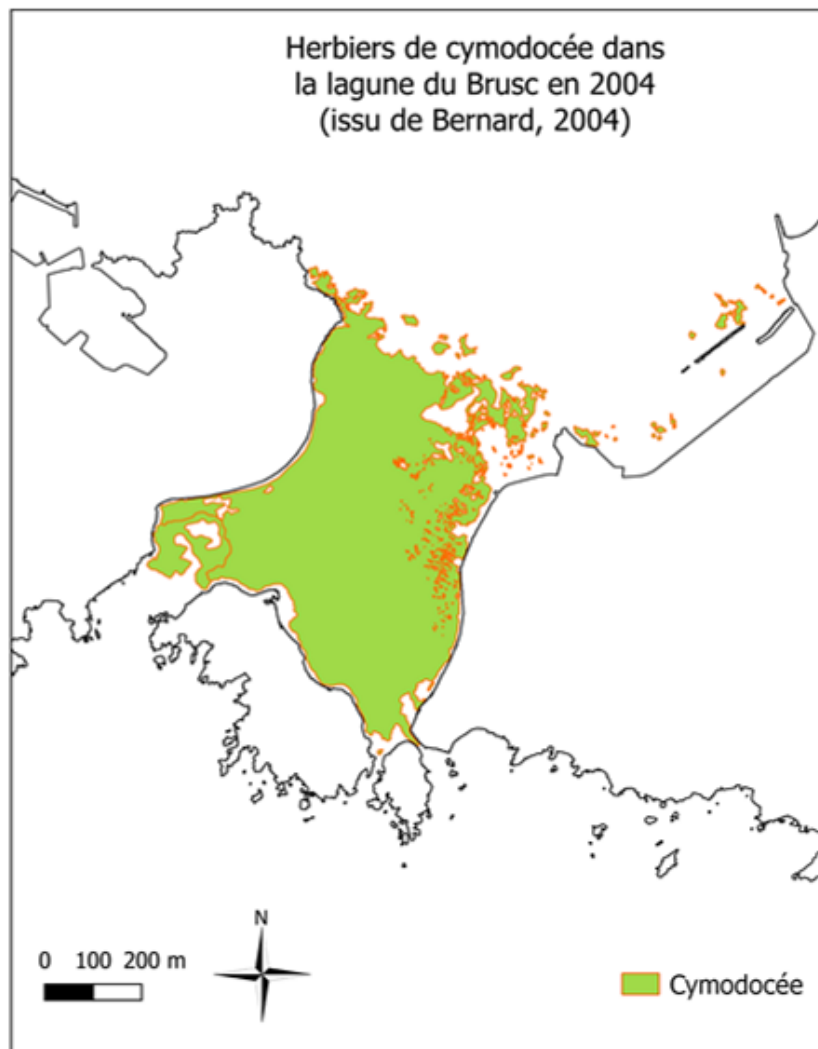
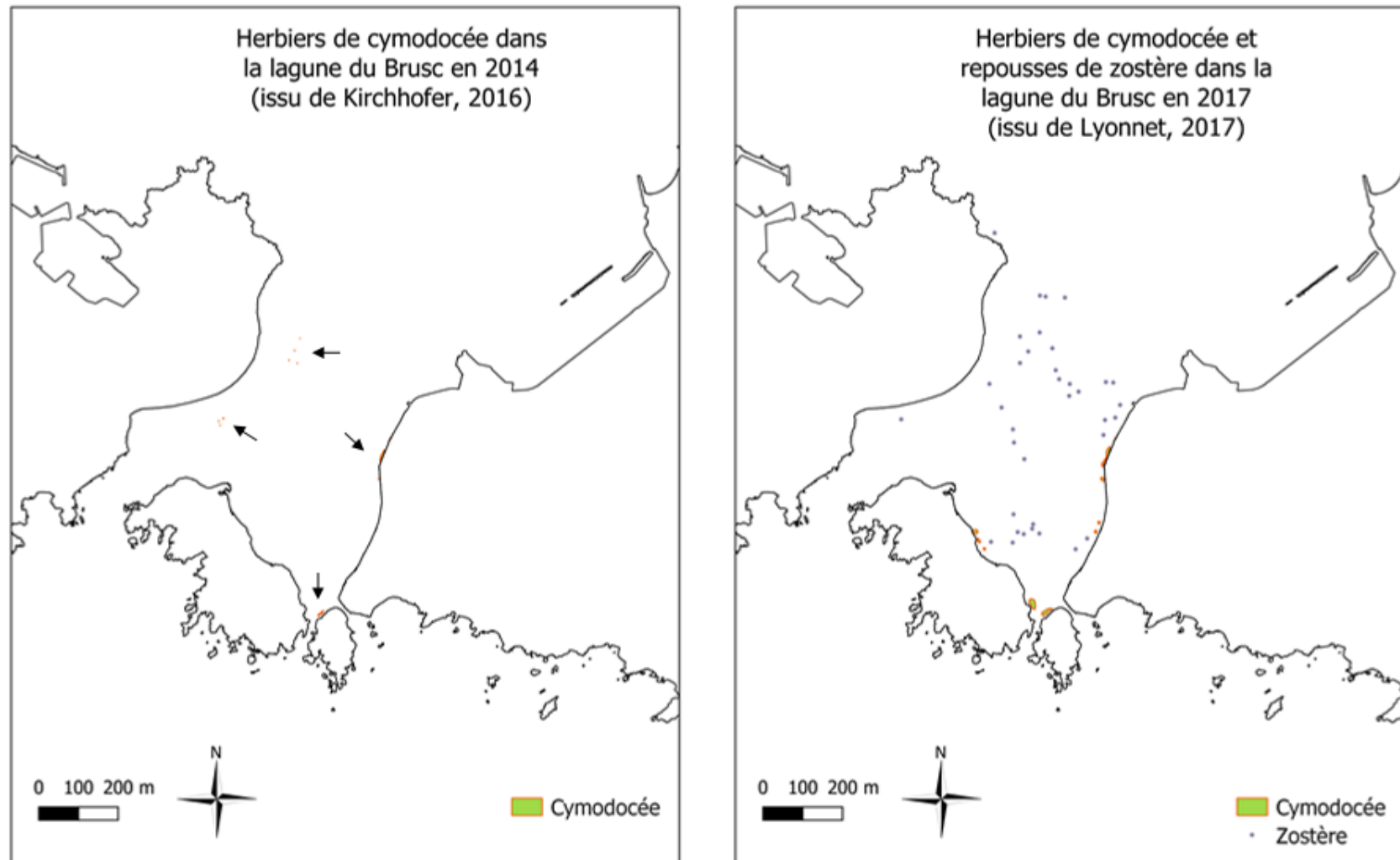


Figure 19 (Suite)



La perte de la pelouse de cymodocée dans la lagune est une destruction majeure à l'échelle du littoral méditerranéen français aussi bien en tant qu'espèce qu'en tant qu'habitat. En effet, les magnoliophytes marines sont des espèces et des habitats remarquables, apportant de nombreux bienfaits et services écosystémiques. À ce titre, la posidonie et la cymodocée sont des espèces protégées par l'arrêté du 19 juillet 1988. De plus, les herbiers sont protégés à l'échelon national par le décret du 20 septembre 1989 puis européen par le classement des herbiers comme habitat prioritaire en annexe 1 de la directive habitat le 21 mai 1992. La cymodocée est par ailleurs l'un des habitats côtiers les plus rares avec seulement 506 hectares le long du littoral méditerranéen français, recensement qui incluait le recouvrement de la lagune du Brusc de 2008 (Holon *et al.*, 2015). La disparition des 30 hectares historiquement présents dans la lagune représente donc la perte de 6% de la totalité des herbiers de cymodocée français. Les hypothèses de la régression de ces herbiers ont toutes, au moins en partie, été invalidées (pollution, cycle naturel, dégradation du récif barrière, augmentation de la turbidité, présence d'espèces invasives et sur-fréquentation) excepté celle de l'ensablement progressif de la lagune (Kirchhofer *et al.*, 2016).

2.5. Le fonctionnement et les fonctions écologiques de la lagune du Brusc

La morphologie de la lagune du Brusc en fait un milieu sablo-vaseux de mode calme (Rouanet *et al.*, 2009). Par définition, elle est caractérisée par une sédimentation fine donnant un sédiment sablo-vaseux parfois mêlé d'une faible proportion de graviers au niveau des passes. Le faible hydrodynamisme ne permet pas le brassage des eaux ce qui implique une variabilité des paramètres physico-chimiques de la masse d'eau plus prononcée qu'en mer ouverte avec par exemple de grands écarts de température entre les saisons mais également au cours d'une journée ou encore une dessalure par ruissellement des eaux de pluie ou par suintement de nappes phréatiques. Si la température en mer ne descend pas en dessous de 12-13°C sur la côte varoise, elle est en moyenne de 6°C en janvier dans la lagune (Vicente *et al.*, 1993). Les passes et les récifs barrières de la lagune jouent donc un rôle essentiel dans le fonctionnement de la lagune car c'est par eux que se créent les cloisonnements mais également où ont lieu les échanges. Ces caractéristiques ont permis l'apparition d'un écosystème remarquable. Il a également rendu le milieu particulièrement favorable au développement des herbiers de magnoliophytes marines apportant des bienfaits et services écosystémiques qui ne sont plus à prouver (habitat pour 20 à 25 % de la biodiversité méditerranéenne dont de nombreuses espèces commercialisables, zone de nurserie, puit de carbone, barrière naturelle à la houle, stabilisation des sédiments ...).

La morphologie de la lagune (faible profondeur et hydrodynamisme réduit) en fait un milieu de nurserie favorable pour de nombreuses espèces côtières. D'ailleurs, en 2014, 25 espèces de poissons au stade post-larves ont été capturés à l'aide de filets de passes dans les passes au sud de la lagune du Brusc (Kirchhofer *et al.*, 2016). De plus, la présence des récifs

barrières, mais surtout de la vaste pelouse de cymodocée avant les années 2000 en faisait également une zone très propice de nurserie. La disparition de cette pelouse a donc laissé apparaître une vaste zone sableuse au sein de la lagune faisant perdre une partie des fonctions essentielles d'une nurserie à savoir celles d'un habitat propice pour éviter les prédateurs et pour trouver de la nourriture. Le paradoxe qui a suivi la disparition des herbiers de cymodocée et de zostère a été de se trouver dans une zone favorable à l'arrivée de post-larves de poissons côtiers sans offrir d'environnement permettant un taux de croissance et de survie important pour ces organismes.

2.5.1 Bilan avant 2018

La commune de Six-Fours-Les-Plages abrite un environnement unique sur les côtes françaises. Le site appelé communément lagune du Brusc est en effet le seul lagon fonctionnel du littoral français. La morphologie particulière a permis le développement d'herbiers de magnoliophytes, récifs barrières de posidonie, cymodocée et zostère permettant l'apparition d'une importante nurserie pour de nombreuses espèces de poissons côtiers. Cet espace est donc remarquable d'un point de vue patrimonial, écologique et économique par les bienfaits et services écosystémiques qu'il procure.

Malgré cela, les pressions anthropiques sur la lagune sont encore nombreuses et ont même conduit à la quasi-disparition de la cymodocée et de la zostère aux alentours des années 2010. Ce phénomène a mis en évidence la fragilité et les limites de résistance de la lagune. Cet impact a aussi mis à jour les lacunes sur la connaissance et la compréhension de la dynamique et du fonctionnement de la lagune du Brusc. En effet, il n'a pas été possible de prévoir ni d'arrêter la disparition de ces espèces à temps. La première cause avancée à la suite des débuts de la régression en 2002 avait été l'impact du piétinement, interdit par arrêté municipal dès 2004 sans pour autant arrêter ce phénomène. Il a fallu attendre 2013 et l'arrêt du rechargement en sable des plages environnantes pour voir la tendance s'inverser.

Ainsi, une étude sur la dynamique et le fonctionnement de la lagune du Brusc a donc un intérêt en recherche fondamentale sur un site aussi particulier, mais également un intérêt en recherche appliquée pour apporter des connaissances essentielles aux gestionnaires du site Natura 2000 et permettre une gestion durable de cet environnement.

2.5.2 Caractérisation du site en 2018 et discussion

2.5.2.1 Morphologie et fonctionnement

2.5.2.1.1 La bathymétrie

Les lieux d'échanges de la lagune sont les passes et les récifs barrières. Une étude précise de leur morphologie a donc été réalisée à l'exception de la passe du petit Gaou non accessible par bateau. Un levé bathymétrique multi-faisceaux a été effectué par le bureau d'études SEMANTIC TS. Ce travail a été réalisé en septembre 2018 à l'aide d'un sondeur multi-faisceaux R2SONIC 2020 couplé à une centrale inertielle et à profileur vertical de célérité afin d'augmenter la précision de la mesure (Figure 20).

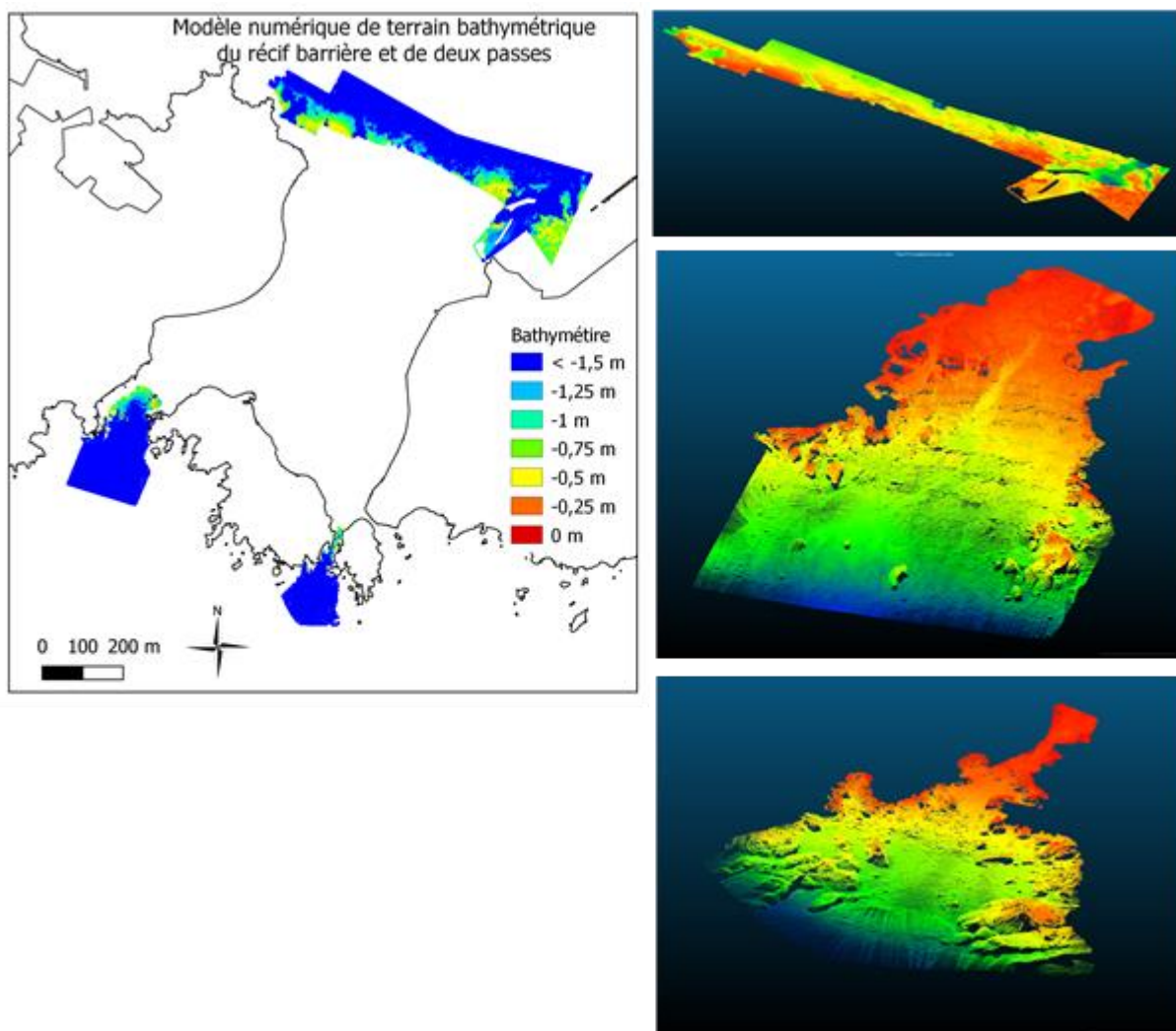


Figure 20 : Bathymétrie du récif barrière et de deux passes sud par relevé au sondeur multifaisceaux.

La bathymétrie de l'intégralité de la lagune a également été relevée en novembre 2017. Ce travail permet de caractériser précisément la zone car la faible profondeur va fortement impacter les conditions abiotiques (paramètres de l'eau et sédimentation) et biotiques (nursérie, herbiers). Cette information permettra également à terme d'estimer la présence de mouvements de sable au sein de la lagune ou encore de visualiser si la quantité de

sédiments dans la lagune est stable ou évolue avec des gains ou des pertes de matière. La faible profondeur dans la lagune a nécessité l'utilisation d'un sondeur acoustique mono-faisceau eBEEEM développé par SEMANTIC TS et manœuvré sur un kayak instrumenté par un système complet de géoréférencement, d'outils de navigation, d'une centrale d'acquisition de données (Figure 21). La fusion des données multi et mono faisceaux a permis de caractériser finement les points d'entrées d'eau de la lagune. Au sud, les 3 passes – du petit Gaou, du grand Gaou et des Embiez - sont de faibles profondeurs et peu larges avec respectivement <0,5 m, 0,8 m et 0,7 mètre de profondeur minimale en son centre et 10 m, 7 m et 80 mètres de largeur minimale. Le récif barrière est caractérisé par un plateau d'environ 50 cm de profondeur et où les patchs de posidonie affleurent en surface lors des basses mers. Sur la face interne la matie visible s'estompe à 75 cm de profondeur sur toute la longueur du récif alors que sur la face externe, un talus de posidonie s'avance en pente douce sans présenter un tombant de matie franc sur toute sa longueur.

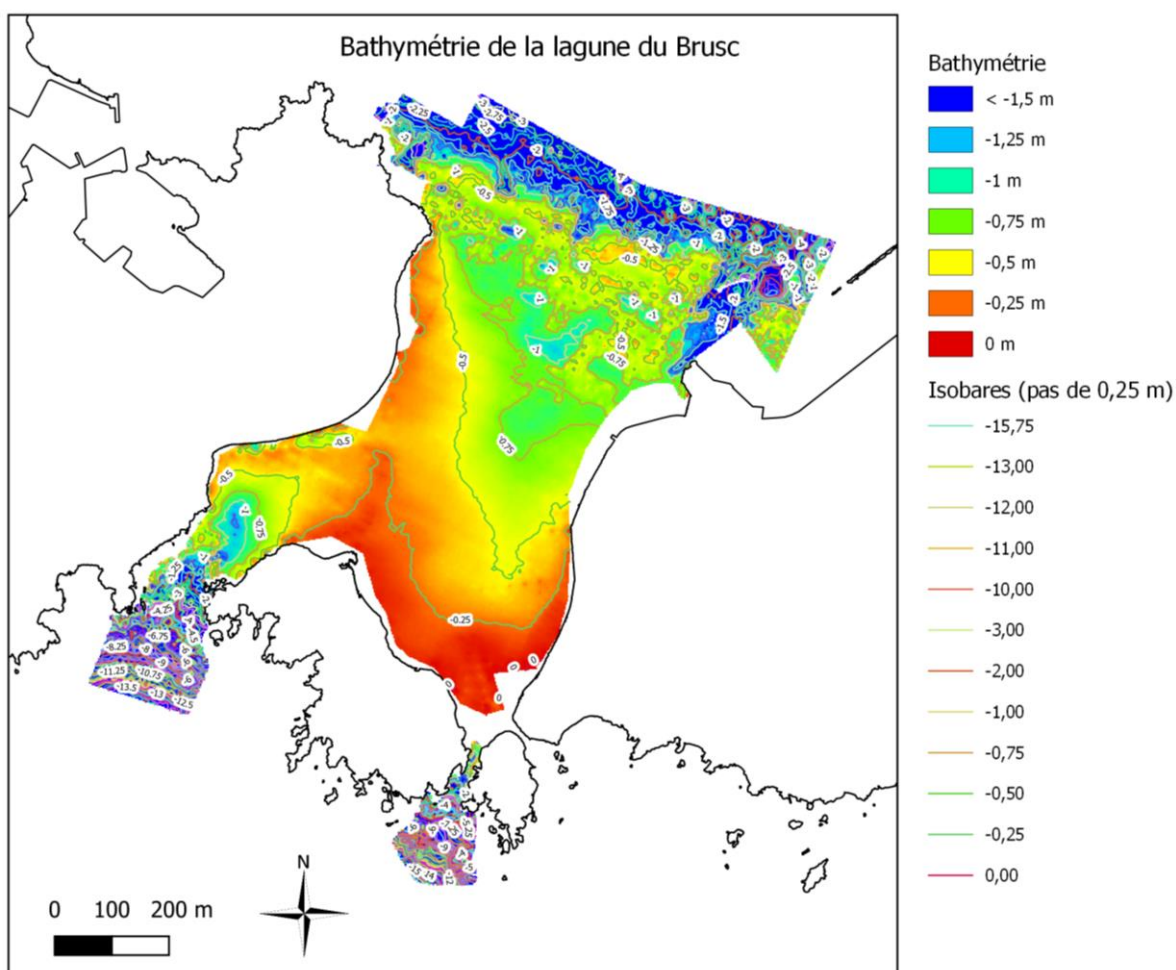


Figure 21 : Bathymétrie de la lagune du Brusc. Fusion des données des sonars multifaisceaux et mono faisceau.

Les limites de la zone

Une analyse cartographique nous permet de définir que le linéaire du trait de côte de la lagune est anthropisé à 52 %. Si on ajoute la réouverture de la passe Petit Gaou en 1978, la

construction du parking dans la lagune et les aménagements portuaires sur une partie du récif barrière de posidonie, on remarque qu'une majorité des limites de la lagune de Brusc est directement anthropisée.

Le lagon ne peut exister que grâce à la présence du récif barrière qui délimite donc son extension au nord. Comme ce récif barrière ne présente pas de tombant net sur sa face externe nous avons choisi de fixer sa limite externe en mimant au plus près sa physionomie sur sa face interne. Nous prenons donc 75 cm de profondeur comme limite externe sauf lorsqu'un profil net se dégage (trou d'eau ou petit tombant de matre). Seule une caractérisation précise de la qualité de l'eau au droit du récif barrière permettra d'affiner cette limite, qui, de surcroît doit évoluer légèrement en fonction des régimes de vents et de la hauteur d'eau. Malgré le fait que le récif barrière se prolonge au nord-est, nous considérons que les aménagements portuaires réalisés sur sa structure ont probablement considérablement affecté le fonctionnement de cette zone (voir la partie « les sédiments » ci-après) ainsi que sa dynamique biologique (la plus grande partie de la posidonie est morte dans le courant du XX^{ème} siècle sur cette espace) nous avons donc fixé la limite nord-est de la lagune avant cette zone. Au sud, la limite de la passe des Embiez intègre le petit récif barrière et les limites des deux autres passes sont placées à la plus petite largeur. Nous avons donc redéfini la zone du lagon du Brusc à une superficie de 44 hectares (Figure 22).

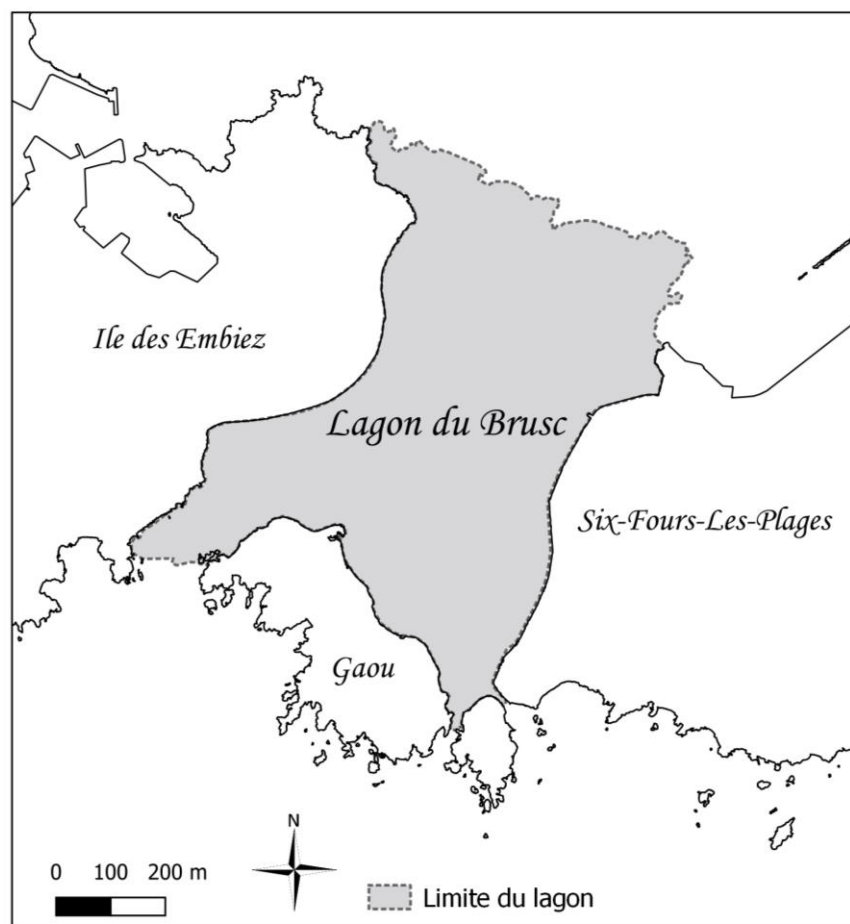


Figure 22 : Limite géographique du lagon du Brusc.

2.5.2.1.2 La masse d'eau

La masse d'eau étant partiellement fermée, les paramètres physico-chimiques de l'eau peuvent varier par rapport à la mer ouverte. La prise de diverses mesures de qualité de l'eau chaque heure début septembre 2018 montre qu'on peut retrouver des variations nycthémérales importantes (Figure 23).

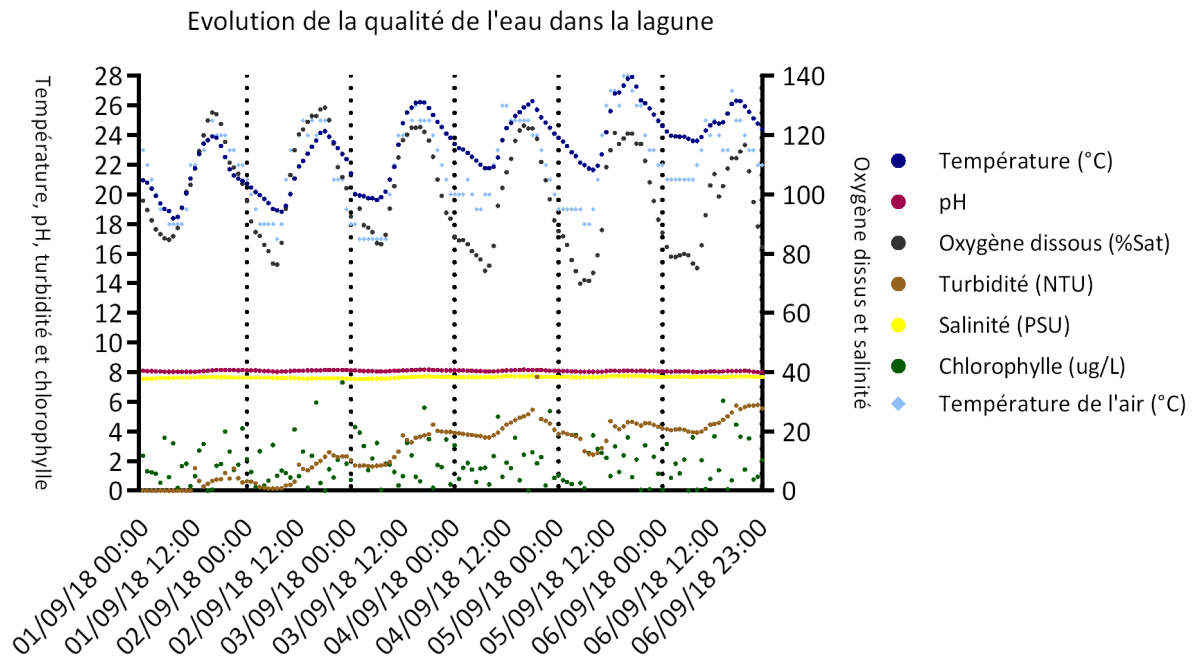


Figure 23 : Évolution de paramètres physico-chimiques et biotique de l'eau dans la lagune.

Ces données ont été prises dans la lagune, proche du laboratoire de l'IOPR sur l'île des Embiez et à 20 mètres du littoral. Lors de ces mesures, le temps était clair jusqu'au 5 septembre suivi d'une couverture nuageuse, le vent très faible avec une brise d'ouest les derniers jours. On remarque que la température de l'eau fluctue jusqu'à près de 6 degrés entre le jour et la nuit. Ce paramètre, contrairement au fonctionnement en mer ouverte, est largement sous l'influence de la variation de la température de l'air mais également des radiations solaires. Les poissons sont presque tous des organismes poïkilothermes (à sang froid). La température de l'eau a donc une très grande influence sur leur physiologie. Les occupants de la lagune doivent donc s'acclimater à ces fortes variations.

Le pourcentage de saturation en oxygène dissous dans l'eau varie également fortement entre le jour et la nuit. Cela s'explique par l'arrêt de la photosynthèse la nuit (herbiers et phytoplanctons) et la respiration des organismes autotrophes et hétérotrophes le jour et la nuit faisant varier ce paramètre entre un maximum de 130 % de saturation le jour et un minimum de 70 % de saturation la nuit. L'oxygène dissous est l'un des paramètres ayant le plus d'influence sur la physiologie des organismes marins. Si la morphologie de la lagune, par sa faible profondeur et son hydrodynamisme réduit, en fait un habitat de nurserie théoriquement favorable pour de nombreuses espèces de poissons côtiers, ceux-ci doivent

supporter un manque d'oxygène la nuit. De plus, le cloisonnement de la lagune la rend sensible à l'eutrophisation, ce qui est accentué par l'urbanisation du littoral mais surtout par les eaux noires et grises des deux ports jouxtant la lagune cumulant 1600 places à eux deux. Or, l'enrichissement de la lagune risquerait de conduire à un bloom phytoplanctonique qui pourrait réduire l'oxygène dissous dans des proportions très dangereuses pour les organismes vivants.

2.5.2.1.3 Les sédiments

La lagune est caractérisée comme un espace d'hypersédimentation avec des dépôts de matières fines. Des grains plus grossiers peuvent néanmoins se retrouver au niveau des zones principales de courants. Le type de sédiments peut influencer le développement des herbiers de magnoliophytes dans la zone. La détermination des sédiments est donc un paramètre important à prendre en compte. Le sondeur mono-faisceau a permis de produire une carte de la répartition de la dureté des sédiments dans la lagune (Figure 24).

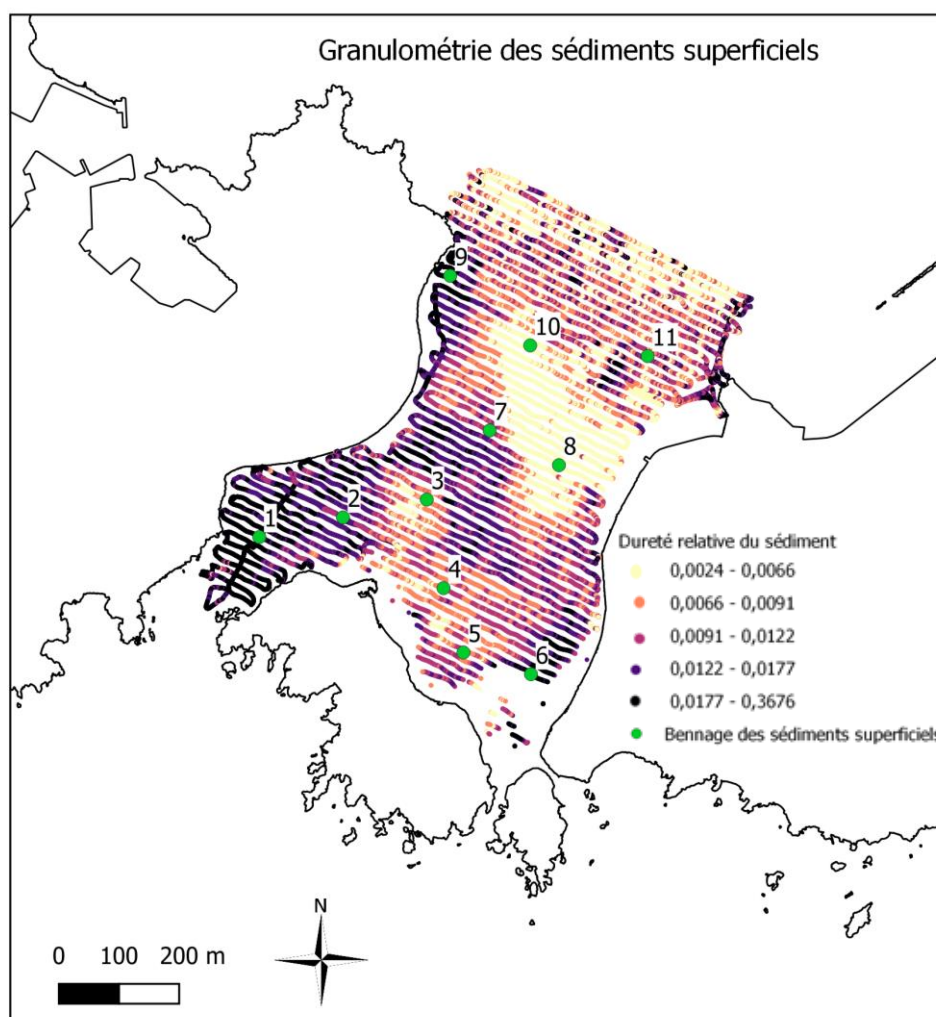


Figure 24 : Granulométrie des sédiments superficiels de la lagune du Brus. La dureté relative du sédiment indique principalement la présence de cailloutis et graviers. Les points verts indiquent les sites de bennages échantillonnés pour le tamisage.

Les contrôles en vérité terrain ont permis de définir que cet indice expliquait efficacement la répartition des cailloutis et des graviers. Plus cet indice est élevé, plus des grains de grandes tailles sont retrouvés dans les sédiments. En juin 2018, des bennages de sédiments superficiels suivis d'un tamisage ont permis de déterminer le classement des grains ainsi que de définir les fractions majoritaires sur 11 points de la lagune (Figure 24 et 25). Les échantillons 1, 2, 9 et 11 sont hétérogènes et mettent en avant, additionnés à la dureté relative des sédiments, que les courants principaux de la lagune se trouvent au niveau des passes, principalement la passe des Embiez ainsi qu'au niveau du littoral des Embiez et du Brusc en périphérie du récif barrière. Historiquement, la zone de passage du courant au nord se faisait en suivant le littoral du Brusc au niveau du port actuel (Blanc, 1958). La construction de la mise à l'eau et de la digue du large sur ce passage ne permet plus qu'un échange sur un petit espace jusqu'à la matte du récif barrière. Un nombre étonnamment faible de cailloutis sont présents sur cette zone. Les aménagements portuaires (pontons, digues et mise à l'eau) sont donc certainement liés à une modification des courants dans la lagune avec l'apparition d'un flux sur le côté ouest du récif barrière contre le littoral des Embiez. L'intérieur de la lagune est globalement couvert de sable fin ($0,125 \text{ mm} \leq \text{sable fin} < 0,250 \text{ mm}$) excepté dans la zone nord-est juste après la matte du récif barrière (le point 11 étant sur la matte) qui est une zone sablo-vaseuse (caractérisée par 5 % à 25 % de vase/silt $< 0,063 \text{ mm}$). De plus, la quantité de matières organiques dans les échantillons déterminée par calcination est globalement faible pour un milieu lagunaire, entre 2 et 7 %, avec un maximum pour le point 8 proche du récif barrière. Ces résultats mettent en avant une modification majeure des sédiments au sein de la lagune du Brusc. En effet, historiquement seule une étroite bande le long du littoral du Brusc ainsi que le long du Gaou n'était pas envasée. La quasi-totalité de la lagune était constituée de sable fortement envasé et l'arrière du récif barrière présentait même des poches de vases fluides ce qui a conduit au classement de la lagune comme un milieu sablo-vaseux de mode calme (Deguen et Molinier, 1961 ; Rouanet *et al.*, 2009). Ces nouvelles observations laissent supposer qu'un apport sédimentaire exogène a remplacé les sédiments présents historiquement dans la lagune. Cette hypothèse a été mise en avant pour la première fois au début des années 2000 à la suite de constatations visuelles d'un ensablement inhabituellement important dans la lagune (Descatoire, 2012).

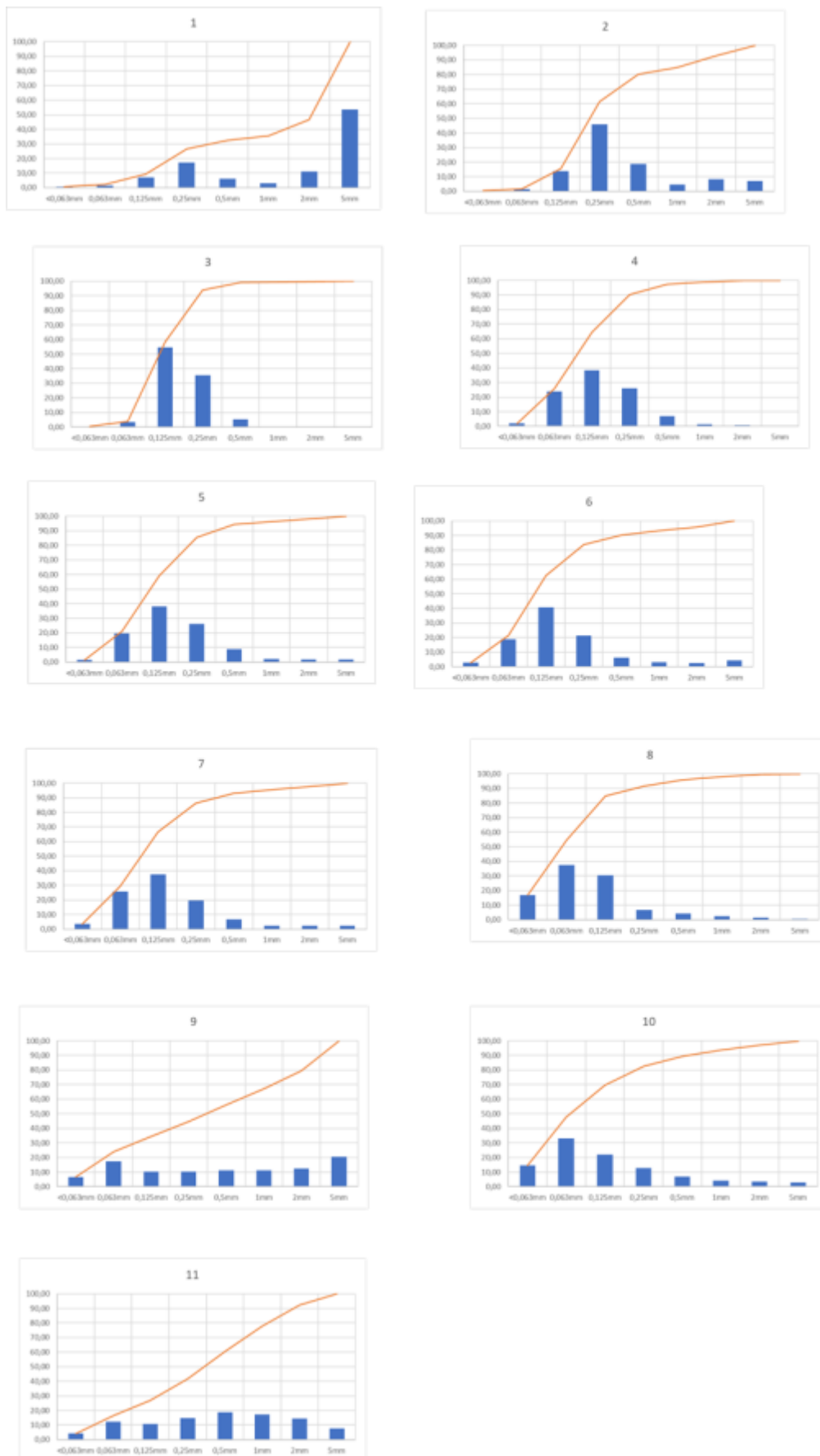


Figure 25 : Granulométrie de 11 sites échantillonnés dans la lagune en pourcentage et pourcentage cumulé.

En 2013, un rapport (CREOCEAN, dossier 1-12214-G, 2013) précise que le sable utilisé pour le rechargement de la plage du Cros présente un profil différentiable des sédiments marins de notre littoral et que ceux-ci sont en parties retrouvés dans la lagune. De plus, ils ont observé que les silts/vases étaient pratiquement absents des échantillons de la plage du Cros. Ils ont retrouvé une quantité plus importante de vases dans la lagune en 2013 que nous en trouvons en 2018 mais leurs valeurs présentaient déjà une régression par rapport aux informations historiques. Pour conclure, la présence en 2018 de sable fin non envasé dans la majeure partie de la lagune indique que c'est cette fraction de sable (sédiments inférieurs à 0,250 mm mais pauvres en vases) issue du rechargement des plages qui a pu franchir le récif barrière et s'accumuler dans la lagune. L'ensablement est visible depuis près d'une vingtaine d'années et la responsabilité du rechargement des plages environnantes est une nouvelle fois constatée, cette fois-ci par le recouvrement ou la perte de la vase dans la lagune. Les milieux lagunaires sont sensibles à la sédimentation ; l'apport de sable a donc des répercussions considérables influençant nécessairement le fonctionnement biologique de la lagune du Brusc. L'impact délétère d'un rechargement en sable sur les herbiers est par ailleurs avéré (Gonzalez *et al.*, 2009 ; Aragonés *et al.*, 2015). On peut constater dans la lagune du Brusc, une lente recolonisation des herbiers entre 2014 et 2017, c'est-à-dire juste après l'interruption du rechargement en sable de la plage du Cros. En addition, c'est l'utilisation d'un sédiment très vraisemblablement d'origine terrigène et exempt de sa fraction vaseuse littorale qui a certainement été une cause supplémentaire des perturbations du fonctionnement et de la dynamique de la lagune du Brusc ces dernières années. En effet, la forte régression de la fraction vaseuse, souvent riche en matières organiques, a fortement impacté les herbiers de cymodocée ainsi que la faune benthique. Sans que cela soit quantifié, les phylums benthiques de la lagune ont tous régressé, comme les crustacés upogebias (*Upogebia pusilla*), les annélides sabelles et spirographes (*Sabella spp*) ou encore les échinodermes holothuries (*Holothuria spp*). Quant aux herbiers de cymodocée pour lesquels un apport en matière organique favorise le développement (Gönenç et Wolflin, 2004) c'est un effondrement de plus de 99,9 % qui a été observé dans la lagune, donc vraisemblablement lié à son ensablement (Kirchhofer *et al.*, 2016) mais également à un appauvrissement des sédiments superficiels en matières organiques.

2.5.2.2 Les herbiers de magnoliophytes

En 2018 les herbiers de magnoliophytes au sein de la lagune sont très dispersés et constitués par un ensemble de petits patchs. Afin de les quantifier le plus finement possible, une photomosaïque de l'ensemble de la zone a été effectuée. Cette photomosaïque réalisée en aout 2018 est composée de 599 photos qui ont été assemblées puis l'ensemble a été géoréférencé (Figure 26). Sur cette carte, certaines limites de la matte du grand récif barrière ainsi que la distinction entre les patchs de cymodocée et de zostère ne peuvent pas être effectuées directement. Des vérités terrains ont donc été réalisées afin d'obtenir une carte des herbiers de la lagune du Brusc (Figure 27).

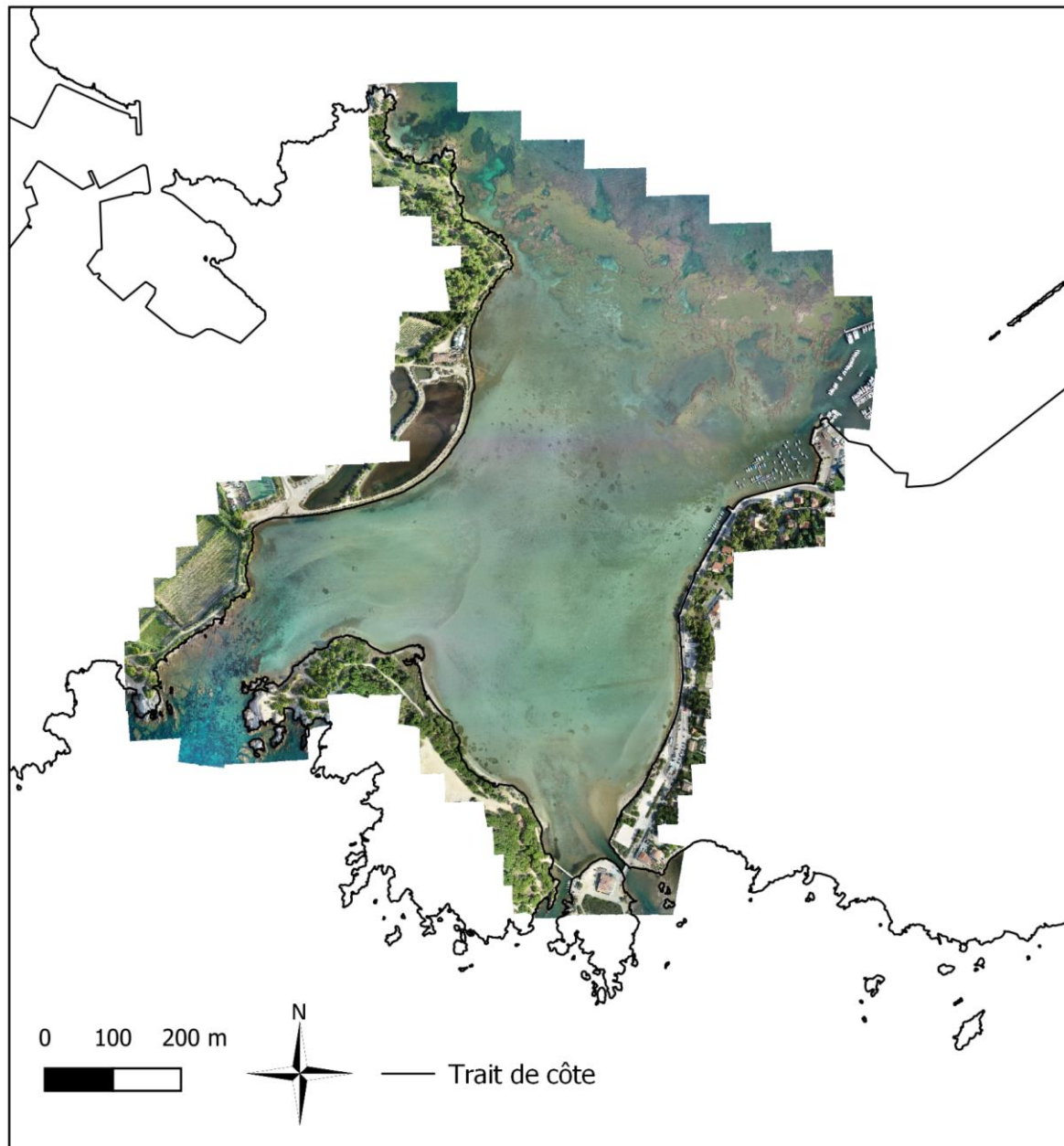


Figure 26 : Photomosaique géoréférencée de la lagune du Brusc en 2018.

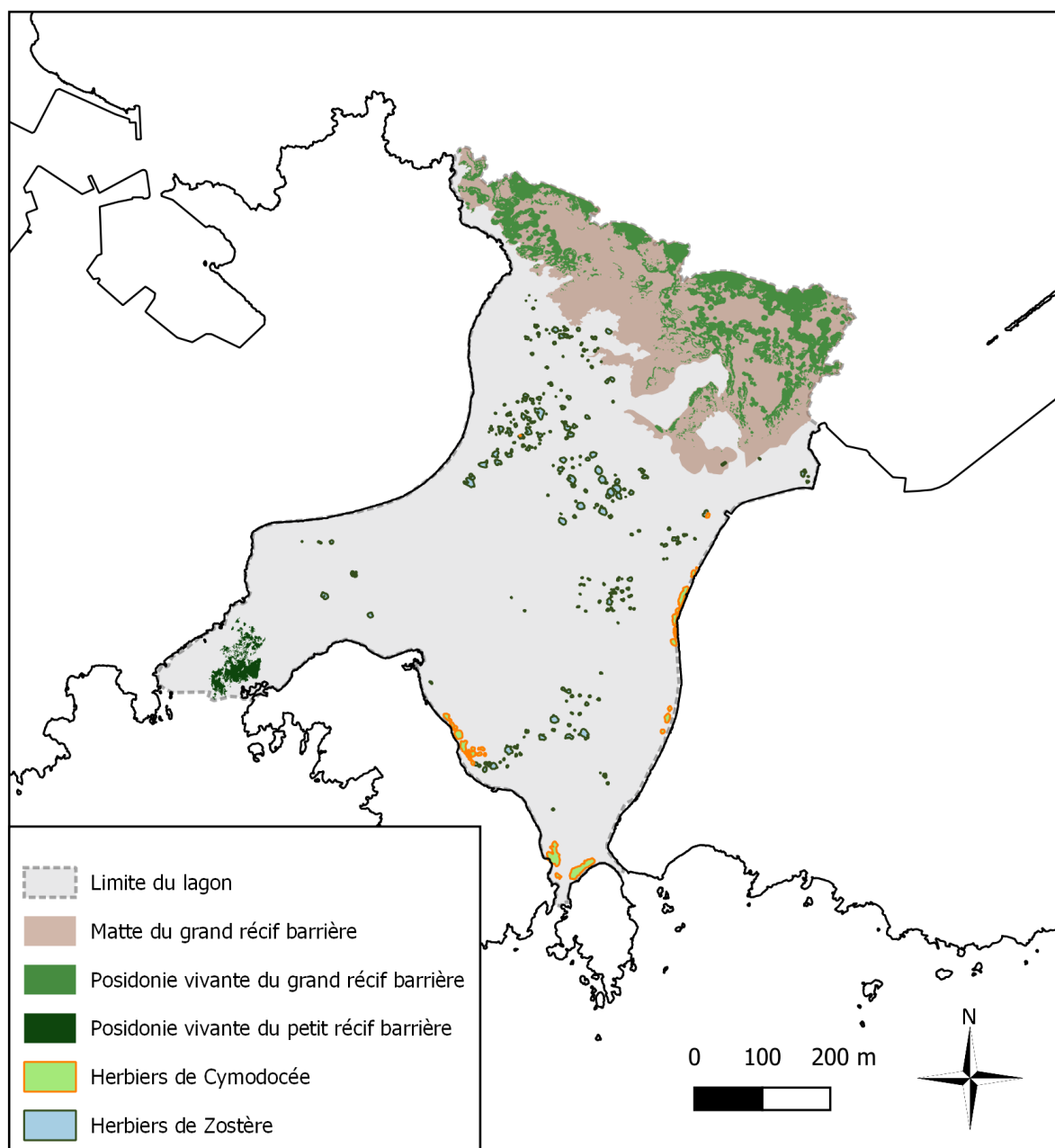


Figure 27: Cartographie des herbiers de magnoliophytes de la lagune du Brusc en 2018.

Le grand récif barrière de posidonie est constitué d'un mélange de matte morte et de posidonie vivante. Son ensemble occupe 22 % de la surface totale de la lagune avec 9,9 hectares dont environ 1/3 soit 3,1 hectares de patches plus ou moins continus de posidonie vivante. Une partie de cet herbier affleure en surface lors des basses mers. La présence d'un mélange de matte morte et de posidonie vivante est un phénomène normal dans la vie d'un récif barrière. En effet, en s'édifiant à la verticale il restreint progressivement le flux d'eau et crée des conditions de vie extrême en particulier sur son front interne si le récif ferme une baie comme c'est le cas au Brusc. Cependant, même en mettant de côté les dégradations directes des aménagements portuaires, sa régression semble anormalement rapide ces dernières décennies pour permettre sa survie sur le long terme (Francour et Sartoretto, 1991). C'est la continuité de ce récif entre les deux berges fermant la baie qui permet de

créer ce lagon unique en son genre. Le morcellement de la posidonie vivante est donc préoccupant car elle joue un rôle direct et indirect de piège à sédiment, important pour le fonctionnement de cet espace. De plus les nombreuses cicatrices visibles dans la matte, due à l'échouage réguliers de navires dans le récif, risque à terme de fragiliser l'intégrité de sa structure (Figure 28).

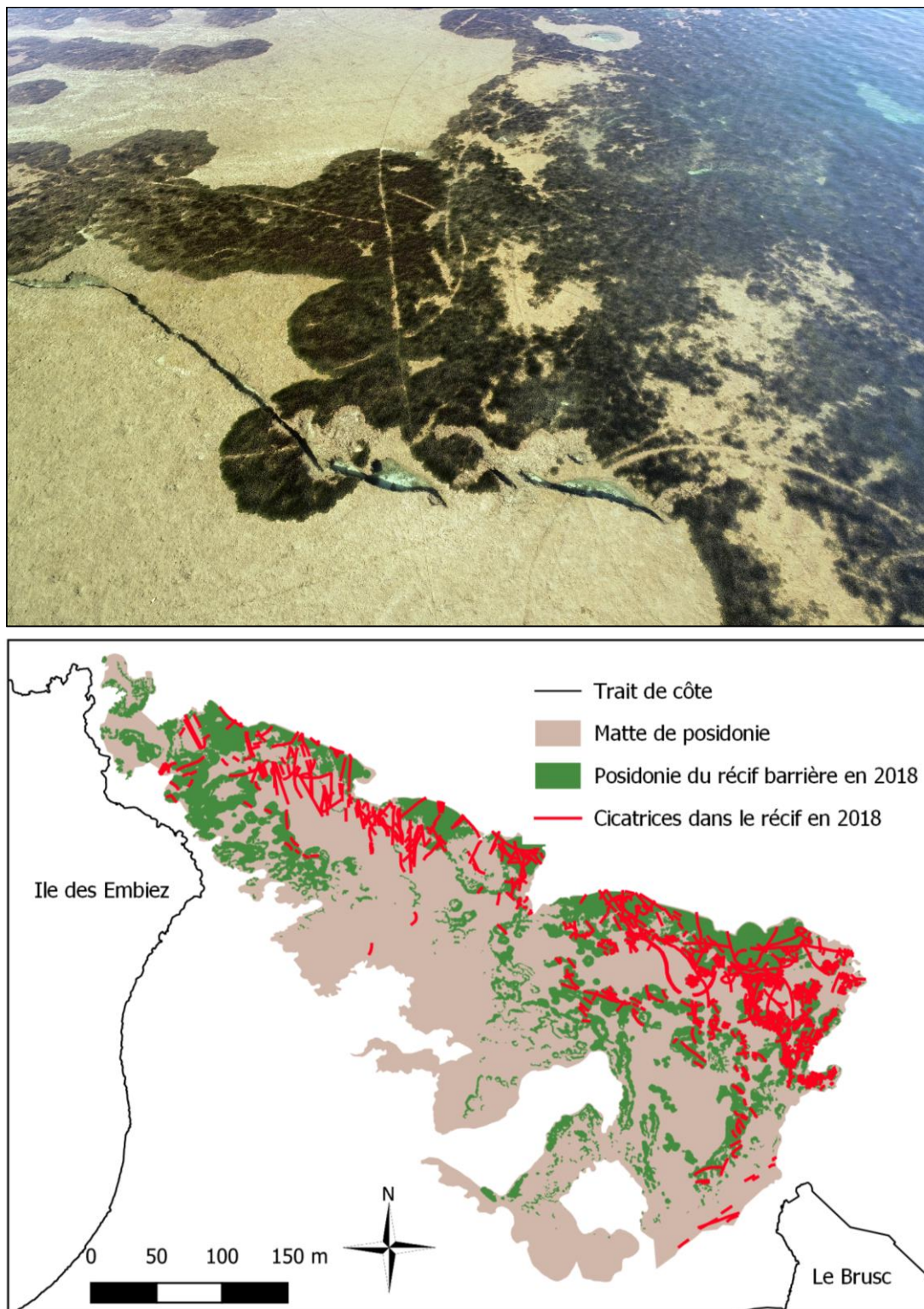


Figure 28 : Traces d'échouages dans la structure du récif barrière qui conduisent à son désagrègement à certains endroits.

Le site a la particularité d’abriter deux récifs barrières. Le second, plus petit, joue néanmoins un rôle essentiel car il limite le flux d’eau, brise l’hydrodynamisme et favorise le piégeage des sédiments au niveau de la plus grande des passes sud de la lagune (Figure 30). Ce récif, qui occupe une surface de 2800 m² a été très peu étudié dans le passé souffrant certainement de l’ombrage du grand récif barrière au nord. La forte fréquentation estivale de cette passe induite par la présence d’une plage côté Grand Gaou et l’absence d’interdiction de piétinement dans cette zone laisse craindre un avenir incertain à moyen terme pour ce récif.

La superficie des herbiers de cymodocée continue d’augmenter en 2018 avec un total de 2080 m². Les patchs et les repousses sont presque exclusivement retrouvés en périphérie de la lagune le long des côtes du Brusc et du Gaou. L’augmentation de la superficie est principalement due aux développements des patchs déjà présents en 2017 (Figure 29 et 30) car il y a très peu de repousses éparses de cymodocée dans l’ensemble de la zone lagunaire. Les herbiers de zostère se développent également en 2018 avec une superficie d’au moins 4740 m². Les patchs avec une très faible densité ne sont pas visibles sur la photomosaïque ainsi que les petites repousses éparses par brins. De plus, les contours de patchs sont souvent composés par quelques rhizomes qui ne sont pas pris en compte. Cette surface totale de zostère est donc légèrement sous-estimée. La zostère se retrouve dans toutes les zones de la lagune avec néanmoins peu d’affinité pour le centre et une forte dominance sur la zone nord-ouest. L’augmentation de la superficie est à la fois due au renforcement des patchs existants en 2017 mais également à l’apparition de nouveaux patchs (Figure 29 et 30). Contrairement à la cymodocée il y a de nombreuses nouvelles pousses de zostère dans la lagune. On peut constater une lente reconquête des herbiers au cœur de la lagune mais dans des proportions encore très faibles au regard de l’étendu de 30 hectares de cymodocée recensée en 2004 (Figure).

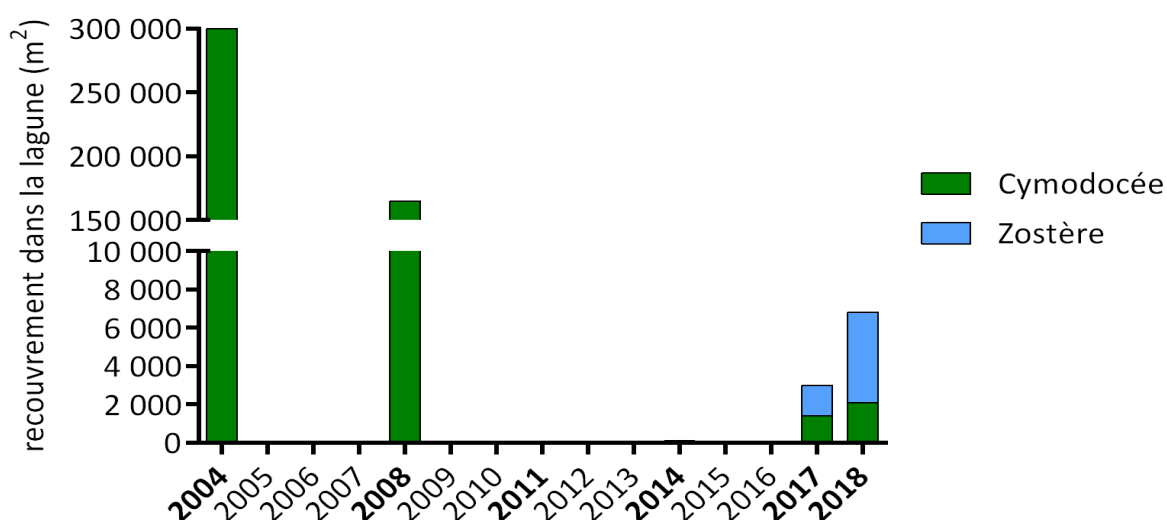


Figure 29: Évolution du recouvrement en herbiers de cymodocée et zostère dans la lagune du Brusc entre 2004 et 2018. En gras, les années où un relevé des herbiers a été effectué. Remarque, en 2004 la zostère n’a pas été quantifiée.

La zostère est la magnoliophyte la plus dynamique en 2018 dans la lagune du Brusc. Cette espèce étant une espèce pionnière dans la succession écologique des magnoliophytes, ce résultat n'est donc pas surprenant. La présence de zostère pourra d'ailleurs peut être servir de facilitateur à l'installation future d'une pelouse de cymodocée. Cependant, si cette tendance se poursuit avec l'installation d'un grand herbier de zostère à la place d'un habitat de pelouse de cymodocée, cela signifie que l'écosystème ne revient pas à court terme à son état antérieur et ne fait pas preuve de résilience.

Afin de suivre l'évolution des herbiers dans la lagune, la densité des faisceaux de cymodocée et zostère a été relevée sur 62 patchs dans la lagune en aout 2018 (Figure 30). La densité moyenne de faisceaux de cymodocée est de 1596 ± 129 faisceaux.m⁻² et présente une variabilité importante entre les patchs allant de 788 à 2225 faisceaux.m⁻². La densité moyenne des faisceaux de zostère est de 1197 ± 161 faisceaux.m⁻² et présente également une très grande variabilité avec des patchs à moins de 100 faisceaux.m⁻² et d'autres allant jusqu'à 3450 faisceaux.m⁻². L'accumulation des données annuelles de densité permettra de discuter de l'évolution et du degré de maturité des herbiers de cymodocée et de zostère dans la lagune.

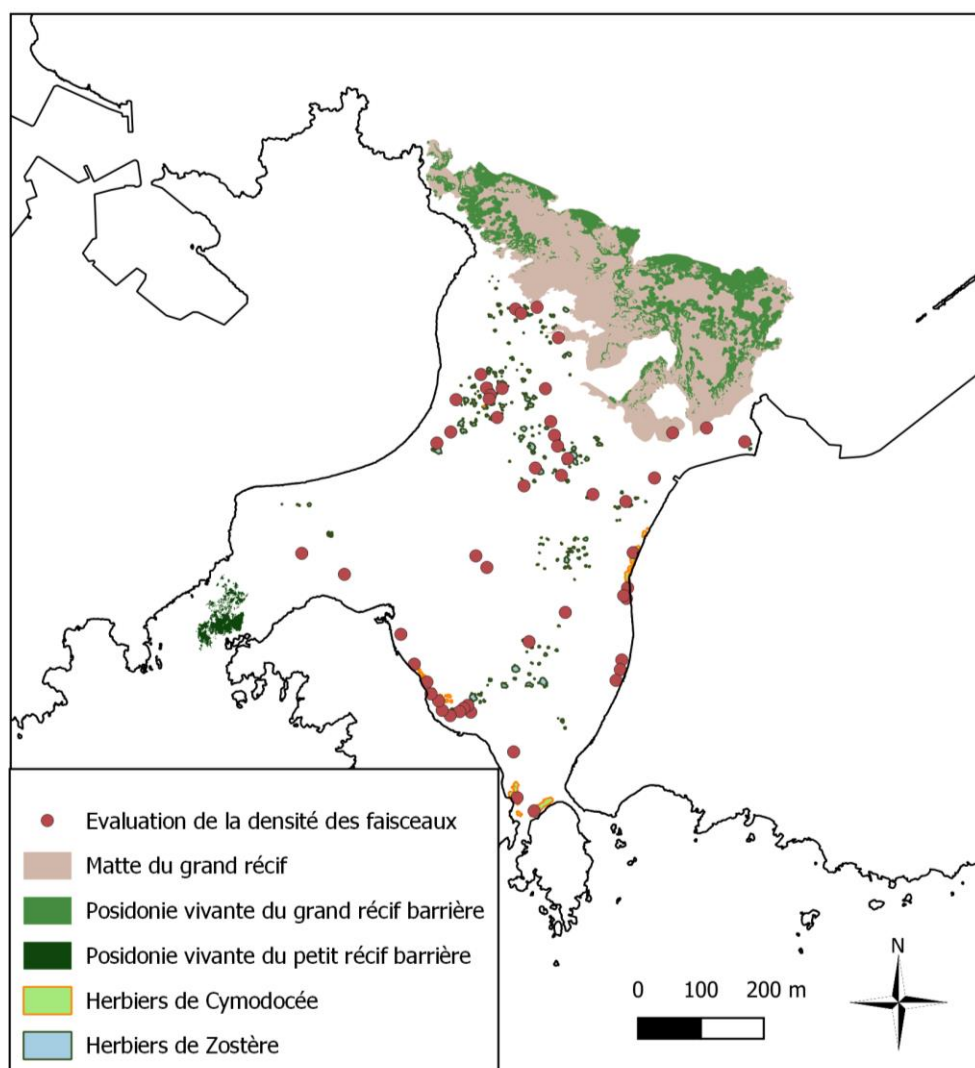


Figure 30 : Points de mesures de la densité des faisceaux de cymodocée et zostère.

2.5.2.3 La lagune du Brusc, une mosaïque d'habitats

La lagune du Brusc est un espace complexe présentant une grande diversité d'habitats fonctionnels sur une surface relativement restreinte. La structure de la lagune du Brusc doit être perçue comme une mosaïque d'habitats (Figure 31) La présence de ces nombreux habitats sur une petite surface favorise les milieux de transitions qui sont des espaces très propices à abriter une biodiversité importante.

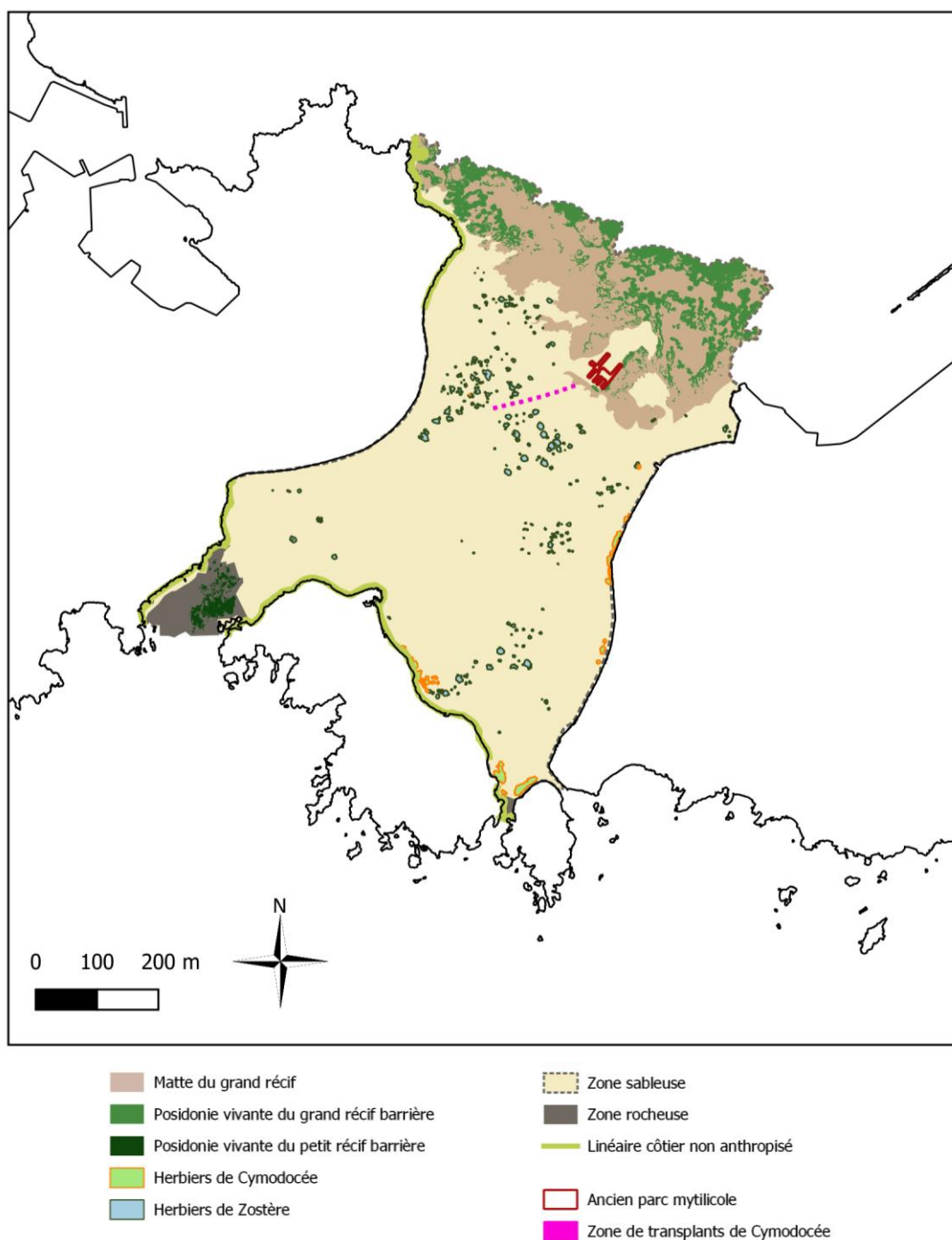


Figure 31 : Mosaïque d'habitats de la lagune du Brusc.

Le recueil d'informations sur ces habitats est issu de vérités terrain, d'images aériennes et de photographies des fonds. De plus, un système d'acquisition de vidéos déployé par le bureau d'étude SEMANTIC TS a permis d'extraire un jeu de données d'environ 4000 photos géoréférencées de la zone lagunaire qui constitue un atlas photographique (Figure 32). Cet atlas permet d'avoir une image de référence des fonds de la lagune en automne 2017.

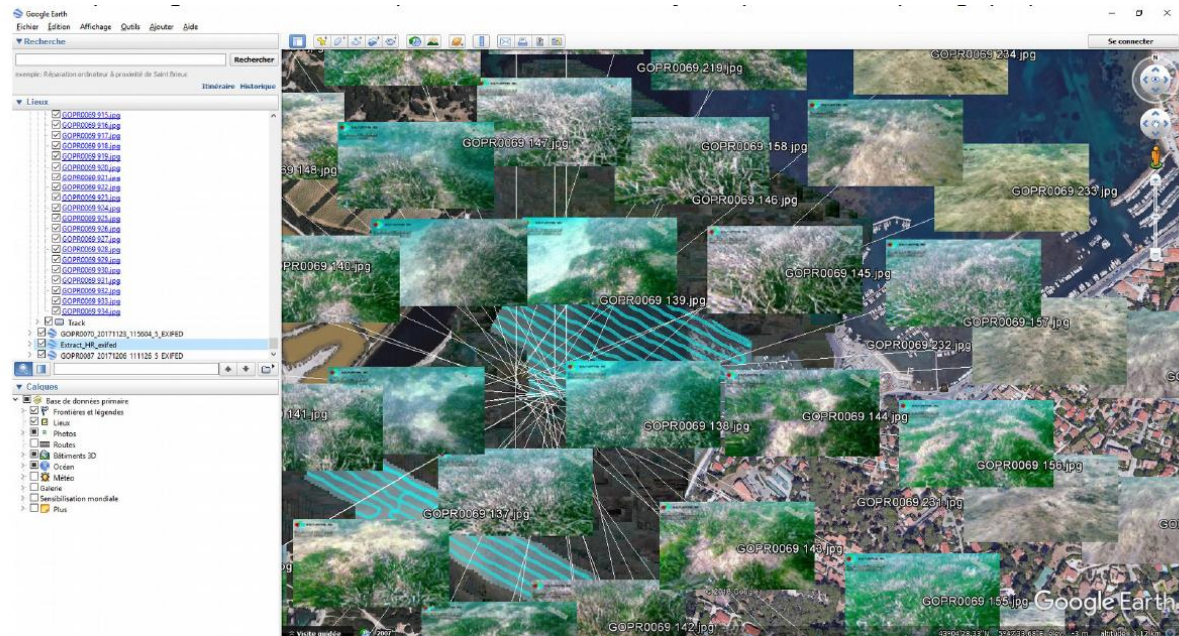


Figure 32 : Présentation de l'atlas photographique. Exemple de photographies sous-marines extraites de vidéos.

La zone sableuse de mode calme est le principal habitat comptant pour un peu moins de 32 hectares. Le grand récif barrière de posidonie arrive en seconde position avec presque 10 hectares de matte dont un peu plus de 3 hectares de posidonie vivante. La forte hétérogénéité spatiale au sein du grand récif forme des micro-habitats très variés et des milieux de transition foisonnants. Nous ne pouvons donc pas strictement considérer qu'un seul point d'échantillonnage dans ce récif est représentatif de son ensemble. Le petit récif barrière compte pour un peu moins de 0,3 hectares et présente un profil différent du précédent. C'est un herbier sur roche, globalement vivant et formé de micro-tombants de matte et de roches d'environ 0,5 m de profondeur. C'est principalement dans ce même espace, au niveau de la passe des Embiez, et en moindre mesure dans les deux autres passes plus petites, qu'on trouve la majeure partie de l'habitat rocheux qui compte au total pour 1,2 hectares. Cet habitat présente un faciès de roche nue ou de petit fond à algues photophiles en fonction de la saison mais aussi de l'exposition à la houle. Les herbiers de petites magnoliophytes marines comptent pour un peu moins de 0,7 hectares avec environ deux fois plus de zostère que de cymodocée. L'efficacité en tant qu'habitat de ces herbiers est fortement dépendant de la taille des patchs et de la densité en faisceaux (Boström *et al.*, 2011). Les relevés effectués sur une seule zone d'herbiers ne peuvent donc pas être formellement représentatifs de l'ensemble des patchs dans la lagune. Le linéaire côtier est pour moitié anthropisé avec principalement une digue côté Bruscat et un enrochement côté

Embiez. La partie peu ou pas anthropisée est principalement une zone sableuse au niveau du Gaou et une zone rocheuse aux Embiez. Un ancien parc mytilicole occupe une superficie d'environ 0,3 hectare en plein cœur de la lagune. Il apporte une surface sur laquelle ont été ajoutés de petits récifs artificiels pour complexifier une partie de cet espace. Actuellement, l'absence de continuum au sein des herbiers de magnoliophytes et la présence de grands espaces sableux est défavorable à l'installation d'une biodiversité foisonnante, ainsi qu'un milieu moins propice de nurserie pour les poissons. Les interactions et les espaces de transitions entre les habitats influencent les fonctions de la mosaïque d'habitats dans son ensemble (Boström *et al.*, 2011). Le corridor de cymodocée transplantée a cette double vocation de créer une zone de transition et d'interactions ainsi qu'une zone de transit entre les habitats, parc à moules, récif barrière et zostère jusqu'au littoral des Embiez.

2.5.2.4 Dynamique du peuplement de poissons dans la lagune

2.5.2.4.1 Propos introductifs et plan d'échantillonnage

La lagune du Brusç est une mosaïque d'habitats dont les proportions sont très variables. À cela s'ajoute la multiplication des zones d'interfaces ainsi que la complexité tri-dimensionnelle, le stade de maturité et les fonctions de chaque habitat qui ne sont pas estimées. La diversité des habitats de la lagune du Brusç rend ce milieu favorable à abriter une biodiversité importante sur une petite surface ce qui le rend particulièrement intéressant pour étudier la dynamique et le fonctionnement d'un peuplement ichtyologique de petits fonds côtiers méditerranéens.

Malgré la perte de la pelouse de cymodocée, cette zone reste un site de nurserie favorable pour des espèces de poissons côtiers avec l'arrivée de post-larves sur la zone, puis l'installation et la croissance de juvéniles dans des habitats de la lagune (Kirchhofer *et al.*, 2016 ; Lyonnet, 2017). Dans un contexte de forte dégradation de la lagune au XXI^{ème} siècle et de restauration écologique du site, l'efficacité, le fonctionnement et l'évolution de cette nurserie est suivi dans le programme SAR-LAB.

Les variations intra et interannuelles des peuplements de poissons, et particulièrement des juvéniles, sont très élevées. Il est donc important d'effectuer un suivi fréquent, qui couvre toutes les saisons et qui s'échelonne sur plusieurs années. Un comptage visuel en plongée est donc réalisé sur un pas de temps de 2 semaines pendant toute l'année sur l'intégralité de la période du programme SAR-LAB. Ce pas d'observation permettra de visualiser des variations à l'échelle mensuelle. Les comptages concernent les poissons de toutes tailles visibles le long d'un transect ou sur une durée de 3 minutes en points fixes. Le niveau le plus précis d'identification (idéalement au stade de l'espèce) est relevé pour chaque individu rencontré ainsi que sa taille à 5 mm près.

Les différents habitats (naturels et les aménagements) doivent être suivis dans le contexte de notre étude (Figure 33). L'objectif étant de prendre en compte la notion d'habitat, le protocole choisi est celui d'un échantillonnage stratifié. Cela implique qu'à l'échelle de la

lagune les résultats s'interprètent comme étant ceux de la mosaïque d'habitats. Toutefois, le nombre fixé de répliques par habitat implique que des calculs de pondérations devraient être pris en compte pour estimer plus formellement les résultats à l'échelle de la lagune. En d'autres termes, les résultats obtenus sur un habitat ou un équipement particulier doivent être rapportés à sa proportion en surface (voir idéalement en recouvrement tri-dimensionnel) par rapport à l'ensemble des habitats de la mosaïque. Concrètement, une observation en zone sableuse qui occupe 70 % de la lagune a plus de poids qu'une autre obtenue sur la cymodocée naturelle qui occupe un peu moins de 0,5 % de la zone.

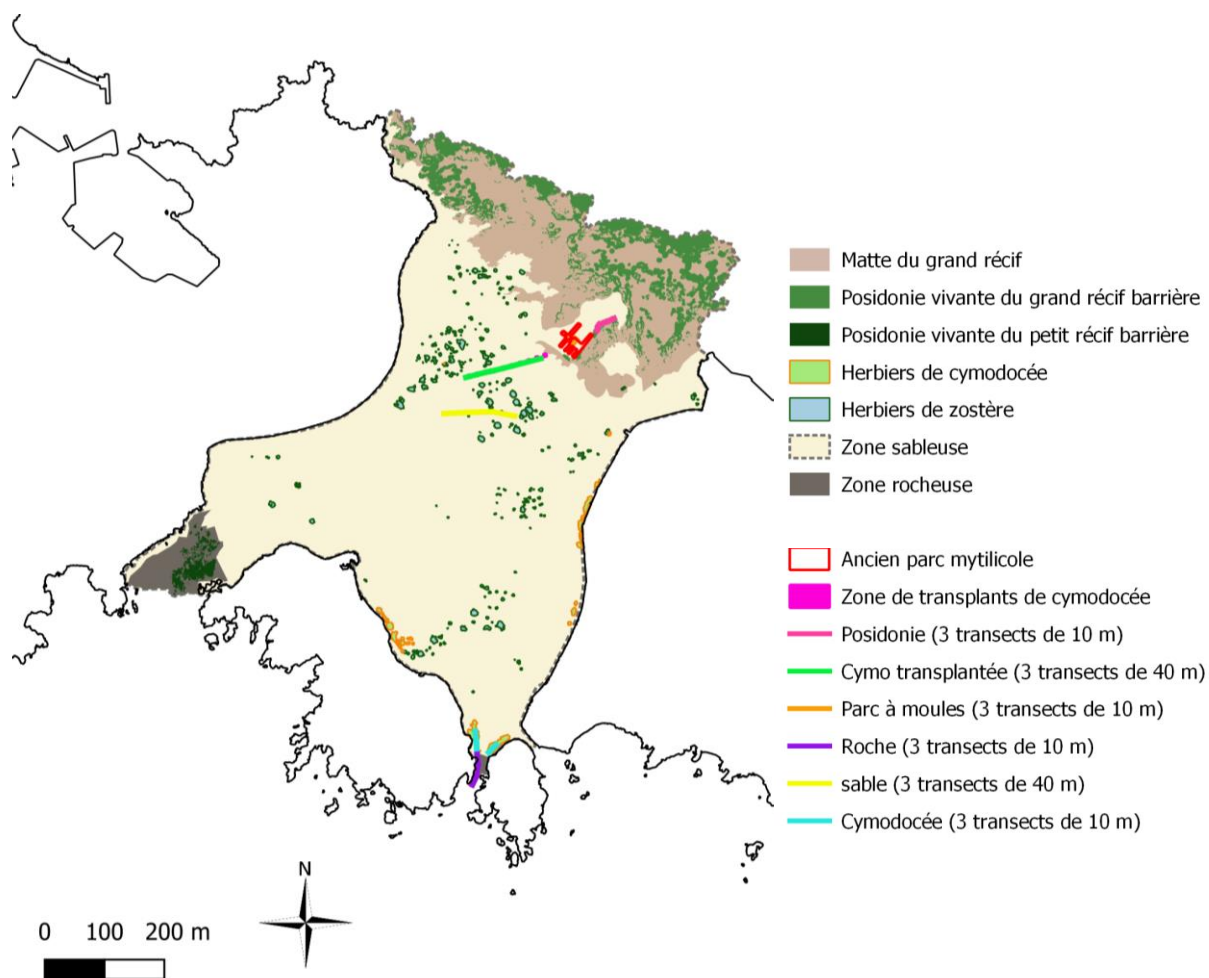


Figure 33 : Zones de comptages dans la lagune du Brusc.

2.5.2.4.2 Jeu de données

Une discussion sur l'écosystème de la lagune du Brusc et la dynamique des peuplements de poissons sera approfondie à la fin du programme SAR-LAB. Dans ce rapport, des données préliminaires sont présentées afin de montrer les types de résultats qui peuvent être obtenus et discutés à l'aide de notre plan d'échantillonnage. Les comptages ont commencé en mars 2018. Afin de donner plus de sens à nos observations, les résultats ci-dessous traitent une année complète ce qui implique de présenter des données du début d'année 2019. Enfin, les résultats qui traitent de poissons adultes ou juvéniles seront modifiés d'ici à la fin du programme SAR-LAB. En effet, les tailles correspondant aux différents stades

juvéniles pour une espèce donnée sont encore méconnues. Ceux sélectionnés ici sont adaptés de l'ouvrage « Atlas des post-larves de poissons de Méditerranée occidentales ». Cependant, la somme de nos observations nous permettra d'ajuster plus finement ces tailles à l'avenir.

Un total de 28 778 poissons dont 26 092 appartenant à 37 espèces identifiées, ont été inventoriés sur la mosaïque d'habitats de la lagune (dont 77,6 % sont représentés par les *Atherina boyeri* (Figure 34 et Tableau 2). Les autres n'ont pu être déterminés spécifiquement. Les athérines sont des poissons fourrages se déplaçant principalement en banc. Elles n'ont pas de profil de distribution particulier et sont retrouvées en forte abondance, induisant un poids très important sur le jeu de données. Les analyses suivantes sont donc réalisées sans les athérines et les individus indéterminés jusqu'au niveau de l'espèce. L'analyse de la matrice se base alors sur 36 espèces composées de 5 877 individus dont 2 839 poissons adultes et 3 038 poissons juvéniles. En prenant en compte l'ensemble du jeu de données, la distribution des espèces est très inégale et différente entre les stades adulte et juvénile (Figure 35).

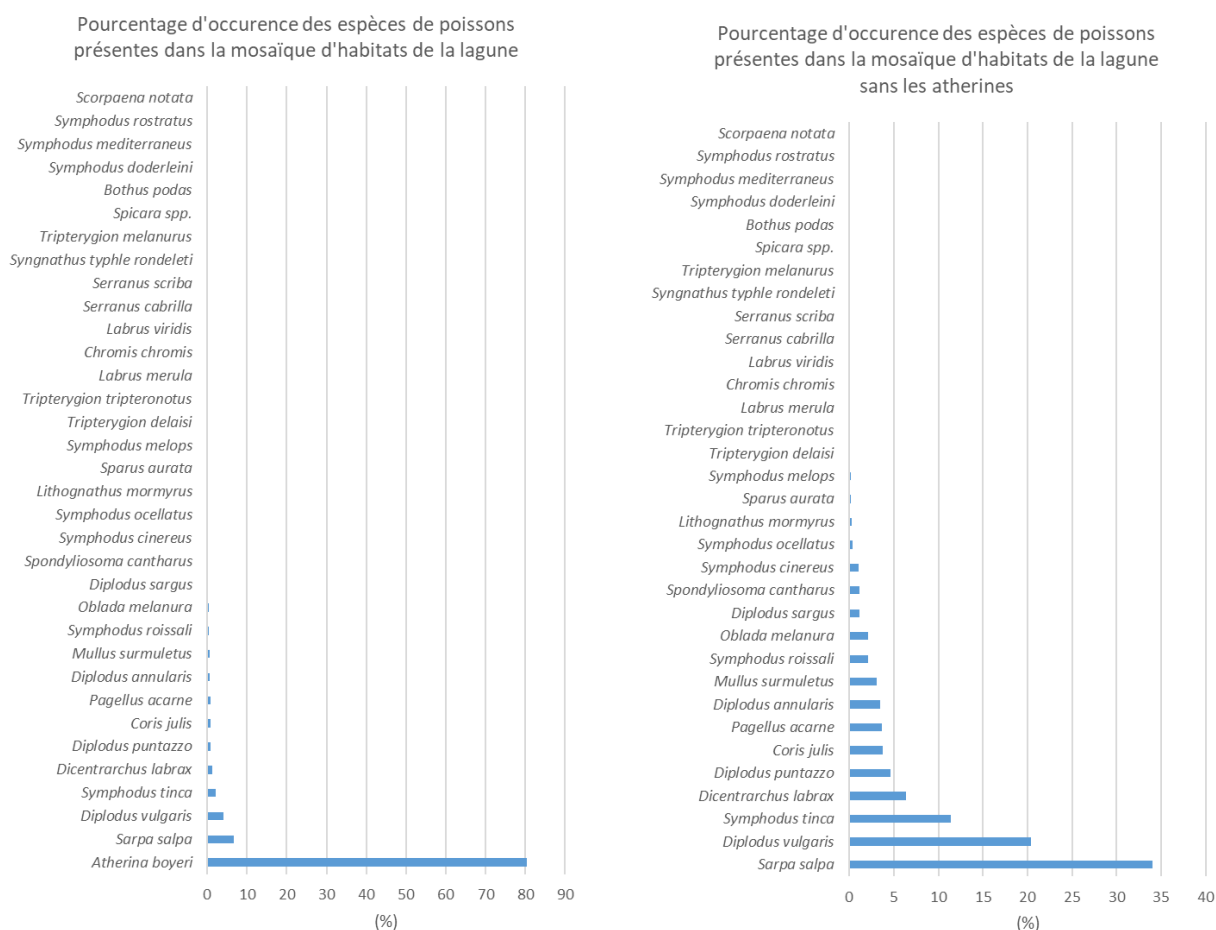


Figure 34 : Histogramme des pourcentages d'occurrence de chaque espèce de poissons dans la mosaïque d'habitats de la lagune hors pondération de la surface de chaque habitat.

Famille	Genre	Espèce
Atherinidae	Atherina	<i>Atherina boyeri</i>
	Belone	<i>Belone belone</i>
Blenniidae	Blenniidae	<i>Blenniidae spp.</i>
	Parablennius	<i>Parablennius gattorugine</i> <i>Parablennius pilicornis</i>
Bothidae	Bothus	<i>Bothus podas</i>
Centracanthidae	Spicara	<i>Spicara spp.</i>
Gobiidae	Pseudaphya	<i>Pseudaphya ferreri</i>
	Coris	<i>Coris julis</i>
	Labrus	<i>Labrus merula</i>
		<i>Labrus viridis</i>
Labridae	Symphodus	<i>Symphodus cinereus</i>
		<i>Symphodus doderleini</i>
		<i>Symphodus mediterraneus</i>
		<i>Symphodus melops</i>
		<i>Symphodus ocellatus</i>
		<i>Symphodus roissali</i>
		<i>Symphodus rostratus</i>
		<i>Symphodus tinca</i>
Moronidae	Dicentrarchus	<i>Dicentrarchus labrax</i>
Mugilidae	Liza	<i>Liza aurata</i>
Mullidae	Mullus	<i>Mullus surmuletus</i>
Pomacentridae	Chromis	<i>Chromis chromis</i>
Scorpaenidae	Scorpaena	<i>Scorpaena notata</i>
		<i>Scorpaena porcus</i>
Serranidae	Serranus	<i>Serranus cabrilla</i>
		<i>Serranus scriba</i>
	Diplodus	<i>Diplodus annularis</i>
		<i>Diplodus puntazzo</i>
		<i>Diplodus sargus</i>
		<i>Diplodus vulgaris</i>
Sparidae	Lithognathus	<i>Lithognathus mormyrus</i>
	Oblada	<i>Oblada melanura</i>
	Pagellus	<i>Pagellus acarne</i>
	Sarpa	<i>Sarpa salpa</i>
	Sparus	<i>Sparus aurata</i>
	SpondylIOSoma	<i>SpondylIOSoma cantharus</i>
Syngnathidae	Syngnathus	<i>Syngnathus typhle rondeleti</i>
		<i>Tripterygion delaisi</i>
Tripterygiidae	Tripterygion	<i>Tripterygion melanurus</i>
		<i>Tripterygion tripteronotus</i>

Tableau 2 : Poissons identifiés dans la mosaïque d'habitats de la lagune.

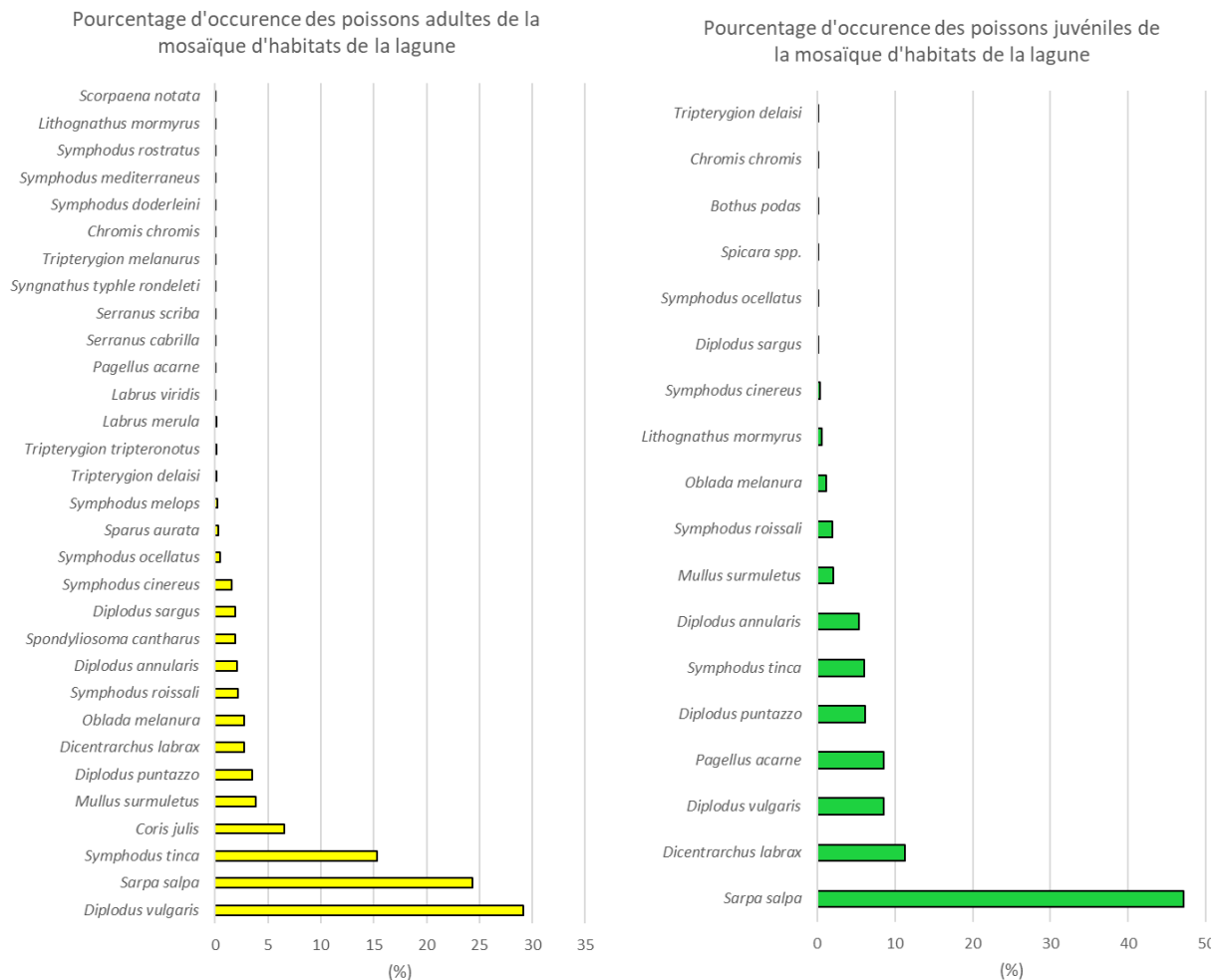


Figure 35 : Histogramme des pourcentages d'occurrence de chaque espèce de poissons sans les athérines au stade adulte (en jaune) et au stade juvénile (en vert) dans la mosaïque d'habitats de la lagune hors pondération de la surface de chaque habitat.

2.5.2.4.3 Évolution spatiale

À l'échelle des habitats, la répartition des espèces et des individus est très inégale. Aucune espèce n'a été observée sur tous les habitats et aucun habitat n'est utilisé par toutes les espèces. Les espèces retrouvées sur le plus d'habitats (soit 4 habitats sur 6) sont la saupe (*Sarpa salpa*) aussi bien au stade adulte qu'au stade juvénile ainsi que le crénilabre tanche (*Symphodus tinca*) au stade adulte. Les espèces n'utilisant qu'un seul habitat sont le sparailon (*Diplodus annularis*) au stade adulte et le pageot acarné (*Pagellus acarne*) au stade juvénile. Enfin, la girelle (*Coris julis*) est retrouvée uniquement au stade adulte alors que le sar à museau pointu (*Diplodus puntazzo*) et le pageot acarné ne sont présents qu'au stade juvénile dans la lagune. La diversité α est la plus importante sur la roche et la plus faible sur le sable (Tableau 3). De plus, il y a presque deux fois plus d'espèces et 40 fois plus d'individus retrouvés sur la cymodocée que sur le milieu sableux. La forte diversité sur le sable (voir indices de diversité (Tableau 3) indique dans ce cas précis une zone de passage d'espèces observées très ponctuellement lors du déplacement d'un habitat à un autre. Le protocole d'échantillonnage mis en place ne permet de définir la zone sableuse de la lagune comme un

habitat favorable aux poissons. En effet, aucune espèce retrouvée sur le sable ne l'utilise réellement comme habitat même pour celles ayant des affinités pour ce milieu comme le marbré (*Lithognathus mormyrus*) ou le rouget barbet de roche (*Mullus surmuletus*) car elles n'y sont vues que très ponctuellement. Cependant, les observations en dehors des zones de comptages nous permettent de penser que ces espèces, ainsi que des espèces de gobies utilisent bien le sable comme zone d'habitat, mais dans des densités d'individus très faibles. Même si la fonction écologique de l'ancienne pelouse de cymodocée était certainement très différente des quelques patches de cymodocée présents en 2018 dans la lagune, l'apparition d'une vaste zone sableuse à la place des herbiers a très clairement fait chuter la productivité et le dynamisme écosystémique de la lagune du Brus. À la suite de cette dégradation, la majeure partie de la lagune (presque 32 hectares) ne peut plus être considérée comme un habitat efficace.

Habitat	Richesse spécifique (nb d'espèces)	Densité (Ind.10m ⁻²)	Indice de diversité		
			J'	D	1-Hill
Mosaïque	36		0,62	0,97	0,96
Cymodocée	15	20,1	0,62	0,69	0,86
Cymodocée transplantée	19	16	0,76	0,86	0,95
Parc à moules	18	38,9	0,68	0,81	0,93
Posidonie	15	21,8	0,42	0,47	0,6
Roche	27	14,7	0,51	0,64	0,87
Sable	8	0,5	0,87	0,82	0,91

Tableau 3 : Descripteurs et indices de diversité du peuplement de poissons dans les différents habitats (Indice de Pielou J' ; indice de Simpson D ; indice de Hill 1-Hill). La densité à l'échelle de la mosaïque d'habitat n'est pas précisée car aucune pondération par surface d'habitat n'a été réalisée.

2.5.2.4.4 Évolution temporelle

À l'échelle de la mosaïque d'habitats de la lagune, un cycle annuel se distingue entre juillet et décembre pour les poissons adultes tandis que la présence des poissons juvéniles est continue sur toute l'année (Figure 36).

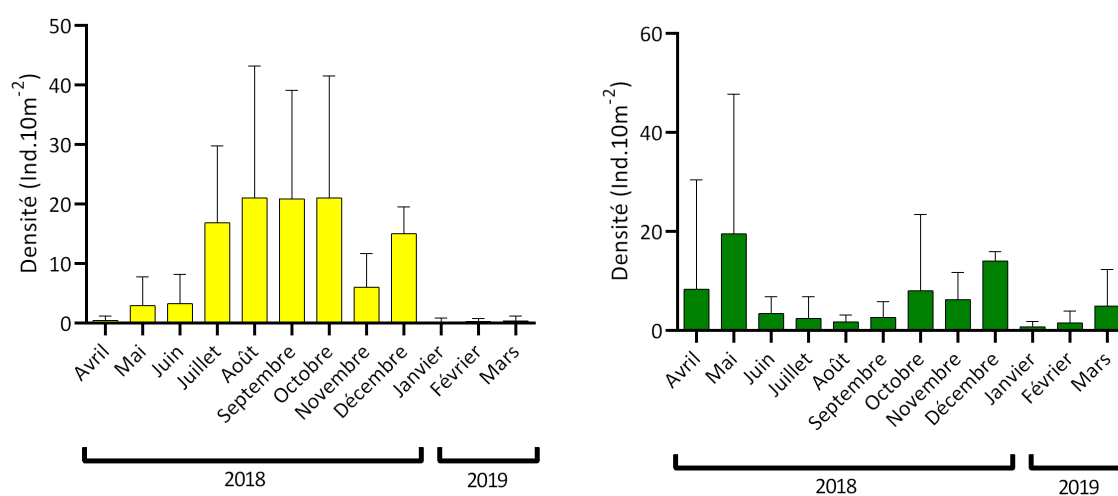


Figure 36 : Densité des poissons adultes (en jaune) et juvéniles (en vert) dans la mosaïque d'habitats de la lagune.

La présence de juvéniles en continu est due à la succession d'espèces aux périodes de recrutement différentes. Par exemple, sur la posidonie, les juvéniles de sparailleurs (*Diplodus annularis*) sont présents en été et en automne alors que les juvéniles de sars à tête noire (*Diplodus vulgaris*) sont présents en hiver et au printemps (Figure 37).

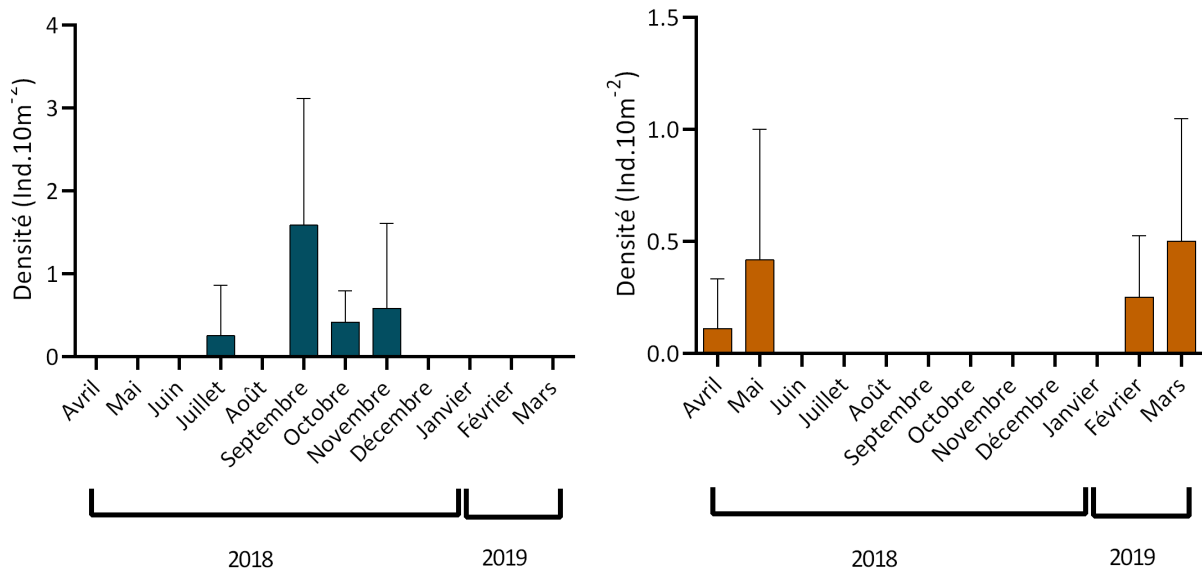


Figure 37 : Densité dans la posidonie des sparailleurs juvéniles (en bleu) et des sars à tête noire juvéniles (en orange).

Les arrivées et départs de la lagune ne suivent également pas le même profil entre les adultes et les juvéniles en fonction de espèces. Par exemple, dans la cymodocée transplantée, les rougets barbet de roche (*Mullus surmuletus*) adultes et juvéniles arrivent et partent à la même période alors que les sars à tête noire adultes et juvéniles ne s'y trouvent pas aux mêmes périodes de l'année (Figure 38).

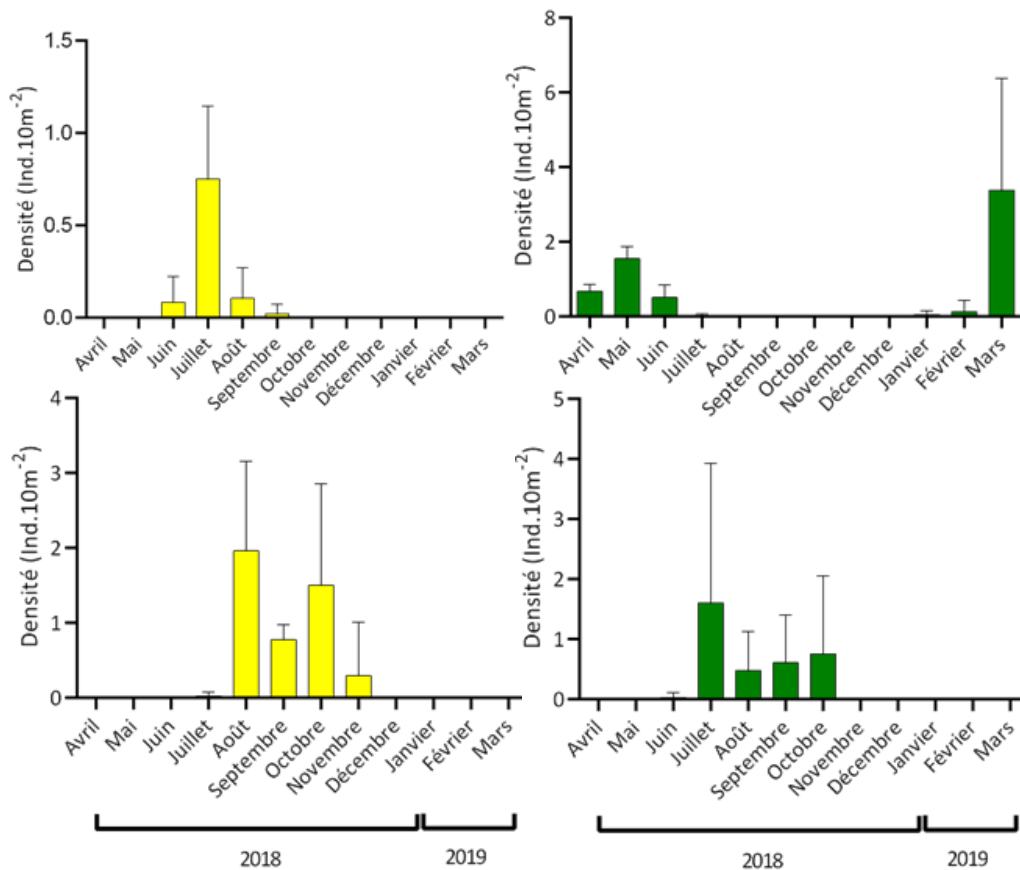


Figure 38 : Densité dans la cymodocée transplantée des sars à tête noire (en haut) et des rougets barbet de roche (en bas), aux stades adulte (en jaune) et juvénile (en vert).

La multiplication des comptages permettra de discuter précisément du fonctionnement et de la dynamique de la communauté ichthyologique dans la lagune. Pour prendre un exemple, la lagune n'est pas un habitat favorable aux sars à tête noire adultes. En effet, la profondeur y est trop faible pour ce poisson qui se nourrit principalement sur les tombants sciaphiles. Cependant, la mosaïque d'habitats de la lagune est une zone de nurserie pour cette espèce. On peut en effet constater l'arrivée de post larves et de juvéniles stade I d'octobre à novembre puis une croissance progressive de cette cohorte jusqu'à leur départ de la lagune en fin de stade juvénile IV après une année passée dans la lagune (Figure 39). L'acquisition de données sur plusieurs années permettra de discuter finement des relations entre les habitats, de leurs fonctions, et de l'évolution de la zone lagunaire sur la dynamique de la communauté ichthyologique.

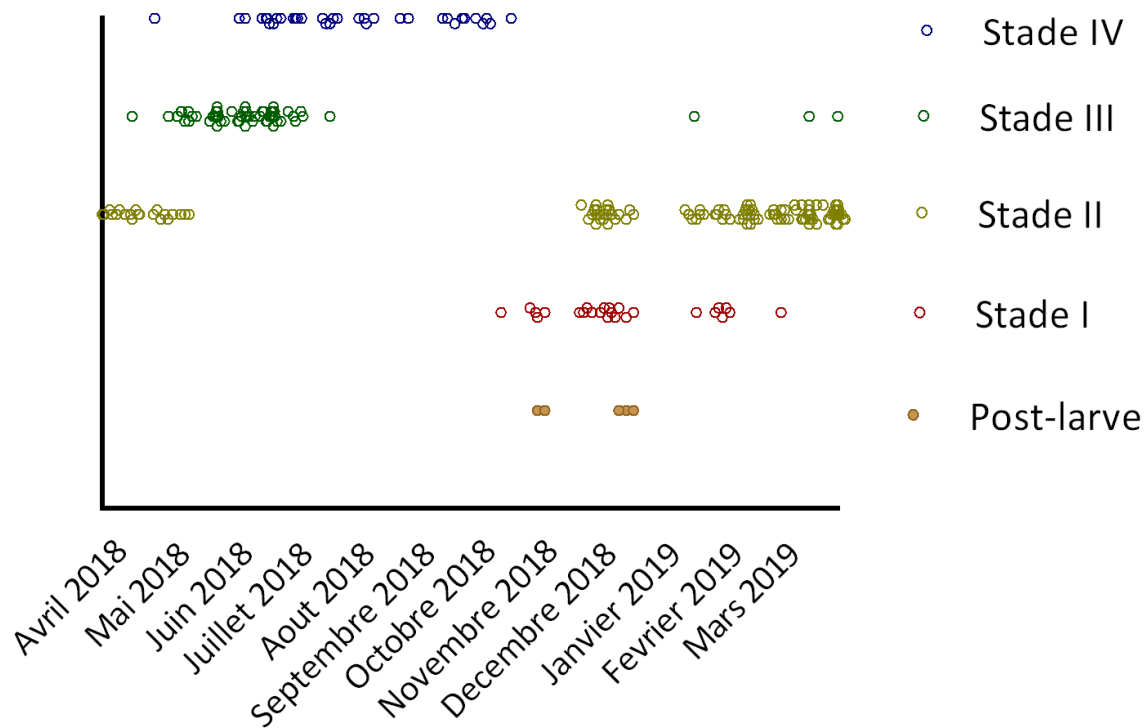


Figure 39 : Représentation de la succession des classes de taille de sar à museau pointus dans la mosaïque d'habitats de la lagune. Chaque rond correspond à une observation. Le stade post-larve correspond à une taille de 10 mm ; le stade I à une taille de 15 mm ; le stade II entre 20 et 35 mm ; le stade III entre 40 et 75 et le stade IV à une taille de plus de 80 mm.

2.6. Conclusion

Le lagon du Brusc est un espace unique sur notre littoral et ses valeurs écologiques et patrimoniales sont inestimables. Les nombreuses pressions anthropiques directes et indirectes ont fortement et durablement dégradé ce site. Le rechargement en sable des plages environnantes a induit la disparition de la pelouse de cymodocée laissant place à une vaste zone sableuse dont les fonctions écologiques sont très faibles aux regards des bienfaits et services écosystémiques des herbiers de magnoliophytes. Depuis quelques années, à la suite de l'interruption du rechargement en sable, les herbiers de cymodocée et de zostère commencent une lente recolonisation du site. Cependant, la dynamique actuelle laisse présager une modification durable de l'écosystème du lagon avec la présence pour de nombreuses années d'une grande zone sableuse suivie de l'installation d'une pelouse de zostère montrant une incapacité de résilience de la lagune à moyen terme. Dans ce contexte, des travaux de restauration écologique mais également de suivis scientifiques de la dynamique et du fonctionnement de la lagune du Brusc sont importants à mettre en œuvre. Ils permettront de soutenir la fonction de nurserie de la lagune et d'y favoriser le retour de la cymodocée, ainsi que d'apporter les connaissances fondamentales nécessaires à la compréhension et à la bonne gestion de la lagune du Brusc.

3. Réhabilitation écologique de la fonction de nurserie de poissons dans les ports du Brusc et des Embiez.

3.1. Introduction

Les infrastructures portuaires représentent la principale cause d'artificialisation du trait de côte. Leur implantation engendre une destruction, transformation et homogénéisation de l'habitat. La réduction de la complexité de l'habitat et son homogénéité provoquent une diminution de l'abondance et de la survie des organismes (Mercader et al., 2017 et bibliographie associée). Les ports sont construits sur la frange littorale souvent en fond de baie, dans des criques plutôt abritées. Ces sites, en l'absence d'aménagements et de pressions anthropiques sont connus pour comporter des habitats particulièrement propices à la fonction de nurserie pour de nombreuses espèces de poissons côtiers. La perte de ces habitats de nurseries a donc des conséquences non négligeables sur le renouvellement des communautés de poissons adultes.

Depuis 2011, plusieurs études pilotes ont été menées, en particulier en Méditerranée, avec l'objectif d'utiliser l'ingénierie écologique pour réhabiliter une fonction de nurserie à l'intérieur des ports (Lenfant et al. 2015). Cela consiste à pallier la dégradation de l'habitat en fixant des microstructures artificielles, complexes et tridimensionnelles sur les ouvrages portuaires. Ces travaux supportent donc l'idée que les ouvrages portuaires peuvent être modifiés structurellement pour augmenter leur attractivité et leur qualité pour la survie des juvéniles de poissons, ce qui leur permettrait de contribuer au maintien des populations de poissons tout en assurant leurs fonctions premières. Ces hypothèses se basent sur un socle solide de connaissances sur la biologie et la physiologie des premiers stades de vie chez les poissons (Bouchouca, 2017). Les principaux programmes réalisés sont le programme Nappex qui s'est déroulé dans des ports de la région Languedoc-Roussillon. L'opération RESPIRE a ensuite été une extension du programme NAPPEX en région Provence Alpes Côte d'Azur dans une quinzaine de ports ainsi que dans un port Corse. Le programme GIREL a quant à lui été mené dans l'enceinte du port maritime de Marseille. Ces études ont mis en évidence que lorsqu'on augmente la complexité de la structuration des zones verticales des infrastructures portuaires (quais, pontons) en installant des micro-récifs artificiels (Biohuts®), cela favorise l'attraction et la survie des plus jeunes stades de vie des poissons (Bouchouca et al., 2016 ; Mercadet et al., 2017).

Depuis, de nombreux ports de la côte méditerranéenne française et même dans d'autres pays se sont équipés en micro-habitats artificiels de type Biohuts® pour en améliorer la fonction de nurserie.

Toutefois, il ne faut pas oublier que les zones portuaires sont des milieux très particuliers, concentrant de nombreuses activités anthropiques et réceptacles de multiples pollutions organiques, microbiologiques et chimiques pouvant entraîner des conséquences délétères

sur la santé ou le comportement des poissons, en particulier durant leur stade de vie les plus précoces (Bouchoucha 2017, et bibliographie associée). Par conséquent, pour envisager une action de réhabilitation dans un port, celui-ci doit déjà avoir mis en place des actions de maîtrise et gestion des contaminants chimiques et/ou biologiques ou avoir déjà intégré dans sa politique de gestion des actions de réhabilitation.

Compte tenu des résultats des différentes études réalisées sur l'amélioration de la fonction de nurserie de poissons dans des infrastructures portuaires par l'installation de micro-récifs artificiels et des recommandations associées, nous avons proposé dans le programme SARLAB d'équiper le port du Brusca et le port des Embiez en micro-récifs « Biohut® » conçus par la société Ecocéan. Dans cette action, l'IOPR réalise des suivis scientifiques à haute fréquence (2 fois par mois) et sur toute l'année des communautés de poissons, particulièrement au stade juvénile. Les données acquises permettront d'améliorer les connaissances dans ce domaine et de tester l'attractivité de nouveaux types de Biohut.

Dans cette action, l'attribut écosystémique clé est l'amélioration de la fonction de nurserie de poisson. L'indicateur choisi pour mesurer l'efficacité de l'action est le peuplement de juvéniles de poissons.

3.2. Réhabilitation écologique de la fonction de nurserie de poissons dans le port du Brusc

3.2.1 Contexte

À l'origine, le port du Brusc était un petit port de pêche où s'exerçait la pêche artisanale pour une quinzaine de petites embarcations de moins de 12 mètres. C'est un site chargé d'histoire qui pratique cette pêche aux petits métiers au caractère identitaire fort, et destiné à alimenter le commerce local. Plusieurs générations de pêcheurs se sont succédées au fil des années et perpétuent les différentes traditions.

Ce port se situe à la limite nord-est de la lagune du Brusc. Au cours des décennies, ce port s'est agrandi en se tournant vers des activités plaisancières et touristiques (Figure 40). Plusieurs extensions ont été construites, principalement dans la partie sud-ouest, en partie sur le récif barrière de posidonie, entraînant une perte directe d'habitats et des modifications hydrologiques et sédimentaires (Simide et Abello, 2020). Actuellement ce port compte plus de 800 places de bateaux. Il a déjà fait l'objet d'équipement en micro-récifs nurserie Biohut® lors du programme RESPIRE.



Figure 40 : Vue aériennes des aménagements du port du Brusc en 1955 (photo de gauche) et en 2017 (photo de droite) (Données : IGN).

Dans le cadre du programme SARLAB, nous avons équipé le port du Brusc en micro-récifs nurserie Biohut® afin de restaurer la fonction de nurserie de poissons de ce site dont les habitats naturels ont été dégradés. Ce port semble propice à ce genre d'opération car il a été construit au fil du temps sur le récif barrière de posidonie qui est un habitat propice à la fonction de nurserie, mais aussi pour sa proximité avec d'autres habitats rocheux, sableux et des herbiers de posidonies. Ces habitats sont caractéristiques des petits fonds côtiers dans cette région et abritent une grande abondance et diversité de poissons juvéniles et adultes.

Ce port a aussi l'avantage d'être relativement peu confiné, ce qui garantit le renouvellement de l'eau dans son enceinte.

3.2.2 Action de réhabilitation de la fonction nurserie

L'équipement du port du Brusc en micro-récifs nurserie (Biohut®) a succédé à une phase de diagnostic et de demande d'autorisations menée par l'IOPR en concertation avec la société ECOCEAN, la capitainerie ainsi que la structure exploitant ce port : Port Toulon Provence Méditerranée

Au cours du mois de décembre 2017, 57 micro-récifs nurserie (Biohut®) ont été installés par la société ECOCEAN dans le port du Brusc. A ce dispositif s'ajoute les 9 Biohut® ponton déjà présents pour le programme RESPIRE. Compte tenu de la configuration de ce port et des très faibles profondeurs rencontrées le long des quais, la plupart des structures (45) ont été installées sous des pontons flottants et 12 contre les quais (Figure 41). La répartition des Biohut® est la suivante :

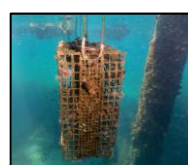
- 39 Biohut® ponton,
- 12 Biohut® quai,
- 6 Biohut® KELP ponton.



Biohut® quai



Biohut® KELP



Biohut® ponton



Figure 41 : Photos des différents types de Biohut et localisation des dispositifs Biohut dans le port du Brusc.

3.2.3 Suivis écologiques

3.2.3.1 Matériel et méthode

Le suivi des peuplements de poissons est réalisé par comptage visuel en palme, masque et tuba (PMT). Chaque observation prend en compte l'identification du genre et de l'espèce lorsque cela est possible, le nombre et la taille des individus (post-larves, juvéniles et adultes). La fréquence des comptages est de 2 fois par mois toute l'année.

Des comptages en points fixes permanents sont réalisés en triplicat pour chaque type d'habitat : modules installés et points témoins (ex : Biohut quai et quai sans Biohut) (Figure 42). Pour ce type de comptage, l'observateur se place devant l'habitat considéré et compte pendant 3 minutes tous les poissons présents.

Ce type de comptage est réalisé dans le port du Brusc sur :

- 3 Biohut Quai
- 3 Biohut Kelp quai
- 3 Biohut ponton
- 3 Biohut kelp ponton
- 3 points quai non équipé
- 3 points ponton non équipé

À cela s'ajoute des comptages de poissons le long de transects de 10 m de long sur des zones équipées et d'autres non équipées. Sur chaque zone, les comptages sont réalisés en triplicats.



Figure 42 : Plan d'échantillonnage de comptage de poissons en points fixes et transects permanents dans le port du Brusc.

3.2.3.2 Résultats, discussion

Les résultats présentés dans cette partie compilent les données récoltées sur la période de mars 2018 à mars 2019. Chaque comptage correspond aux observations faites à une date sur un point fixe (un Biohut, une portion de quai...) ou sur un transect.

Les comptages sur les Biohut quai ont été arrêtés à partir du 24/10/2018 à causes de travaux d'aménagement dans le port qui ont eu lieu en partie le long du quai où étaient installés les Biohut quai. Nous avons aussi interrompu les comptages au niveau du quai témoin entre le 24/10/2018 et le 24/01/2019. À partir de janvier 2019, ces points ont été replacés le long du même quai mais plus au sud, hors de la zone de travaux. Les nouveaux points présentent les mêmes caractéristiques que les anciens (nature du quai, profondeur...).

Ces évènements rappellent que les ports sont des milieux dans lesquels les pressions anthropiques sont fortes. Les travaux engagés ici ont provoqué une modification d'habitat et une modification des conditions hydro-sédimentaires avec l'ajout de nombreux piliers et palplanches brise clapot servant de socles à l'aménagement de nouveaux pontons, ainsi qu'une modification des fonds induits par une opération de dragage des sédiments et de matie morte de posidonie dans une partie du port. Nous devons donc prendre en considération que les peuplements de poissons observés lors cette première année de comptage étaient soumis à un environnement particulièrement perturbé avec souvent une turbidité inhabituelle et un environnement très bruyant.

3.2.3.2.1 Fréquentation du port du Brusc en juvéniles de poissons.

Les abondances moyennes en juvéniles sont très variables d'une espèce à l'autre. Les juvéniles d'athérine (*Athérina boyeri*) représentent 72% de l'abondance totale (Figure 43). Cette espèce planctonophage est très commune dans la zone d'étude. Elle est présente toute l'année à l'état adulte et elle a été observée à l'état juvénile dans le port du Brusc entre les mois d'avril et octobre. Cette espèce ayant un poids considérable dans le jeu de donnée, nous avons choisi de la retirer pour la suite du traitement des données. Les post-larves indéterminées sont aussi très présentes dans le port du Brusc. Elles ne seront pas non plus prises en compte pour la suite des résultats puisque nous ne sommes pas en capacité de déterminer à quelles espèces elles appartiennent. Leur présence en grand nombre dans le port indique que ce port est un lieu de recrutement pour les post-larves qui arrivent du large en fin de vie larvaire.

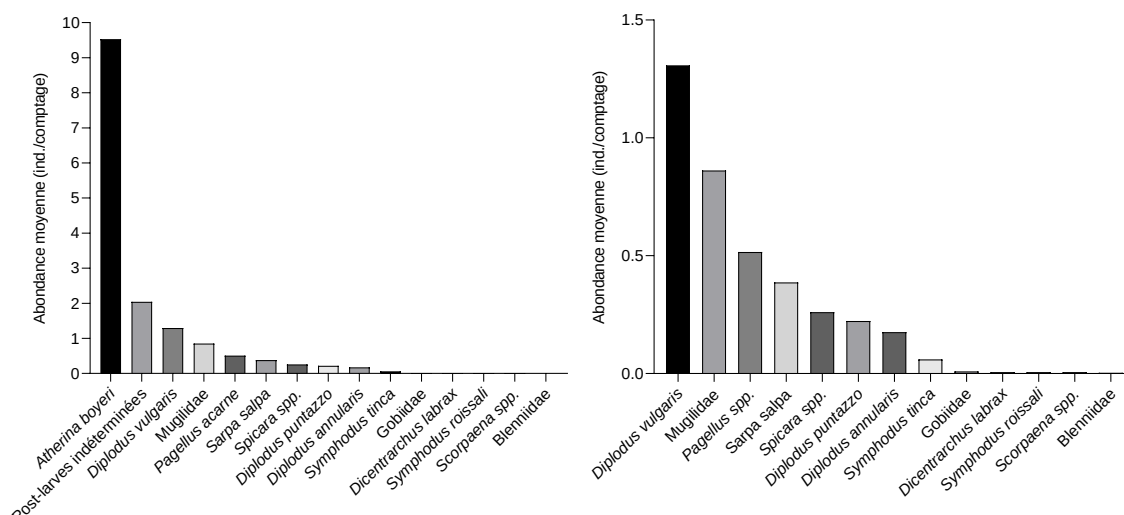


Figure 43 : Abondance moyenne de juvéniles des différentes espèces avec *Athérina boyeri* (à gauche) et sans *A. boyeri* (à droite) observées dans le port du Brusac.

La plupart des espèces les plus abondantes dans le port du Brusac au stade juvénile, appartiennent à la famille des Sparidae. Il s'agit de *Diplodus vulgaris*, *Pagellus* spp., *Sarpa salpa*, *Spicara* spp., *D. puntazzo*, *D. annularis*. La famille des Mugilidae comporte aussi de fortes abondances en juvéniles (Figure 43). Pour cette famille il est très probable que plusieurs espèces soient présentes mais il est difficile d'identifier les juvéniles jusqu'à l'espèce ou même jusqu'au genre.

Lorsque l'on compare la fréquentation en juvéniles des différents habitats du port (micro-récifs Biohut et infrastructures portuaires), on constate que tous les équipements ont été fréquentés par plusieurs espèces de poissons au stade juvénile. La diversité spécifique (nombre d'espèce) varie entre les différents habitats du port avec un plus grand nombre d'espèces observées le long des quais (Biohut quai et quai témoin) que sous les pontons. Le même constat ressort pour les occurrences des espèces (nombre de comptage où l'espèce a été observée, rapporté au nombre total de comptage) avec des valeurs plus importantes au niveau des quais (avec ou sans Biohut) que pour les autres habitats (Tableau 4). Les Kelps pontons sont les équipements qui attirent le moins d'espèces.

Taxon	Biohut ponton	Biohut quai	Kelp ponton	Ponton témoin	Quai témoin
<i>Atherina boyeri</i>	4%	20%	4%	18%	25%
Blenniidae					2%
<i>Dicentrarchus labrax</i>					2%
<i>Diplodus annularis</i>	7%	27%	7%	1%	
<i>Diplodus puntazzo</i>	18%	9%	17%	10%	10%
<i>Diplodus vulgaris</i>	4%	36%		8%	38%
Gobiidae				1%	2%
Mugilidae	3%	16%	1%		10%
<i>Pagellus</i> spp.	1%	22%		8%	7%
Post-larves indéterminées	3%	4%	1%	3%	7%
<i>Sarpa salpa</i>	1%	7%	1%	7%	15%
<i>Scorpaena</i> spp.		2%	1%		
<i>Spicara</i> spp.		4%		6%	17%
<i>Symphodus roissali</i>		2%			
<i>Symphodus tinca</i>	1%	16%			2%

Tableau 4 : Occurrence des différents taxons (en bleu) dans les micro-habitats du port du Brusc.

Pour comparer la fréquentation en juvéniles en termes d'abondance moyenne par comptage pour les différents types de biohut et de points témoins, nous avons utilisé seulement les données entre le 14/03/2018 et le 24/10/2018. Le jeu de données a été tronqué puisqu'après le mois d'octobre, nous n'avons plus pu réaliser de comptage pour les biohut quai. Les abondances de juvéniles varient significativement entre les différents types d'équipement (test Kruskal-Wallis ; P value <0,0001) (Figure 44). Les Biohut quai ont des abondances moyennes significativement supérieures à celles des autres types de Biohut (Biohut ponton, et Biohut Kelp ponton). Le quai témoin et le ponton témoin ont aussi des abondances moyennes significativement supérieures à celles des Biohut ponton, et Biohut Kelp ponton (Test *ad hoc* de comparaisons multiples de Dunn).

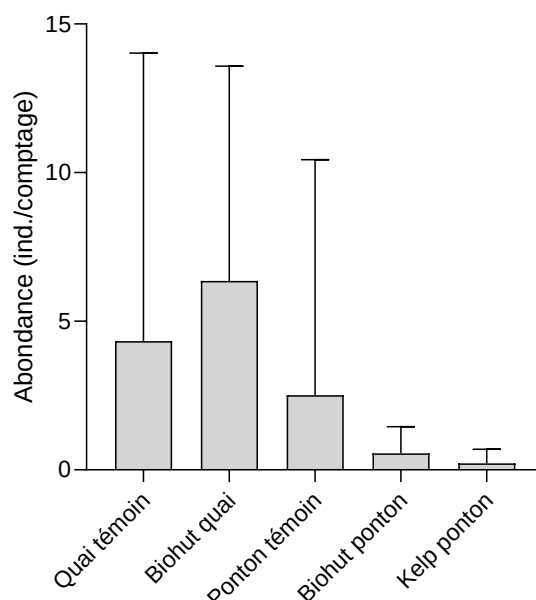


Figure 44 : Abondance moyenne de juvéniles observés sur chaque type d'habitat entre le mois de mars 2018 et octobre 2018 dans le port du Brusc.

Globalement, dans le port du Brusc les juvéniles sont plus nombreux et plus souvent observés au niveau des quais que des pontons. Les Biohut quai ont un effet attracteur avéré.

Par contre, au niveau des pontons, les Biohut ponton et les Biohut Kelp ponton ne semblent pas avoir un effet attracteur particulier sur les juvéniles de poissons.

Le port du Brusc est donc un site attracteur de post-larves de poissons et fréquenté par de nombreux juvéniles. L'enceinte portuaire n'est pas un milieu homogène, elle est constituée de différents types d'infrastructures et substrats qui vont conditionner la répartition hétérogène des juvéniles de poissons dans le port. Ici, les juvéniles ont tendance à se concentrer le long des bordures du port, c'est-à-dire le long des quais. L'apport d'une structure plus complexe le long des quais (Biohut quai) semble ici constituer un habitat préférentiel pour les juvéniles.

3.2.3.2.2 Variation temporelle des abondances de juvéniles des principales espèces.

Les observations sur points fixes réalisées lors de cette première année de suivi ont mis en évidence que des juvéniles de poissons sont présents dans le port du Brusc toute l'année. Toutefois, on observe de fortes variations d'intensité de la fréquentation en juvéniles. Le maximum d'abondance est observé aux mois de mai et juin et le minimum les mois de novembre et décembre (Figure 45).

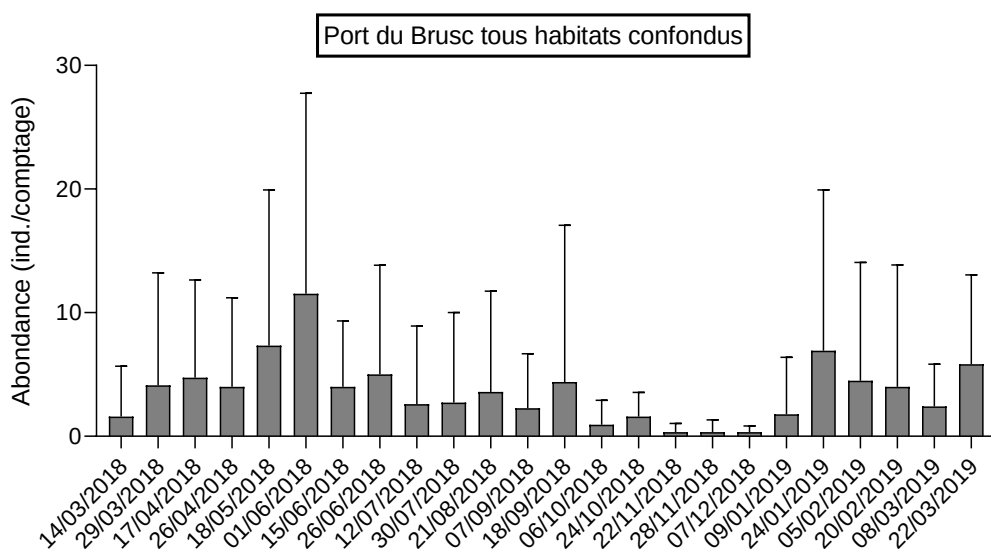


Figure 45 : Évolution de l'abondance totale en juvéniles de poissons dans le port du Brusc.

Si l'on s'intéresse aux périodes de présence en juvéniles pour chacune des espèces observées, on s'aperçoit que les périodes et la durée de leur présence diffèrent d'une espèce à l'autre (Figure 46). Par exemple, pour les deux espèces de sars *Diplodus puntazzo* et *Diplodus annularis*, les périodes de présence sont bien distinctes.

Les données des comptages sur points fixes et sur transects ont permis de mettre en évidence que certaines espèces fréquentent le port à différentes périodes de l'année et à différents stades de vie. Certaines espèces utilisent les infrastructures portuaires comme nurserie ; pour d'autres la fonction nurserie n'a pas été mise en évidence malgré la présence

de juvéniles. Nous avons choisi ici d'illustrer ce propos avec quelques exemples les plus pertinents, sans être exhaustif dans la présentation des résultats traités.

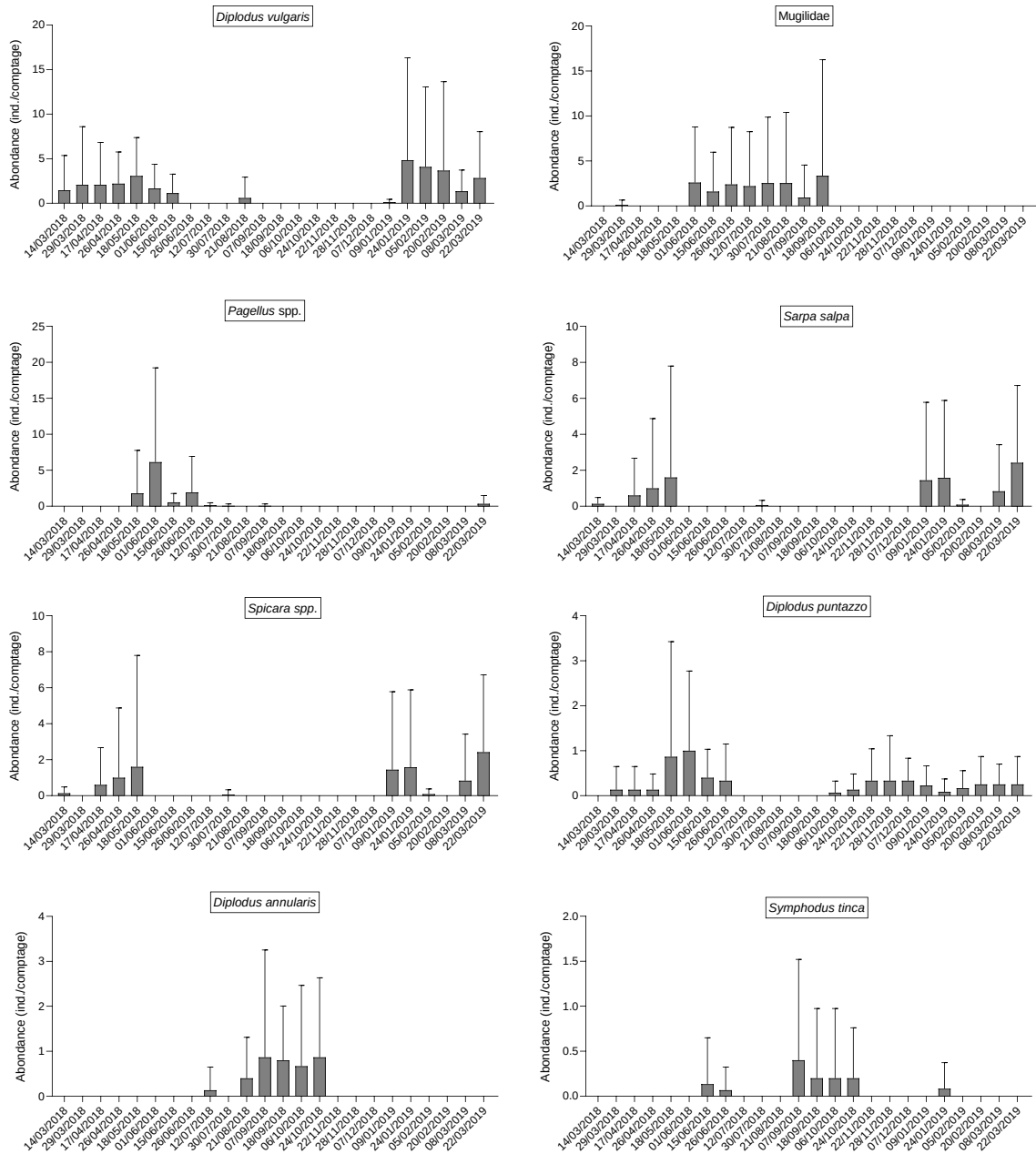
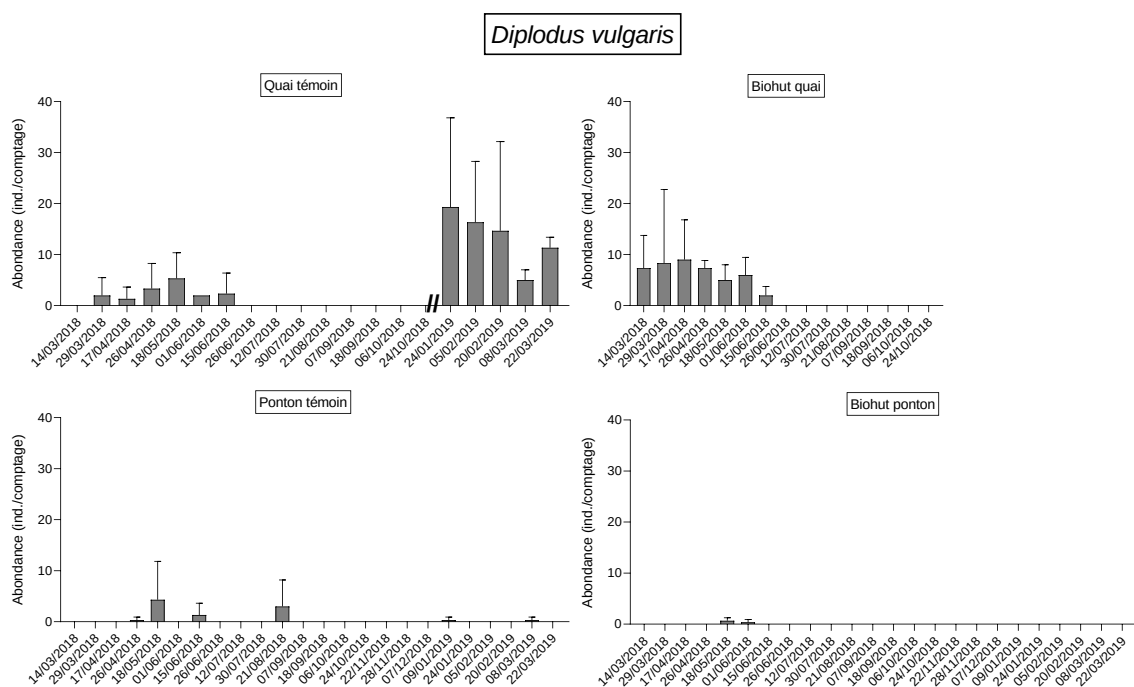


Figure 46 : Évolution des abondances de juvéniles des principales espèces présentes dans le port du Brusc tous habitats confondus.

Diplodus vulgaris est l'espèce non planctonophage la plus abondante au stade juvénile dans le port du Brusc. Entre Mars et Juin 2018, les juvéniles de *Diplodus vulgaris* ont été principalement observés le long des quais, en particulier autour des Biohut quai. Les dispositifs Biohut quai ont clairement un effet attracteur pour les juvéniles de cette espèce. Par contre ils ne semblent pas avoir d'affinité pour les Biohut ponton et les Biohut Kelp ponton (Figure 47).

À partir de janvier 2019, on observe l'arrivée d'une seconde cohorte. Les individus sont presque tous observés le long du quai. Malheureusement, nous n'avons pas de données pour les biohut quai en 2019.



Aucun individu n'a été observé au niveau des Kelp pontons

Figure 47 : Évolution des abondances de *Diplodus vulgaris* pour chaque habitat.

Lorsque l'on compare l'évolution des tailles des individus juvéniles et des jeunes adultes, avec l'évolution des abondances, on s'aperçoit qu'entre mars et septembre 2018 la taille moyenne des individus a significativement augmenté (test de Kruskal-Wallis ; P value < 0,0001 et test *ad hoc* de comparaisons multiples de Dunn) alors que les abondances fluctuent légèrement sur cette période (test de Kruskal-Wallis ; P value < 0,05) mais sans montrer de tendance à la baisse (Figure 48).

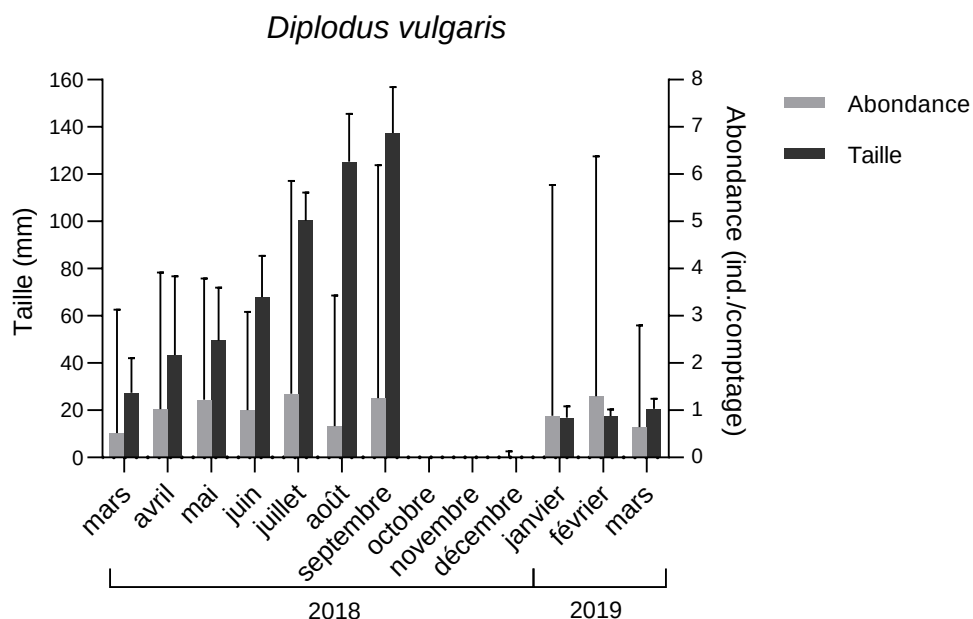


Figure 48 : Évolution de la taille et de l'abondance des individus de *Diplodus vulgaris* dans le port du Brusac.

Les données mettent en évidence l'installation d'une cohorte au début de l'année (avant le début du suivi pour 2018) puis une croissance des individus au cours de l'année jusqu'en septembre. Au cours de cette période, il ne semble pas y avoir une très forte mortalité des individus. L'épisode de forte mortalité qui a lieu durant la phase juvénile s'est sûrement produite peu de temps après l'installation des post-larves. Cette phase n'est pas mise en avant par nos données. Pour 2018, il se peut que cette phase ait eu lieu avant le début des comptages. Il est aussi possible que durant le premier stade de vie juvénile les individus étaient présents mais pas identifiables. En effet lors des comptages, une part non négligeable des abondances est constituée d'individus trop petit pour être correctement identifiés et sont catégorisés comme « indéterminés ». À la fin du mois de septembre, il semble que les individus aient atteint leur taille adulte et aient quitté la zone de nurserie. En janvier 2019, une nouvelle cohorte s'est installée dans le port. Certaines espèces utilisent donc les infrastructures du port du Brusac comme nurserie.

Au cours de la croissance de la première cohorte, les plus jeunes individus (<80mm, entre mars et juin) restent préférentiellement le long des quais, puis à un stade plus avancé on les retrouve principalement sous les pontons (>80mm, entre juillet et septembre) (Figure 49). Il apparaît que certaines espèces utilisent l'ensemble du port comme nurserie et sont attirées par différentes infrastructures mais pas au même moment de leur développement.

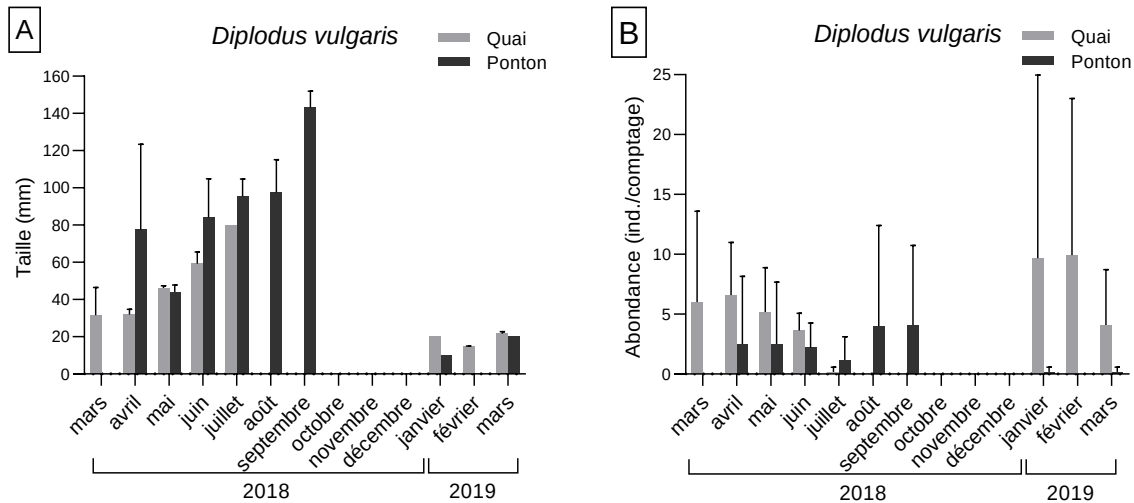


Figure 49 : Évolution de la taille (A) et de l'abondance (B) des individus de *Diplodus vulgaris* au niveau des quais et des pontons.

Les données obtenues sur transects mettent en évidence que cette espèce vit dans le port du Brusuc aux stades adulte et juvénile mais pas toute l'année et pas forcément à la même période en fonction du stade de vie (Figure 50). Les adultes sont plus abondants que les juvéniles et présents entre avril et septembre. Les Juvéniles sont présents entre janvier et juin. Le port ne joue donc pas seulement un rôle de nurserie pour certaines espèces de poissons côtiers, mais aussi un rôle d'habitat pour les individus adultes. En fonction du stade de vie, les individus ne fréquentent pas forcément le port aux mêmes périodes de l'année.

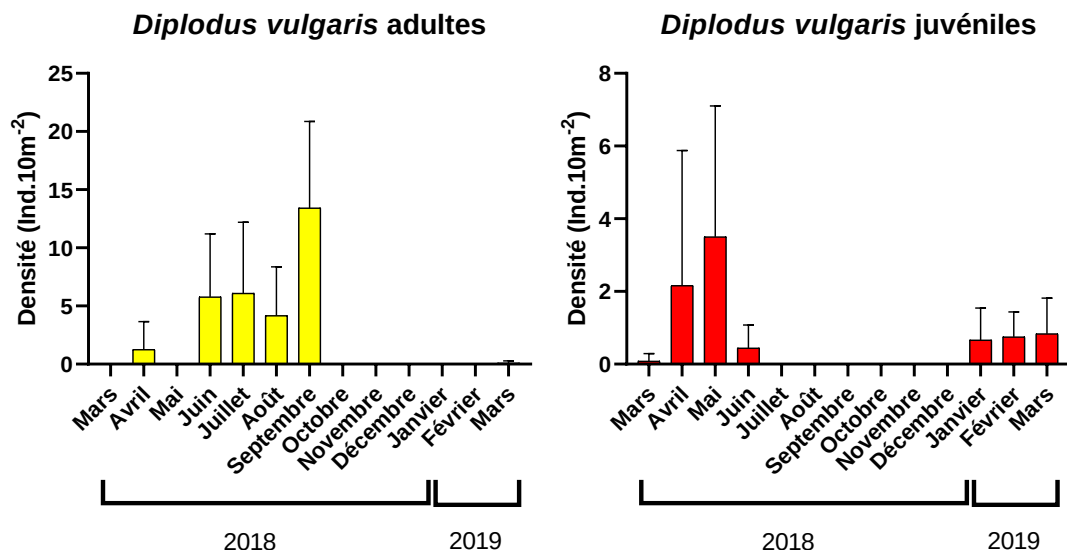


Figure 50 : Évolution des abondances de *Diplodus vulgaris* au stade adulte (en jaune) et juvénile (en rouge) dans le port du Brusuc.

Sarpa salpa : Contrairement aux espèces de Sparidae, les juvéniles de saupes ont plutôt été observés sous les pontons. Cette espèce ne semble pas avoir d'affinité particulière pour les Biohut (Figure 51). Les juvéniles de saupes (*Sarpa salpa*) ont été observés en bancs,

principalement entre le mois de mars et mai 2018 et entre janvier et mars 2019. Les bancs de saupes sont toujours en mouvement, leur observation est donc très variable d'un point à un autre et d'un jour d'observation au suivant.

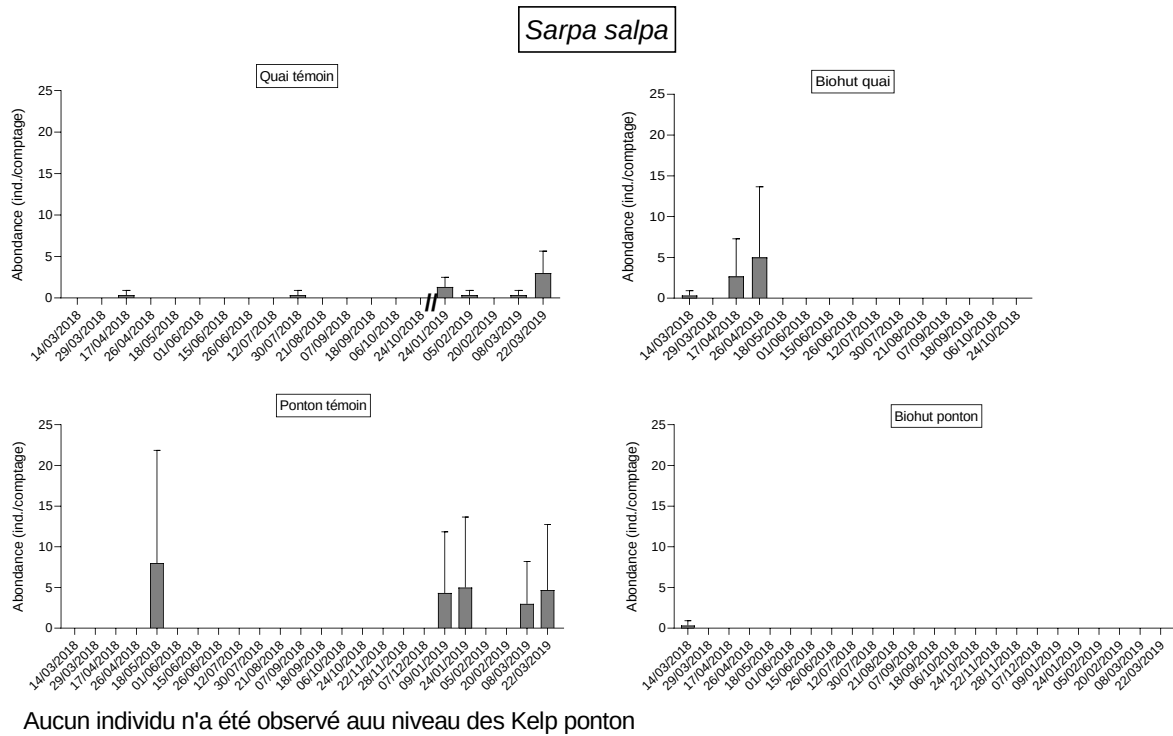


Figure 51 : Évolution des abondances de *Sarpa salpa* pour chaque habitat.

Lorsque l'on s'intéresse aux abondances totales dans le port (juvéniles et jeunes adultes), il n'en ressort aucune tendance évolutive au cours de la période d'observation. Par contre, lorsqu'on s'intéresse aux tailles moyennes, il apparaît une augmentation des tailles moyennes entre mars et octobre 2018 (Figure 52). Il s'en suit une période sans aucune observation entre novembre et décembre. Les jeunes individus de 110 mm ont donc quitté cette zone de nurserie au moins d'octobre. En janvier 2019, une nouvelle cohorte s'est installée.

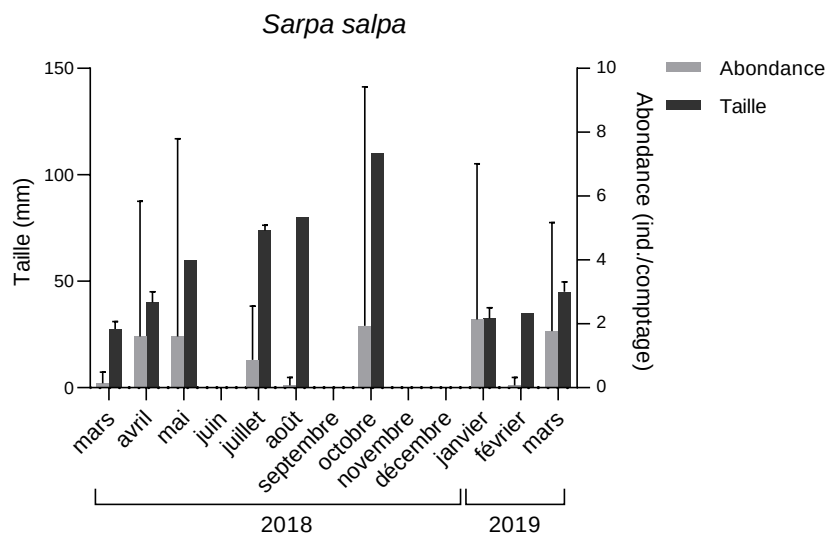


Figure 52 : Évolution de la taille et de l'abondance des individus de *Sarpa salpa* dans le port du Brusc.

Des individus adultes de cette espèce ont été observés sur les transects permanents entre le mois de juin et le mois de décembre mais avec des abondances nettement inférieures à celles des juvéniles. L'ensemble de ces données met en évidence que cette espèce fréquente le port à la fois au stade juvénile et au stade adulte ; qu'elle n'est pas présente toute l'année ni au même moment entre les stades adulte et juvénile ; et que pour cette espèce l'enceinte portuaire est utilisée comme nurserie. Il apparaît donc délicat de faire ressortir de tendance de comportement pour certaines espèces qui soit ont des abondances faibles, soit ont des comportements de forte mobilité dans le site étudié. Cela met aussi en évidence que la robustesse de l'échantillonnage en termes de nombre de points de comptage et de fréquence de comptage répartie sur l'ensemble de l'année est indispensable pour mieux comprendre le comportement de certaines espèces.

***Diplodus puntazzo* :** Les juvéniles de sars à museau pointu (*Diplodus puntazzo*) ont été observés entre fin mars et fin juin en 2018 puis d'octobre 2018 jusqu'à la fin de cette période de comptage (mars 2019). Les individus ont été observés sur les 3 types de biohut ainsi que le long du quai témoin et sous les pontons témoins (Figure 53). L'effet attracteur des biohut pour cette espèce a été observé pour les 3 types de Biohut avec une occurrence d'observation plus importante pour les Biohut ponton (18%). Les juvéniles observés sous les pontons témoins évoluent contre les palplanches anti-clapots positionnées contre les pontons. Globalement, les juvéniles de cette espèce semblent être attirés par tous les substrats durs avec des structures complexes disponibles dans le port.

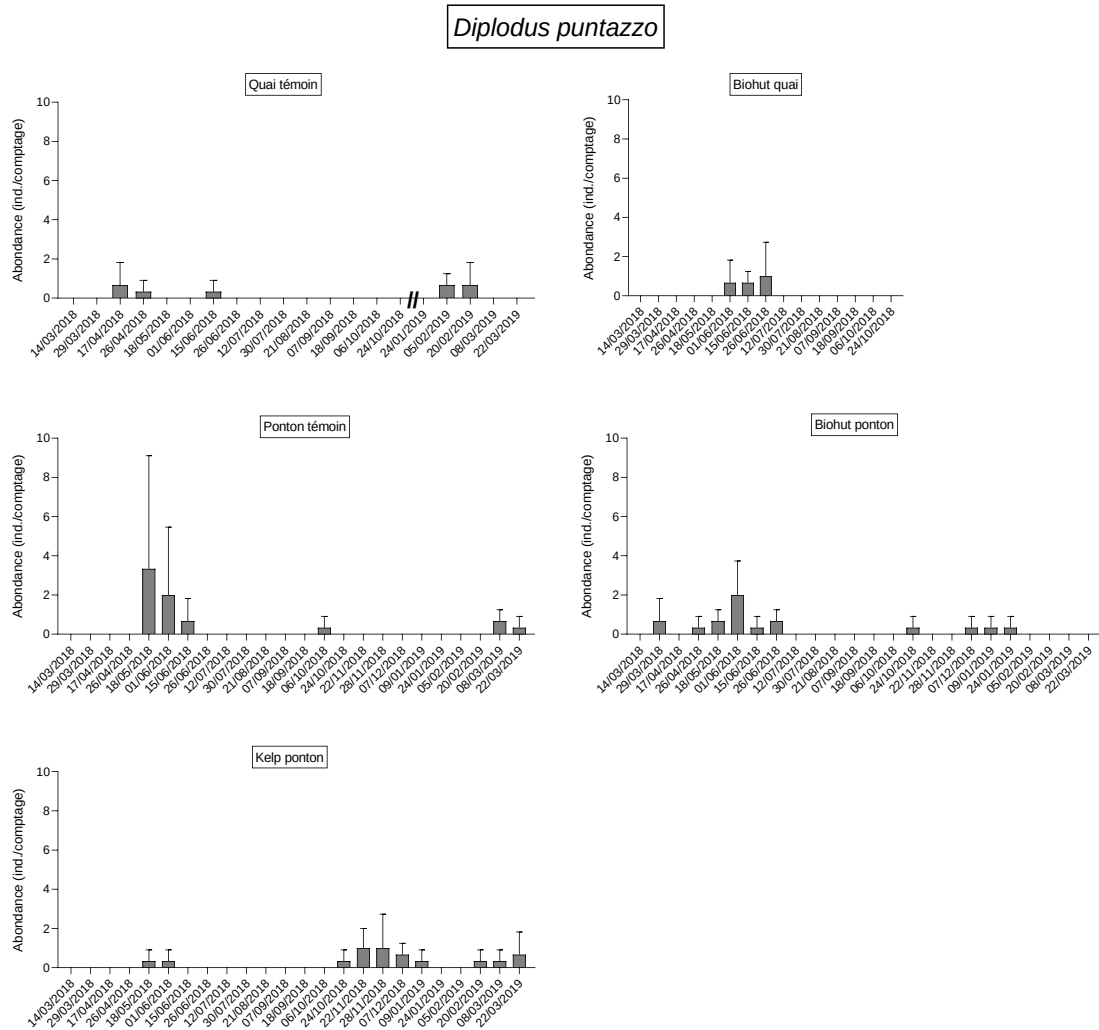


Figure 53 : Évolution des abondances de *Diplodus puntazzo* pour chaque habitat du port du Brusc.

L'évolution des classes de tailles et des densités (données sur points fixes) met en évidence que les juvéniles fréquentent le port pendant plusieurs mois d'affilé et que durant cette période leur taille augmente jusqu'à leur taille refuge (Figure 54). Les données sur transects révèlent que cette espèce fréquente occasionnellement le port au stade adulte au printemps et en été (Figure 55). Malgré les faibles densités observées, les données mettent en évidence que cette espèce utilise essentiellement le port comme zone de nurserie, que les juvéniles et les adultes ne sont pas présent dans le port toute l'année ni durant les mêmes périodes. Nous avons pu mettre en évidence certains comportements pour cette espèce dans l'enceinte portuaire malgré les faibles densités car elle est très peu mobile, surtout au stade juvénile.

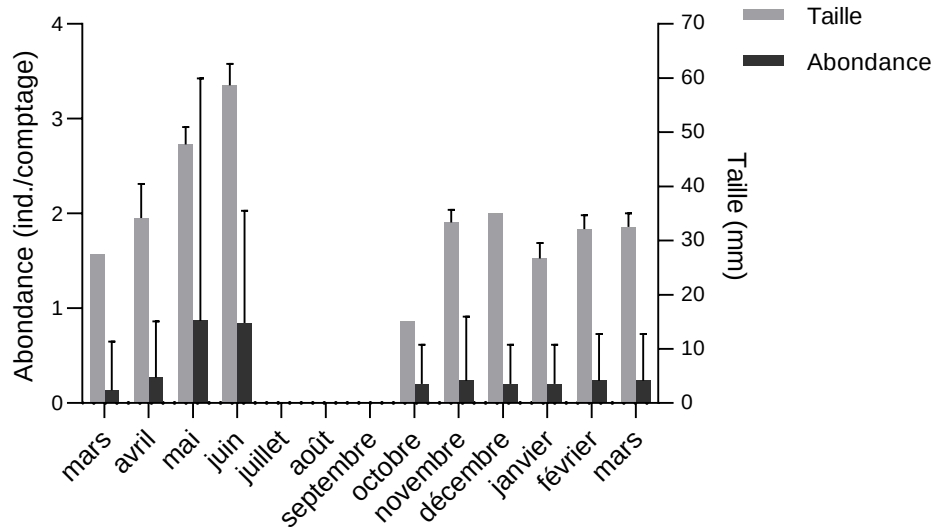
Diplodus puntazzo

Figure 54 : Évolution de la taille et de l'abondance des individus de *Diplodus puntazzo* dans le port du Brusc.

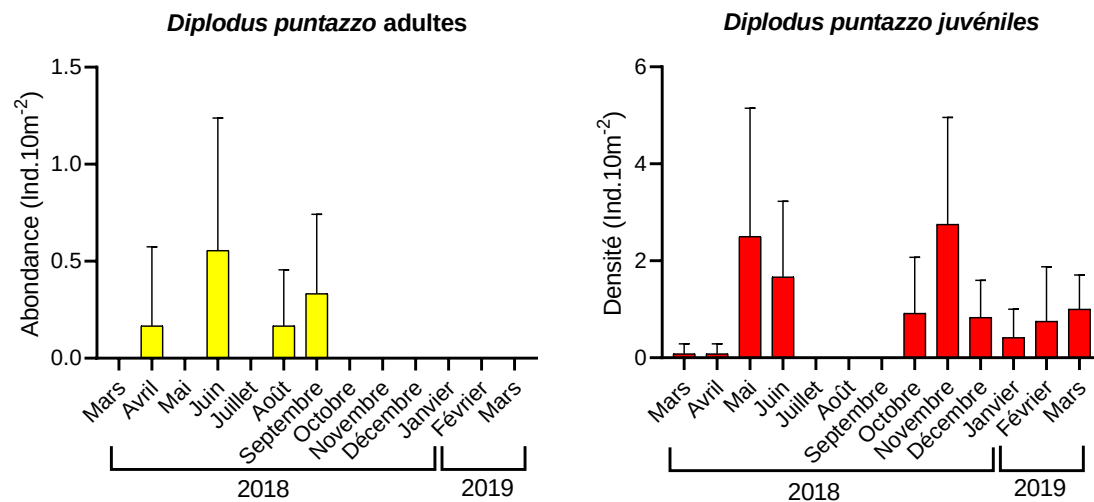


Figure 55 : Évolution des abondances de *Diplodus puntazzo* au stade adulte (en jaune) et juvénile (en rouge) dans le port du Brusc.

L'analyse des données par espèce et par classes de taille montre donc la forte variabilité de la fonction jouée par le port et ses infrastructures en fonction des espèces. Seule cette analyse par espèce peut permettre d'apporter des éléments de compréhension. Le comportement des espèces (surtout la mobilité) doit être pris en compte dans l'interprétation des données.

Les exemples décrits précédemment ont permis de mettre en évidence que le port du Brusc joue un rôle de nurserie pour certaines espèces de poissons côtiers. La présence d'une espèce au stade juvénile dans le port ne signifie pas forcément que le port va jouer un rôle

de nurserie pour cette espèce. Aussi selon les espèces et selon le stade de vie, les différents types de structures portuaires et récifs implantés ne joueront pas le même rôle.

Des analyses plus complètes devront être réalisées les années suivantes pour comparer les assemblages de juvéniles dans le port du Brusc avec ceux des habitats naturels présents aux alentours.

3.3. Réhabilitation écologique de la fonction de nurserie de poissons dans le port St-Pierre des Embiez

3.3.1 Contexte

Lorsque Paul Ricard achète les Embiez en 1958, presque toute la zone qui correspond actuellement au port des Embiez était constitué des vestiges des anciens marais salants, exploités jusqu'en 1938. Dès 1960, Paul Ricard entreprend la construction du port des Embiez, enclavé dans le nord de l'île (à la place des salins), pour en faire un abri quelles que soient les conditions météorologiques. Il fut mis en eau en 1963 et agrandi vers l'est dans les années 70 (Figure 56).



Figure 56 : Photo de gauche : vue aérienne des Embiez avant la construction du port (1955) ; Photo de droite : état actuel du port (2017) (Données : IGN).

Les efforts de gestion du port St-Pierre des Embiez lui ont permis de se doter des labels pavillon bleu, port-propre, norme Iso 14001. Il est accessible par tous les temps, il dispose aujourd'hui de 750 anneaux et peut accueillir jusqu'à 150 escales par jour en saison estivale.

3.3.2 Action de réhabilitation de la fonction nurserie

L'équipement du port des Embiez en micro-récifs nurserie (Biohut®) a succédé à une phase de diagnostic et de demande d'autorisations menée par l'IOPR en concertation avec la société ECOCEAN, la capitainerie ainsi que la structure exploitant ce port : la S.A. Paul Ricard.

Au cours du mois de décembre 2017, le port St-Pierre des Embiez a été équipé de 82 micro-récifs nurserie Biohut® par la société ECOCEAN. Comme pour le port du Brusc, la plupart des structures ont été installées sous des pontons (Figure 57). On retrouve les mêmes types de structures que dans le port du Brusc, avec en plus des modules de type « Biohut® KELP quai ». Les structures installées dans le port des Embiez sont :

- 45 Biohut® ponton,
- 6 Biohut® KELP ponton,
- 12 Biohut® quai,
- 6 Biohut® Kelp quai

À cela s'ajoute 12 Biohut® digue qui correspondent à des habitats artificiels de transition entre le port et les habitats naturels hors du port.



Figure 57 : Localisation des dispositifs dans le port du Brusc.

3.3.3 Suivis écologiques

3.3.3.1 Matériel et méthode

Le suivi des peuplements de poissons est réalisé par comptage visuel en palme, masque et tuba (PMT). Chaque observation prend en compte l'identification du genre et de l'espèce lorsque cela est possible, le nombre et la taille des individus (post-larves, juvéniles et adultes). La fréquence des comptages est de 2 fois par mois toute l'année.

Des comptages en points fixes permanents sont réalisés en triplicat pour chaque type d'habitat : modules installés et points témoins (ex : Biohut quai et quai sans Biohut). Pour ce type de comptage, l'observateur se place devant l'habitat considéré et compte pendant 3 minutes tous les poissons présents.

Dans le port des Embiez, les comptages sur points fixes sont réalisés sur :

- 3 Biohut Quai
- 3 Biohut ponton
- 3 Biohut kelp ponton
- 3 points quai non équipé
- 3 points ponton non équipé

À cela s'ajoute des comptages de poissons le long de transects de 10 m de long sur des zones équipées et d'autres non équipées (Figure 58). Sur chaque zone, les comptages sont réalisés en triplicats.



Figure 58 : Plan d'échantillonnage de comptage de poissons en points fixes et transects permanents dans le port des Embiez.

3.3.3.2 Résultat, discussion

3.3.3.2.1 Fréquentation du port des Embiez en juvéniles de poissons.

En 2018, les comptages dans le port des Embiez ont été réalisés 8 fois entre le 12 mars et le 27 juin. Après le mois de juin, les mauvaises conditions de visibilité n'ont pas permis de réaliser de comptages. Les comptages ont pu reprendre en début d'année 2019, le 10 janvier. Le jeu de données étant tronqué par l'interruption des comptages pendant 5 mois, nous ne pouvons donc pas comparer la fréquentation en juvéniles dans ce port avec les autres sites de l'étude et il est délicat de mettre en évidence l'évolution temporaire des cohortes de juvéniles des différentes espèces. Cet épisode de forte turbidité dans le port des Embiez montre que malgré les efforts de gestion et les différents labels obtenus, ce port est un milieu confiné concentrant de fortes pressions anthropiques, particulièrement en période estivales où l'activité bas son plein. Ces conditions peuvent provoquer des perturbations ou stress du milieu bien plus important qu'en mer ouverte, avec inévitablement des conséquences sur les communautés aquatiques qu'ils abritent.

En dehors de cet épisode de turbidité des eaux, entre mars 2018 et mars 2019, 6 taxons ont pu être déterminés jusqu'à l'espèce, 2 jusqu'au genre et 2 jusqu'à la famille (Figure 59). Il est probable que des juvéniles d'autres espèces aient fréquenté ce port au cours de la période estivale, qui est la plus favorable pour de nombreuses espèces de poissons. Les juvéniles de saupes (*Sarpa salpa*) sont globalement les plus abondants. Ils sont observés en bancs assez mobiles de plusieurs dizaines d'individus.

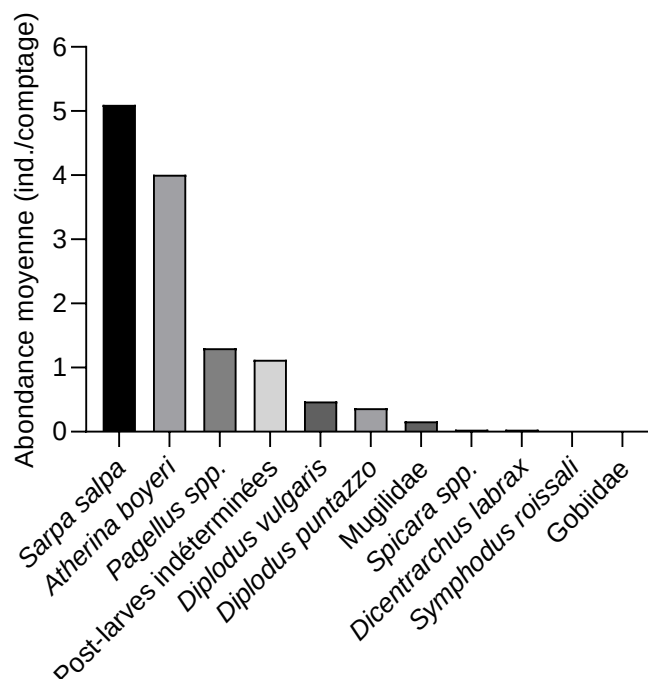


Figure 59 : Abondance moyenne de juvéniles des différentes espèces observées dans le port des Embiez entre mars 2018 et mars 2019.

Lorsque l'on compare la fréquentation en juvéniles des différents habitats du port (micro-récif Biohut et infrastructure portuaires), on constate que tous les équipements ont été fréquentés par plusieurs espèces de poissons au stade juvénile. La diversité spécifique (nombre d'espèce) ainsi que l'occurrence d'observation des espèces diffèrent entre les différents habitats du port avec un plus grand nombre d'espèces observées et une plus grande occurrence d'observation le long des quais (Biohut quai + Kelp et quai témoin) que sous les pontons (même au niveau des Biohut ponton) (Tableau 5).

Taxon	Biohut ponton	Biohut quai + kelp	Kelp ponton	Ponton témoin	Quai témoin
<i>Atherina boyeri</i>	5%	12%	5%	2%	7%
<i>Dicentrarchus labrax</i>		2%		2%	5%
<i>Diplodus puntazzo</i>	10%	48%	2%		14%
<i>Diplodus vulgaris</i>		24%			21%
Gobiidae					2%
Mugilidae		7%			
<i>Pagellus</i> spp.	12%	26%	12%	7%	14%
Post-larves indéterminées	2%	2%		7%	14%
<i>Sarpa salpa</i>	5%	55%	2%		24%
<i>Spicara</i> spp.		2%			5%
<i>Symphodus roissali</i>		2%			

Tableau 5 : Occurrence des différents taxons (en bleu) dans les micro-habitats du port des Embiez.

Dans le port des Embiez, l'abondance moyenne en juvéniles varie significativement entre les différents types d'habitats disponibles (Test de Kruskal-Wallis ; P value < 0,0001) (Figure 60). Les abondances sont significativement plus importantes au niveau des quais (équipés et non-équipés) que sont les pontons (équipés et non équipés) (test *ad hoc* de comparaisons multiples de Dunn). Pour les quais, les abondances ont tendance à être plus élevées au niveau des assemblages de Biohut quai + kelp qu'au niveau du quai non équipé. Pour les pontons, il n'y a pas de différence significative de fréquentation entre la zone de ponton non équipé, les Biohut ponton et les Biohut kelp ponton.

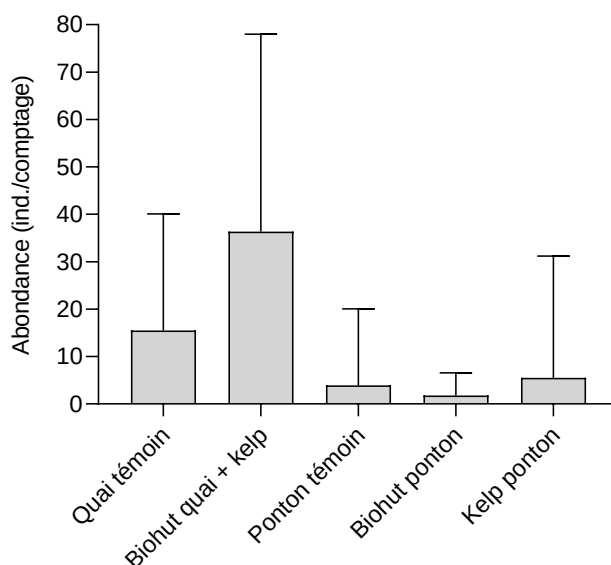


Figure 60 : Abondance moyenne en juvéniles de poissons (hors *Athérina boyeri* et post larves indéterminées) pour les différents habitats étudiés dans le port des Embiez.

Dans le port des Embiez, comme pour le port du Brusc, les juvéniles de poissons ont globalement tendance à se concentrer au niveau des structures verticales en bordure du port, c'est-à-dire les quais. L'apport de complexité d'habitat le long des quais a un effet attracteur sur les juvéniles. Dans ce port, les pontons ne constituent pas des habitats particulièrement propices aux juvéniles de poissons, même lorsqu'on y ajoute de micro-récifs pour complexifier leur structure. L'enceinte portuaire n'est pas un milieu homogène, elle est constituée de différents types d'infrastructures et substrats plus ou moins attractifs pour les juvéniles de poissons, et qui vont conditionner leur répartition hétérogène dans les ports. C'est d'ailleurs pour cela que les équipements en micro-récifs sont installés au niveau des quais et des pontons et que nous avons focalisé nos observations sur ces structures *a priori* attractives pour les juvéniles (quais et pontons).

Les données récoltées ont permis de comparer l'attractivité de ces structures et l'attractivité des différents types de micro-récifs installés. Ces structures ne représentent qu'une petite fraction de la surface totale d'un port. La majeure partie de la surface des ports sont représenté par les fonds souvent constitué de sédiments sablo-vaseux qui peuvent être chargés en contaminants toxiques et qui sont peu attractifs pour les juvéniles de poissons. Il faut donc garder à l'esprit que les densités de juvéniles des quais et des pontons ne reflètent donc pas la densité moyenne de juvéniles présents dans l'ensemble de l'enceinte portuaire. Celle-ci est bien plus faible. Nous ne pouvons donc pas comparer en l'état les données de densité des quais ou pontons avec celles rencontrées dans les habitats naturels. Dans la suite de cette étude, nous devons donc réaliser une analyse prenant en compte la surface des structures étudiées par rapport aux surfaces totales des ports ainsi que des surfaces des habitats naturels alentour jouant un rôle de nurserie. Cela permettra de mieux appréhender à l'échelle des ports leur rôle de nurserie et les bénéfices d'opérations de réhabilitation de la fonction de nurserie, mais aussi à l'échelle du site dans lequel s'incipit le programme SARLAB.

3.3.3.2.2 Variation temporelle des abondances de juvéniles des principales espèces.

Des juvéniles de poissons ont été observés pour chaque date de comptage. En 2018, les plus fortes densités ont été observées au mois de juin, juste avant l'interruption du comptage (Figure 61).

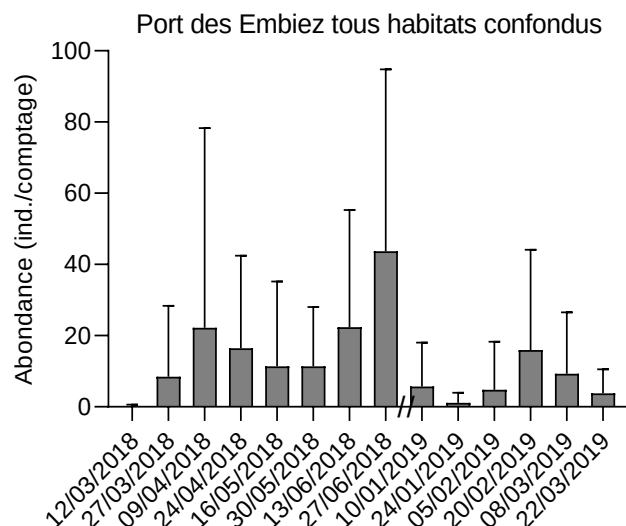


Figure 61 : Évolution des abondances de juvéniles de poissons observés dans le port des Embiez entre le 12/03/2018 et le 27/06/2018, puis entre le 10/01/2019 et le 22/03/2019.

Pour les espèces les plus abondantes au stade juvénile aux périodes où les observations ont pu avoir lieu, les abondances et les périodes de présence dans le port diffèrent (Figure 62).

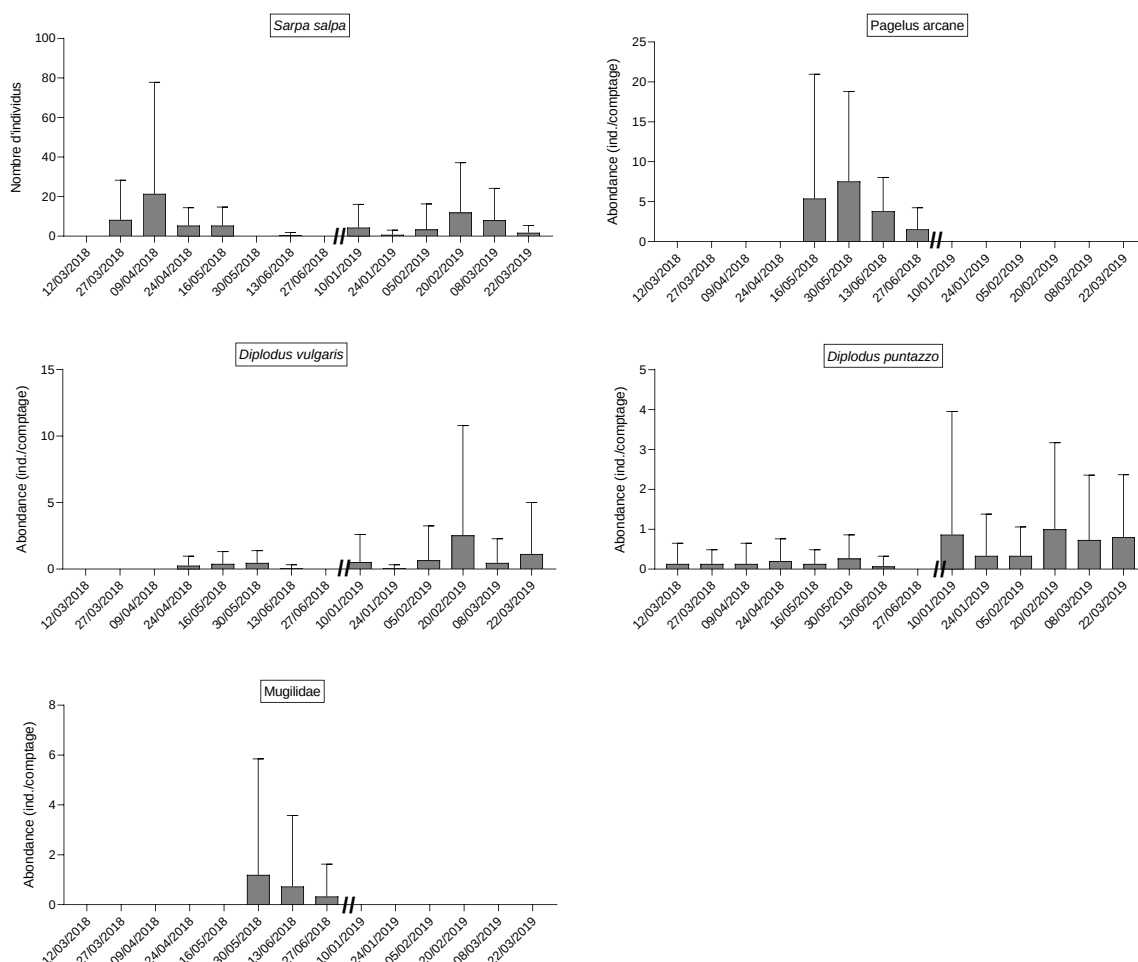


Figure 62 : Évolution des abondances de juvéniles des principales espèces présentes dans le port des Embiez tous habitats confondus.

Sarpa salpa est l'espèce dont les juvéniles observés lors des périodes de comptage sont les plus abondants. Cela est essentiellement dû aux périodes de comptage de janvier à juin qui correspondent à leur période de présence au stade juvénile. Nous avons choisi de ne présenter et interpréter que les résultats pour cette espèce.

Dans le port des Embiez, les juvéniles de saupes ont été observés quasi-exclusivement le long des quais. Les assemblages de Biohut quai + kelp ont un fort effet attracteur pour cette espèce (Figure 63).

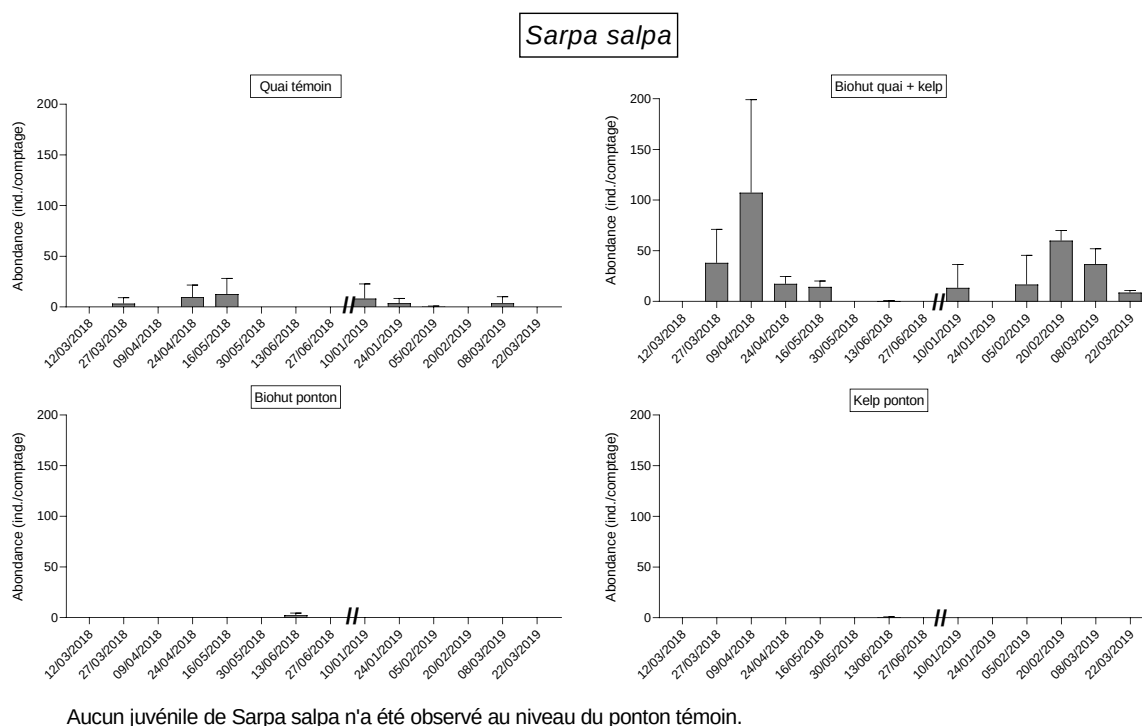


Figure 63 : Évolution des abondances de juvéniles de *Sarpa salpa* pour les différents habitats étudiés dans le port des Embiez.

Au cours des 2 périodes d'observation, les tailles moyennes des juvéniles ont augmenté, laissant présager qu'il s'agit de 2 cohortes qui grandissent dans le port et donc semblent l'utiliser comme nurserie (Figure 64).

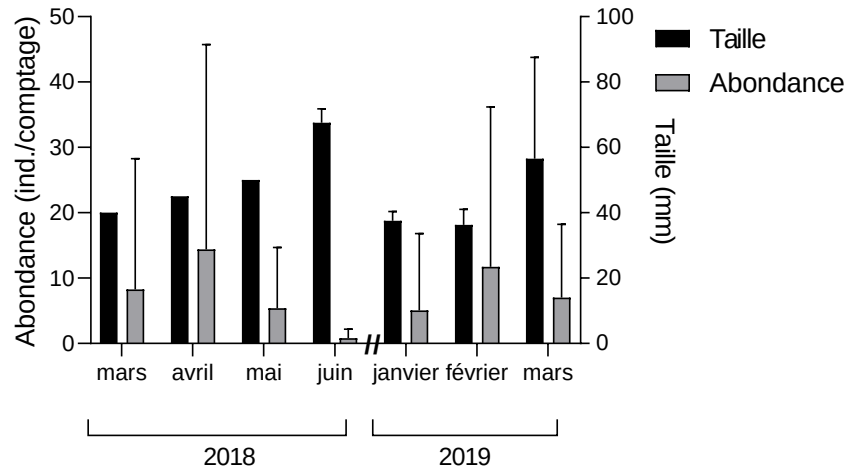


Figure 64 : Évolution de la taille et de l'abondance des individus de *Sarpa salpa* dans le port des Embiez.

Les données obtenues par comptages sur transects montrent que des saupes adultes fréquentent aussi le port des Embiez mais en moins grand nombre que les juvéniles (Figure 65). Cette espèce fréquente essentiellement le port comme nurserie.

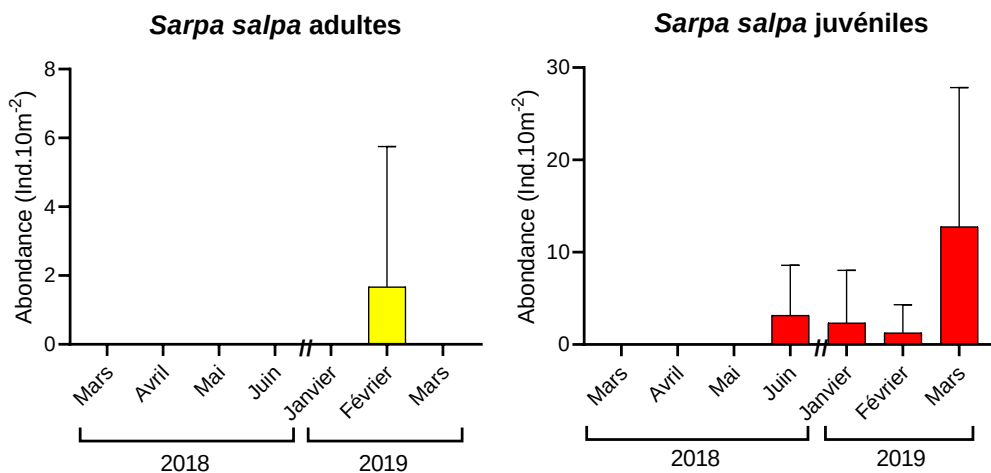


Figure 65 : Évolution des abondances de *Sarpa salpa* au stade adulte (en jaune) et juvénile (en rouge) dans le port des Embiez.

Le port des Embiez accueillant une communauté de poissons aux stades adultes et juvéniles. La fréquentation au cours de l'année varie selon les espèces et certaines espèces utilisent le port comme nurserie. Le jeu de donnée actuellement disponible, tronqué sur la période la plus propice à la fréquentation en juvéniles ne permet pas en l'état d'évaluer le potentiel de nurserie de ce port. Les données qui seront récoltées au cours des prochaines années, si les conditions de visibilité le permettent, devraient apporter de nouveaux éléments d'information.

3.4. Conclusion

Au cours de l'hiver 2017 les ports du Brusc et des Embiez ont été équipés en micro-récifs artificiel (Biohut) afin de réhabiliter leur fonction de nurserie. La première année de suivis a

été perturbée par les opérations de travaux dans le port du Brusc et la turbidité des eaux dans le port des Embiez. Les données recueillies ont permis d'apporter des informations concernant les peuplements de poissons juvéniles et adultes dans ces 2 ports. Il en ressort que les ports du Brusc et des Embiez sont des sites attracteurs de post-larves de poissons et ils qu'ils sont fréquentés par des juvéniles de plusieurs espèces. Les ports sont utilisés comme zone de nurserie pour certaines espèces de poissons côtières mais pas par toutes celles qui les fréquentent. Certaines espèces semblent n'être que de passage dans le port au stade juvénile. Les différentes espèces utilisant les ports comme nurserie ne sont pas toutes présentes à la même période de l'année. Le pic de fréquentation est observé à la fin du printemps. Les juvéniles ont tendance à se concentrer le long des bordures des ports, c'est-à-dire le long des quais. L'apport de structures plus complexes le long des quais matérialisé par les Biohut quai semble constituer un habitat préférentiel pour les juvéniles. Les biohut quai sont à la fois les structures qui attirent le plus de poissons juvéniles mais aussi fréquentés par le plus d'espèces. Dans le port des Embiez, l'association des Biohut kelp quai avec les Biohut quai forme les structures les plus attractives pour les juvéniles de poissons.

Les infrastructures attractives pour les juvéniles ne représente qu'une petite fraction de la surface totale des ports. Dans la suite de l'étude, la notion de surface de structures devra être pris en compte pour évaluer le rôle de nurserie à l'échelle du port ; évaluer le gain apporté par l'équipement en micro-récifs et de faire des comparaisons avec les habitat naturels alentours. Cela permettra aussi de comparer les résultats des actions de réhabilitation de fonction de nurserie menées dans les ports avec les autres actions restauratrices du programme SARLAB, notamment la restauration d'herbier de cymodocée.

Les interruptions de suivis induits par les opérations de travaux dans le port du Brusc et la turbidité des eaux dans le port des Embiez nous rappellent que les ports sont des milieux dans lesquels les pressions anthropiques sont fortes et peuvent engendrer des stress pour les communautés de poissons qui les peuplent. La maîtrise des perturbations et la bonne qualité de l'eau sont des pré-requis pour réaliser des actions de restaurations écologiques. Nous devons donc prendre en compte que lors de cette première année de suivis les conditions du milieu dans les 2 ports n'étaient pas vraiment favorables au bon déroulement d'actions restauratives.

4. Réhabilitation écologique de la fonction de nurserie de poissons de l'ancien parc mytilicole

4.1. Installation de micro-habitat nurserie

Au nord-est de la Lagune du Busc, les vestiges d'un ancien parc mytilicole sont encore présents. Il n'en reste actuellement que des piquets en métal (Figure 66). Depuis l'arrêt de cette activité, aucun herbier n'a recolonisé la zone. Pourtant, en bordure de la zone des piquets, l'herbier de posidonie est bien présent. Dans le cadre du programme SARLAB, une action de réhabilitation écologique de la fonction nurserie de la zone a été engagée. Cette zone se trouve entre le récif barrière de posidonie et la zone sableuse dans laquelle nous réalisons une opération de transplantation de cymodocée. Le but est de pallier le manque actuel d'habitat favorable à la fonction de nurserie de poissons. Pour cela, différents types de micro-récifs sont installés sur les piquets. Il ne s'agit pas ici d'installer des équipements permanents mais d'enrichir temporairement la zone en habitats propice à la fonction de nurserie en attendant que les herbiers de cymodocée transplantés grandissent ou que des herbiers naturels réapparaissent et jouent pleinement leur rôle de nurserie.



Figure 66 : Vestige de l'ancien parc à moule.

Au mois de février 2018, la société Ecocéan avec un soutien logistique de l'équipe de l'IOPR a procédé à l'installation 40 Biohut sur les piquets (Figure 67). Trois types de Biohut ont été installés pour améliorer la fonction de nurserie de poissons de cette zone. Ces Biohut sont différents de ceux installés dans les ports. Ils ont été conçus spécialement pour cette étude. En effet la particularité de cette opération est que les seuls supports disponibles pour installer les micro-récifs sont les pieux métalliques, vestiges de l'ancien parc mytilicole. Il est prévu que ces installations soient retirées à la fin du programme SARLAB. Les suivis des peuplements de poissons permettront d'évaluer l'efficacité de l'installation temporaire de récifs artificiels dans un milieu lagunaire dégradé pour compenser la perte des habitats naturels.



Figure 67 : Installation des Biohut sur les piquets du parc à moule.

4.2. Suivis écologiques

Afin d'évaluer la fonction de nurserie de cette zone, des suivis des peuplements de poissons sont réalisés par l'équipe de plongeurs de l'IOPR suivant le même mode opératoire que pour les ports du Brusc et des Embiez. Les comptages ont débuté début en mars 2018. Les comptages en points fixes sont réalisés sur 15 habitats de type Biohut®, ainsi que 3 pieux nus témoins (Figure 68). Pour les comptages sur transects, 3 sont réalisés en zone équipée et 3 autres en zone non équipée. Le parc à moules est également présenté brièvement dans la partie « dynamique et fonctionnement de la lagune du Brusc » mais sans faire la distinction entre les zones équipées et non équipée en Biohut.

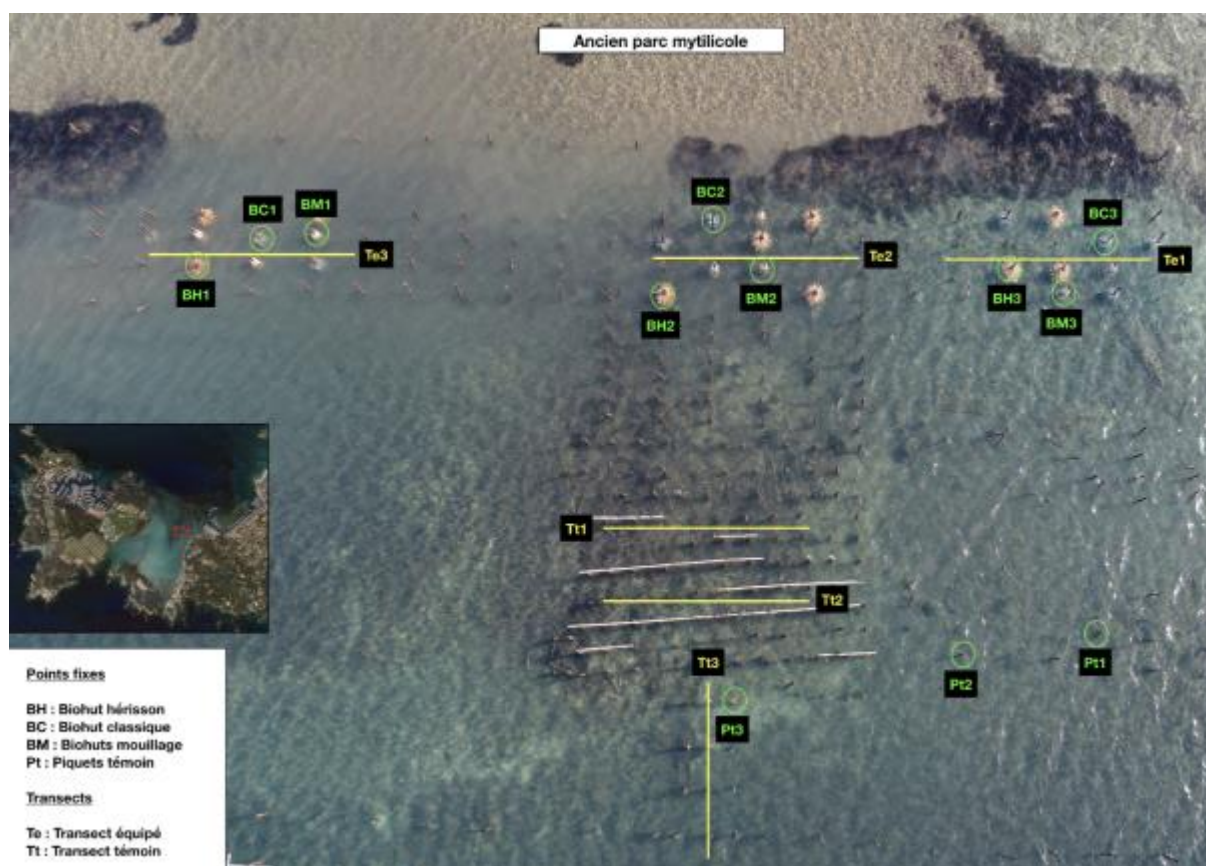


Figure 68 : Plan d'échantillonnage de comptage de poissons en points fixes et transects permanents dans le parc à moule.

4.3. Résultats et discussion

Les comptages ont pu avoir lieu toute l'année dans le parc à moules.

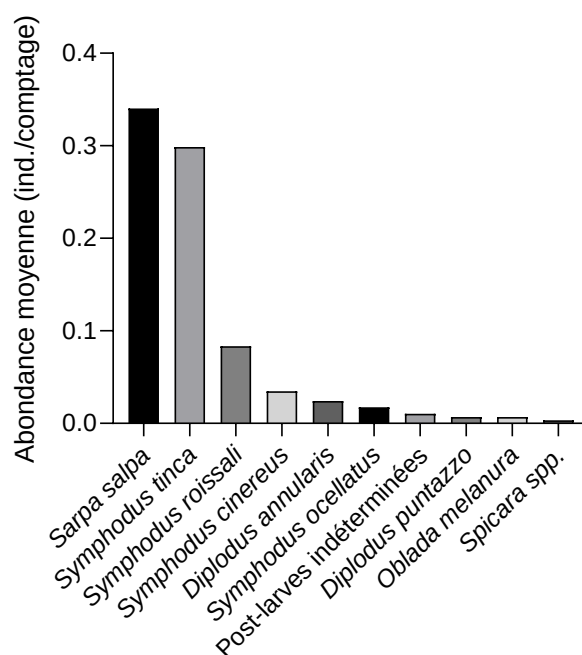


Figure 69 : abondance moyenne de juvéniles des différentes espèces observées dans le parc à moule.

Neuf espèces ont été observées au stade juvénile (Figure 69 et tableau 6). Au niveau des piquets non équipés (piquets témoins), seule une espèce (*Symphodus tinca*) a été observée au stade juvénile. Au niveau des équipements, 5 espèces ont été observées sur les Biohut classiques (Biohut Quai), 8 au niveau des Biohut kelps et 6 pour les Biohut mouillages. L'enrichissement de l'habitat par les Biohut semble donc attirer plus d'espèces de poissons au stade juvénile que les zones non équipées. Toutefois les occurrences d'observation ainsi que les abondances sont très faibles.

Taxon	Biohut classique	Biohut hérisson	Biohut mouillage	Piquet témoin
<i>Diplodus annularis</i>		4%	1%	
<i>Diplodus puntazzo</i>			1%	
<i>Oblada melanura</i>		1%		
Post-larves indéterminées			1%	
<i>Sarpa salpa</i>	3%	3%	3%	
<i>Spicara</i> spp.	1%			
<i>Symphodus cinereus</i>		1%	3%	
<i>Symphodus ocellatus</i>	3%	1%		
<i>Symphodus roissali</i>	7%	4%	1%	
<i>Symphodus tinca</i>	19%	7%	7%	1%

Tableau 6 : Occurrence des différents taxons (en bleu) dans les micro-habitats du parc à moules.

Les abondances de juvéniles varient significativement entre les différents types d'équipement (test Kruskal-Wallis ; P value <0,0001). Le test *ad hoc* de comparaisons multiples de Dunn met seulement en évidence que les densités aux niveaux des Biohut classiques sont significativement supérieures à celles au niveau des piquets témoins (Figure 70). Les plus fortes abondances moyennes au niveau des Biohut mouillage sont principalement pondérées par la présence d'un banc de saupes (*Sarpa salpa*) de plus de 80 individus observés une seule fois le 17 avril 2018.

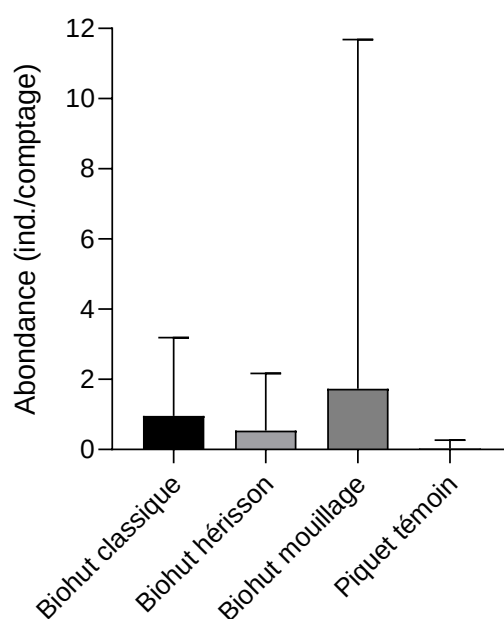


Figure 70 : Abondance moyenne en juvéniles de poissons pour les différents micro-habitats du parc à moules.

Globalement, les abondances en juvéniles dans le parc à moules sont assez faibles, bien moindre que celles observées dans les ports du Brusc et des Embiez. Contrairement aux ports du Brusc, les juvéniles n'ont pas été observés dans le parc à moules durant la saison chaude (Tableau 7).

Les abondances de juvéniles de Labridae, représentés par 4 espèces, sont plus importantes que celles de Sparidae, contrairement à ce qui a été observé dans les ports. Les juvéniles des 4 espèces de Labridae ont été observés durant la saison froide, de novembre à Janvier.

Taxons	2018										2019		
	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars
<i>Diplodus annularis</i>													
<i>Diplodus puntazzo</i>													
<i>Oblada melanura</i>													
<i>Sarpa salpa</i>													
<i>Spicara spp.</i>													
<i>Symphodus cinereus</i>													
<i>Symphodus ocellatus</i>													
<i>Symphodus roissali</i>													
<i>Symphodus tinca</i>													
Post-larves indéterminées													

Tableau 7 : Variation mensuelle de la présence (en bleu) des différents taxons dans le parc à moule.

Les premiers résultats mettent en évidence que les Biohut® « classiques » habituellement utilisés pour l'équipement des quais dans les ports sont les structures les plus attractives pour les juvéniles de poissons dans le parc à moules. Cette zone est plutôt peuplée par des poissons adultes dont les abondances sont bien plus importantes que celles des juvéniles, particulièrement en saison estivale (Figure 71).

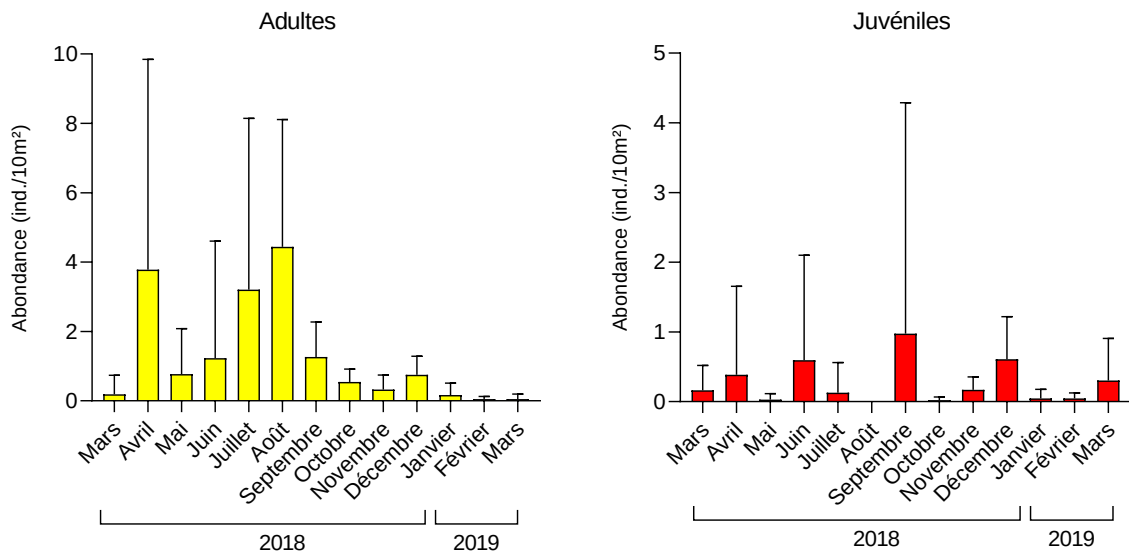


Figure 71 : Évolution des abondances de poissons adulte (en jaune) et juvénile (en rouge) dans le parc à moules.

Globalement, les résultats obtenus lors de cette première année de suivi montrent que cette zone joue un faible rôle de nurserie pour toutes les espèces observées, malgré les équipements en micro-récifs Biohut. Les juvéniles de poissons présents dans la mosaïque d'habitat de la lagune du Brusc fréquentent préférentiellement des habitats naturels tels

que les herbiers de posidonies accolés au parc à moules, les herbiers de cymodocée et les zones rocheuses.

Au cours de l'année 2018, moins d'un an après leur installation, les habitats de type « biohut mouillage » se sont fortement dégradés. Ce type d'habitat, testé dans cette étude, ne semble pas suffisamment robuste. Une réflexion est en cours concernant leur retrait ou remplacement par d'autres structures mieux adaptées.

4.4. Conclusion

L'installation de 40 Biohut sur les piquets du parc à moules a été réalisée en février 2018 après l'obtention des autorisations nécessaires (Autorisation DDTM, notice d'incidence N2000). La première année de suivi montre que cette zone n'est pas particulièrement attractive pour les juvéniles de poissons même lorsqu'on y ajoute des structure Biohut pour complexifier l'habitat et stimuler le rôle nurserie. Les juvéniles de poissons présent dans la mosaïque d'habitats de la lagune du Brusc ont une préférence pour d'autres habitats naturels comme les herbiers de posidonie qui sont accolés au parc à moule. Cette opération ne semble actuellement pas produire de gain écologique particulier. Les prochaines années de suivis permettront de préciser l'intérêt de cette action.

5. Restauration écologique d'un herbier de *Cymodocea nodosa* dans la lagune du Brusc

5.1. Introduction

Cymodocea nodosa est une Magnoliophyte marine présente dans toute la Méditerranée et en Atlantique Est du Portugal au Sénégal ainsi qu'autour des îles Canaries (Pérez-Llorens *et al.*, 2014). Elle se développe principalement sur des substrats sableux (sable fin bien calibré ou sable grossier), sablo-vaseux de mode calme ou vaseux (Auguier, 2007 ; Pergent, 2012). Le peuplement en macrofaune associé à l'herbier de cymodocée en fait un écosystème riche, bien qu'il soit moins diversifié que celui d'un herbier à Posidonie. Il est nettement plus diversifié que les fonds détritiques rencontrés sur les zones de sables dépourvues d'herbier (Como *et al.*, 2008). Ce type d'herbier joue aussi un rôle important de nurserie pour de nombreuses espèces de poissons côtiers.

Contrairement à d'autres Magnoliophytes telles que la posidonie, la cymodocée a une croissance plagiotrope relativement rapide avec en moyenne une extension de 40 centimètres par an pouvant dépasser dans certains cas 2 mètres par an (Marbà *et al.*, 2004 ; Pérez-Llorens *et al.*, 2014). Sa croissance verticale n'est que de quelques centimètres par an (Caye *et al.*, 1985). Son développement est saisonnier avec un maximum de croissance en début d'été et un minimum en hiver (Caye *et al.*, 1985 ; Pérez *et al.*, 1993 ; Pérez et Romero, 1993 ; Pérez-Llorens *et al.*, 2014 ; Sghaier *et al.*, 2016). Ces caractéristiques confèrent à cette espèce une capacité de colonisation rapide du milieu lorsque les conditions lui sont favorables.

Historiquement, les fonds sableux de la lagune du Brusc étaient majoritairement recouverts par un vaste herbier de Cymodocée. Entre 2002 et 2014, cet herbier a connu une régression presque totale avant de se stabiliser et donner de timides signes de reprise. Seul l'herbier de la saline des Embiez, accolé à la lagune du Brusc a été épargné et s'est maintenu en bon état au cours de cette période. La saline des Embiez bénéficie d'un caractère particulier qui a épargné l'herbier de cymodocée des perturbations ayant entraîné sa quasi-disparition dans la lagune du Brusc.

Dans ce contexte, des essais de transplantation d'herbiers de cymodocée ont été réalisés lors des programmes LANDEAU (2014/2015) (Miard *et al.*, 2015 ; Kirchhofer *et al.*, 2016) pour tester la faisabilité de régénérer des herbiers de cymodocée dans lagune du Brusc. Les résultats de cette expérimentation ont été concluants dès lors que les transplants étaient recouverts d'une grille pour les protéger du broutage par les saupes, poissons herbivores. Ces résultats ont motivé la réalisation d'une opération de transplantation de cymodocée de plus grande ampleur dans le programme SARLAB. L'action de restauration d'herbier de cymodocée par transplantation prévu dans le programme SAR-LAB est une action de « renforcement de population », définie dans la littérature comme « l'action de relâcher ou

réimplanter des individus d'une espèce menacée dans une région d'où elle n'a pas disparu mais où ses effectifs sont considérés comme trop bas » (Boudouresque et al., 2006).

L'objectif de cette action de restauration est double :

- Valider la capacité de restaurer l'habitat herbier de cymodocée à une échelle spatiale significative par technique de transplantation.
- Potentialiser la fonction nurserie de la lagune du Brusc en fournissant un habitat favorable à l'installation des post-larves de poissons.

5.2. Opération de transplantation de cymodocée dans la lagune du Brusc

Préalablement à la réalisation de l'opération de transplantation d'herbier de cymodocée, plusieurs demandes administratives et déclarations ont été réalisées et obtenues : autorisation DDTM, demande d'AOT, incidence Natura 2000, dossier Loi sur l'eau.

La saline des Embiez bénéficie d'un caractère particulier qui a épargné l'herbier de cymodocée des perturbations qui ont entraîné sa quasi-disparition dans la lagune du Brusc. Ce site d'une surface d'un hectare et demi comporte un herbier de cymodocée dense (entre 1250 et 1500 faisceaux/m² au plus fort de la vitalité de l'herbier) sur substrat sablo-vaseux constitué par un enchevêtrement de rhizomes quelquefois sur plusieurs dizaines de centimètres de haut et colonisant la quasi-totalité de la surface disponible. La saline des Embiez a été choisie comme site donneur pour l'opération de transplantation. Les transplants utilisés proviennent donc du même herbier ancestral qui recouvrait une grande partie de la lagune du Brusc jusque dans les années 2000. La zone concernée par les prélèvements de faisceaux représente approximativement 4 m² (Figure 72).

Le transport entre la zone de prélèvement est la zone de transplant n'est donc que de quelques dizaines voire centaines de mètres. La navigation des embarcations motorisées étant interdite dans la lagune, toutes interventions de l'IOPR dans cette zone est réalisée en kayak.



Figure 72 : Localisation de la zone de prélèvement des transplants

L'opération de transplantation a été réalisée au mois d'Avril 2018. Dix modules ont été disposés en ligne entre l'ancien parc mytilicole et la saline des Embiez pour former un corridor de 140 m de long. Ce nouvel habitat implanté dans la zone sableuse pourra être directement utilisé comme nurserie pour les juvéniles de poissons mais aussi comme corridor reliant 2 habitats de nurserie : la saline et le récif barrière de posidonie (Figure 73). Chaque module représente un carré de 5 m de côté, soit une surface de 25 m². À l'intérieur sont disposés 8 unités de transplantation de cymodocée de 1 m² accueillant chacun 100 faisceaux de cymodocée recouverts par un dispositif de protection (Figure 74). Les 8 unités de chacun des modules sont disposées autour d'un module central constitué d'une alternance d'enceintes métalliques vides ou remplies de coquilles d'huître. Les modules centraux ont un rôle d'habitat de substitution pour les juvéniles de poissons en attendant que les herbiers aient suffisamment grandi pour jouer pleinement leur rôle de nurserie. Les 10 unités ainsi disposées représentent une surface totale de 250 m² dont 80 m² de transplantation d'herbier comportant un total de 8000 faisceaux transplantés.

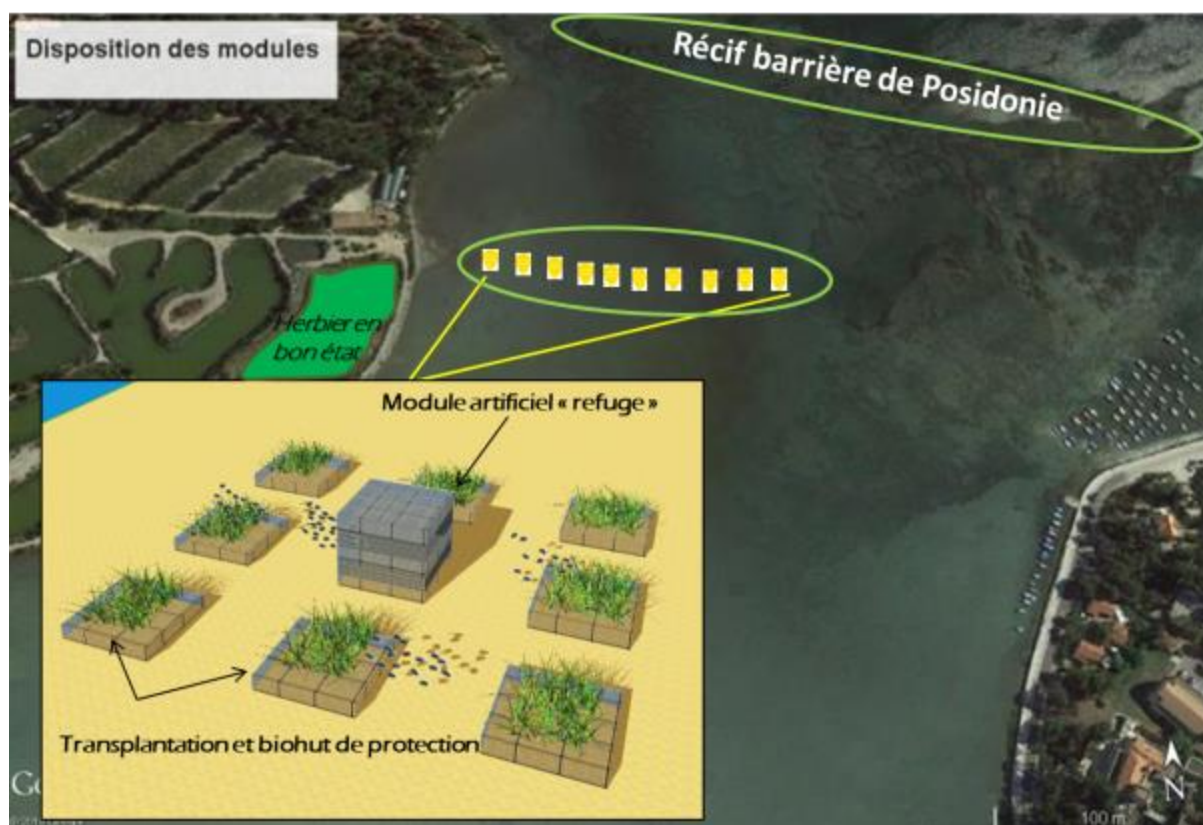


Figure 73 : Schématisation de l'implantation des modules.

Il est prévu qu'en début de la deuxième année de l'opération des dispositifs de protection supplémentaires soient installés autour de ceux positionnés la première année afin de protéger les stolons qui auront colonisé le pourtour des zones transplantées. Nous ajusterons le nombre et le positionnement des nouveaux dispositifs de protection en fonction des observations faites sur leur efficacité par rapport aux contraintes liées à leur présence.

L'objectif à la fin de l'opération est que les herbiers transplantés se densifient et s'étendent jusqu'à combler les espaces entre les unités de transplantation et entre les modules pour ne former qu'un vaste herbier. Les dispositifs de protection pourront alors être retirés.

L'objectif à long terme est que cet herbier continue sa dynamique de recolonisation du centre de la lagune sans nécessité d'intervention, et que l'écosystème lagunaire se retrouve en auto-organisation, similaire à l'écosystème historique de référence.



Figure 74 : Installation des modules de transplantation

Afin d'évaluer la réussite de l'opération de transplantation de cymodocée et le gain écologique engendré, plusieurs types de suivis scientifiques ont été mis en place.

5.3. Suivi des herbiers transplantés

5.3.1 Matériel et méthode

Le suivi des herbiers transplantés est réalisé par mesures de la densité des faisceaux et de l'extension des herbiers. Les comptages sont réalisés 2 fois par mois, sur 3 unités de transplantation de 3 modules (Figure 75). La densité des herbiers est déterminée par un comptage en triplicat de la totalité des faisceaux présents sur un carré de 20 cm de côté placé aléatoirement sur la cymodocée réimplantée. Elle est exprimée en nombre de faisceaux par m².

L'extension des herbiers à l'extérieur des unités de transplantation est mesurée à l'aide d'un mètre ruban pour chacun des côtés de chaque unité de transplantation échantillonnée.

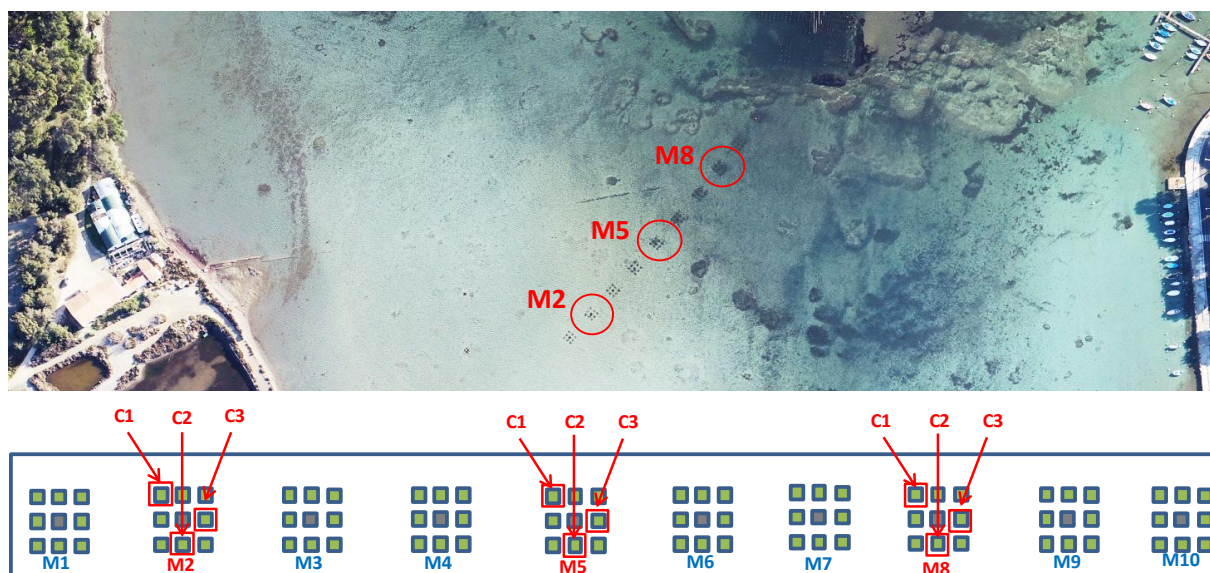


Figure 75 : Localisation des modules suivis des herbiers transplantés au sein du corridor et plan d'échantillonnage de la densité des herbiers de cymodocée transplantés.

5.3.2 Résultats et discussion

Dès les premières semaines après l'opération de transplantation, les boutures ont pris et ont rapidement commencé à croître. En seulement deux semaines, les densités pour l'ensemble du corridor ont significativement augmenté, passant de 80 ± 0 faisceaux.m⁻² le 06/04/2018 à 125 ± 67 faisceaux.m⁻² le 20/04/2018. Les plus fortes densités de faisceaux ont été observées en août, avant que l'herbier ne commence à perdre ses feuilles, avec une densité moyenne de 643 ± 211 faisceaux.m⁻² (Figure 76 et 77). Au cours de la première année après la transplantation, l'herbier transplanté a donc vu sa densité augmenter d'un facteur 8. À titre de comparaison, les densités mesurées en août 2017 sur les patchs d'herbiers de cymodocée naturelle à la petite passe du Gaou et le long de la corniche du Brusc variaient entre 700 et 2000 faisceaux.m⁻² (Lyonnet, 2017).

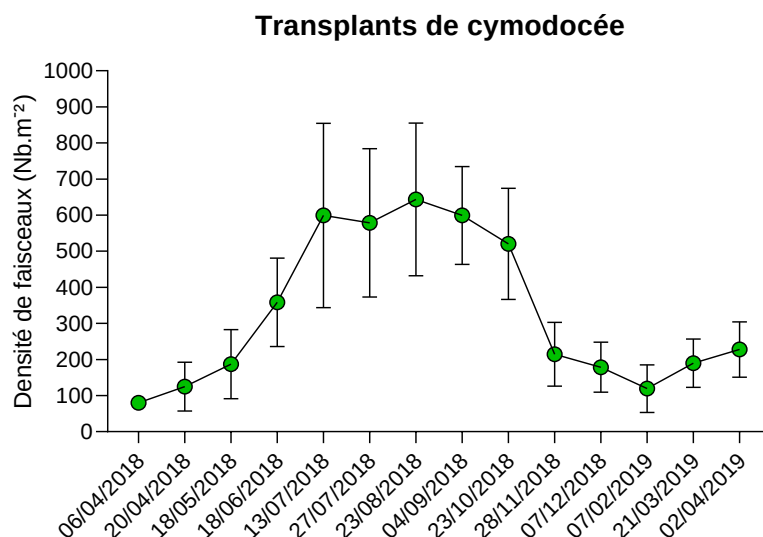


Figure 76 : Évolution de la densité moyenne de faisceaux transplantés.

Dès la fin du mois d'août, l'herbier a commencé à perdre ses feuilles et la densité de faisceaux a diminué jusqu'au mois de février 2019 (119 ± 66 faisceaux.m⁻²). Malgré la régression naturelle des herbiers en hiver, les densités les plus faibles (en Février 2019) sont significativement plus élevées que ce qui a été transplanté au départ (t test, P value < 0,005).



Figure 77 : Exemple de densification des parcelles d'herbiers transplantés.

Un autre point positif est la reprise de croissance nette et rapide de l'herbier dès le mois de mars 2019 (190 ± 67 faisceaux.m⁻²). Au début du moins d'avril 2019, à peu près à la même date que lors de la transplantation des boutures l'année précédente, les densités atteignaient déjà 228 ± 77 faisceaux.m⁻², soit un herbier presque 3 fois plus dense.

Afin de vérifier si cette dynamique de croissance des herbiers transplantés est homogène sur l'ensemble du corridor, nous avons testé s'il y avait eu des différences de densité en différents modules du corridor. Pendant toute la période de croissance (jusqu'au mois d'août) les plus fortes densités de faisceaux ont été observées sur le module 2, côté Sud-Ouest du corridor (Figure 78). Malgré une tendance au plus fort développement de faisceaux sur le module 2, les seules différences significatives en termes de densité de faisceaux a été observé le 13/07/2018 (Test ANOVA, P value = 0,0169) avec des densités significativement plus élevées en M2 qu'en M5 et M8 (Test ad hoc de comparaison multiple de Tukey, M2 vs M5 : P value = 0,03 ; M2 vs M8 : P value = 0,04). Au mois d'août, aucune différence significative de densité de faisceaux n'a été détectée entre les différents modules suivis.

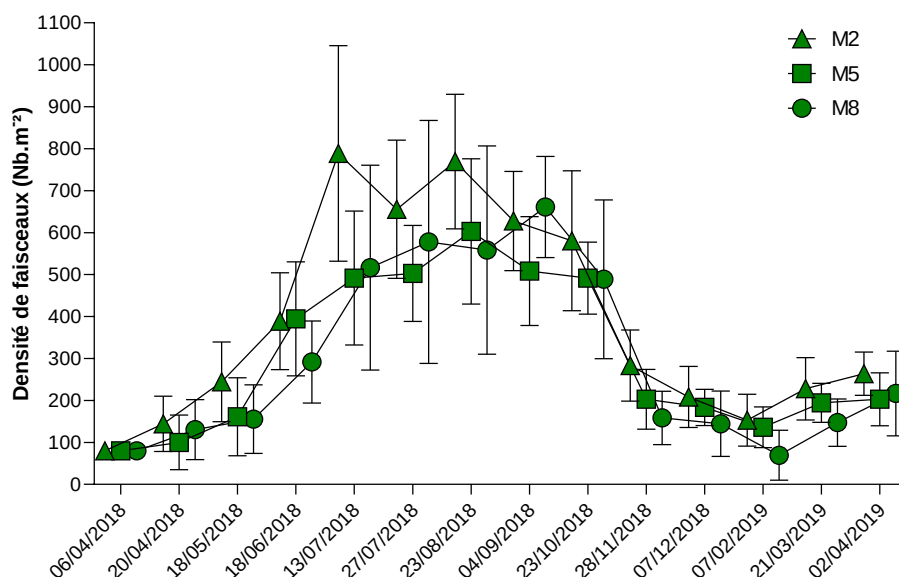


Figure 78 : Évolution de la densité moyenne de faisceaux transplantés pour les modules M1, M5, M8.

En plus de la forte densification des herbiers dans les parcelles transplantées, nous avons rapidement observé une extension des herbiers hors des cages de protection. Au début du mois de juillet 2018, des stolons dépassaient de plus de 30 cm des cages de protection. Au mois d'août 2019, les stolons poussant en dehors des cages au module M2 mesurent plus d'un mètre, malgré des marques de broutage sur les feuilles (Figure 79). Entre les cages, les stolons finissent par se rejoindre et se croiser jusqu'à ce que l'on ne puisse plus distinguer de quelle cage de protection ils étaient originaires. L'extension de l'herbier hors des cages de protection a tendance à être plus marqué au niveau des modules de la partie Sud-Ouest du corridor que pour ceux de la partie Nord-Est, proche de l'ancien parc à moules. Lors des prochaines années de suivis, nous porterons une attention particulière à ce phénomène.

Le choix de protéger ces herbiers, au moins en partie, avec des grilles pour lutter contre le broutage semble être efficace. Par contre on observe des traces de broutage sur les feuilles qui sortent des cages (Figure 79). Cela montre que les dispositifs de protection sont efficaces et utiles mais insuffisants pour protéger l'ensemble de l'herbier. Le but de l'opération n'est pas de générer un herbier artificiellement maintenu par des systèmes de protection. Lors des 2 années à venir, nous modifierons ce système de protection pour protéger en partie l'herbier qui s'étend hors des cages. Le but à la fin de l'opération est de générer un herbier suffisamment dense et étendu pour qu'il puisse subsister et continuer de se développer une fois que l'on aura retiré tous les systèmes de protection.

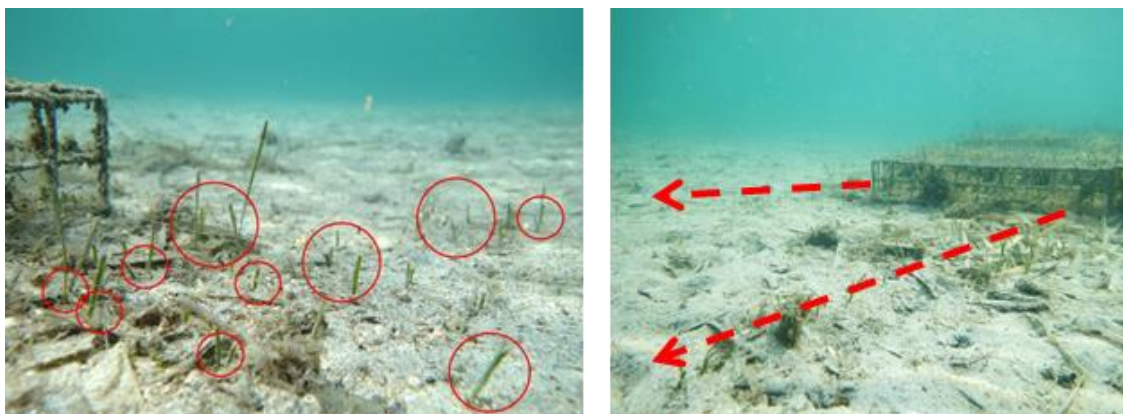


Figure 79 : Colonisation de nouveaux espaces par extensions des rhizomes de *Cymodocea nodosa*.

Par ailleurs, il est à noter la présence de *Caulerpa cylindracea* (espèce allochtone introduite en Méditerranée) au sein des unités de transplantation qui n'a cependant pas été quantifiée. Pour l'instant nous n'avons pas observé d'incidence négative sur les transplants. Cependant la présence de cette algue invasive n'est pas à négliger au regard des processus de défenses chimiques liés à cette espèce dans la compétition interspécifique (Klein J. et Verlaque M., 2008).

Pour la suite de l'étude il sera important de comparer l'évolution des surfaces de l'herbier transplanté avec celles des herbiers naturels de cymodocée. En effet, nous sommes actuellement dans une phase de régénération de l'herbier naturel : entre 2017 et 2018, la surface d'herbier de cymodocée naturelle est passée dans la lagune de 1400 m² à 2080 m². Actuellement, l'herbier transplanté a une surface d'environ 100 m². Les prochaines années de suivi permettront d'estimer la dynamique de croissance de l'herbier transplantés par rapport aux herbiers naturels et donc de discuter sur le gain écologique apporté par cette opération au regard de l'évolution globale de la lagune. Ces données permettront aussi d'extrapoler sur l'échelle de temps à laquelle on peut espérer un retour à l'état antérieur à la dégradation des herbiers qui s'étendaient sur 30 hectares dans la lagune jusqu'en 2004.

5.4. Suivis des peuplements ichtyologiques

5.4.1 Matériel et méthode

Le suivi des peuplements poissons est réalisé deux fois par mois sur des points fixes permanents de (3 min de comptage sur 1 m²) et en triplicats (Figure 80). Les comptages sont réalisés sur les unités de transplantation de cymodocée, sur les modules centraux, sur un herbier de cymodocée naturelle au niveau de la passe du Gaou, ainsi que sur une zone sableuse. La zone sableuse est considérée comme une zone témoin pour évaluer le gain écologique apporté par le corridor de transplant de cymodocée. L'herbier de cymodocée naturel situé au niveau de la passe du Gaou est considéré comme l'habitat cible à atteindre dans cette opération de restauration écologique (voir partie sur les suivis sur les habitats naturels de la lagune).

Un comptage sur transects permanent est réalisé sur les mêmes habitats à la même fréquence que ceux sur points fixes. Des transects de 40 m de long pour 2 m de large sont réalisés sur le sable et le corridor de cymodocée transplanté. Sur la cymodocée, les transects mesurent 10 m de long pour 2 m de large.

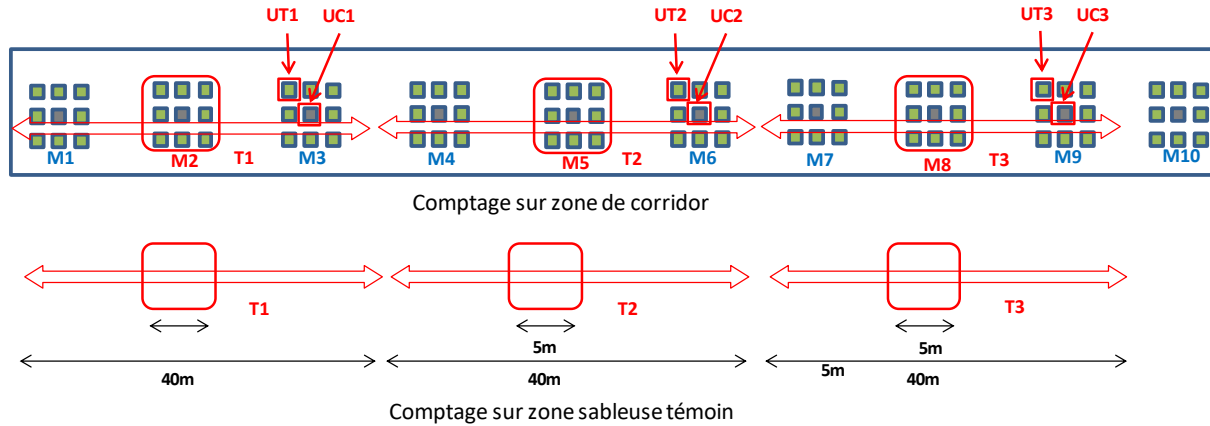


Figure 80 : Plan d'échantillonnage des peuplements ichtyologiques sur le corridor de transplantation d'herbier de cymodocée et sur une zone sableuse témoin.

5.4.2 Résultat et discussion

5.4.2.1 Espèces présentes au stade juvénile

L'habitat de référence (ou témoin) est le fond sableux qui s'étend sur une large partie de la lagune et sur lequel a été transplanté le corridor de cymodocée. Sur le sable, seuls quelques rares juvéniles de Gobiidae ont été observé (Tableau 8). Nos données n'ont pas mis en évidence d'effet nurserie sur les espèces observées. Toutefois, il faut noter que notre technique d'échantillonnage est peu adaptée pour ce type d'habitat, surtout pour les espèces très mobiles comme les rougets. La zone sableuse semble donc jouer un faible rôle de nurserie.

13 taxons ont été rencontrés sur le corridor ce qui est du même ordre de grandeur que pour la cymodocée naturelle (10 taxons). Les post-larves indéterminées ne sont pas comptabilisées comme un taxon. Elles sont présentes seulement sur la cymodocée naturelle qui semble être un habitat propice à leur recrutement.

Taxon	Cymodocée transplantée	Module central	Sable
<i>Atherina boyeri</i>	3%	10%	
<i>Diplodus annularis</i>	16%	30%	
<i>Diplodus puntazzo</i>	13%	30%	
<i>Diplodus sargus</i>		3%	
<i>Diplodus vulgaris</i>	16%	17%	
Gobiidae			3%
<i>Mullus surmuletus</i>	3%	5%	
<i>Oblada melanura</i>		2%	
<i>Pagellus</i> spp.	5%	6%	
<i>Sarpa salpa</i>	10%	27%	
<i>Symphodus cinereus</i>	3%	2%	
<i>Symphodus ocellatus</i>	2%		
<i>Symphodus roissali</i>		5%	
<i>Symphodus tinca</i>	3%	10%	

Tableau 8 : Occurrences des différents taxons (en bleu) dans la cymodocée transplantée et les modules centraux du corridor, sur le sable.

Les athérines (*Atherina boyeri*) constituent l'espèce la plus abondante pour le corridor et pour la cymodocée naturelle et ont un fort poids dans le jeu de donnée. Les juvéniles ont été observés de façon ponctuelle en bancs de plusieurs dizaines d'individus. Pour la suite de l'analyse des résultats, nous ne prendrons pas en compte cette espèce (Figure 81).

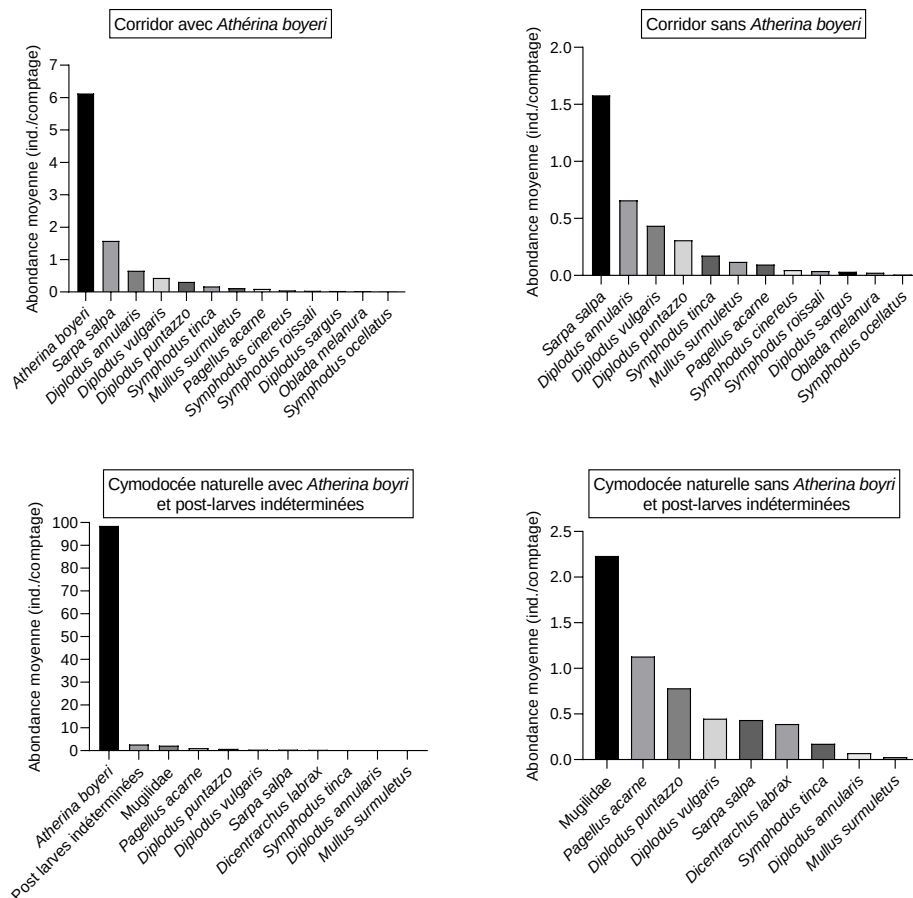


Figure 81 : Abondances moyennes de juvéniles des différentes espèces observées dans le corridor de cymodocée transplantée et dans la cymodocée naturelle entre mars 2018 et mars 2019.

La plupart des espèces présentes sur l'herbier de cymodocée naturel le sont aussi sur le corridor. Néanmoins les peuplements sont différents. Pour l'herbier de cymodocée naturel, ce sont les Mugilidae, les *Pagellus* spp. et les *Diplodus puntazzo* qui sont les plus abondantes alors que pour le corridor, les 3 espèces les plus abondantes sont *Sarpa salpa*, *D. annularis* et *D. vulgaris*.

Globalement on retrouve les mêmes espèces et dans les mêmes proportions au niveau de la cymodocée transplantée qu'autour des modules centraux (Figure 82). Les abondances en juvéniles sont plus importantes au niveau des modules centraux, probablement liées à un rôle d'abri ou concentrateur lorsque les poissons aperçoivent les plongeurs, mais aussi à la structuration en 3 dimensions de cet habitat qui offre plus de volume.

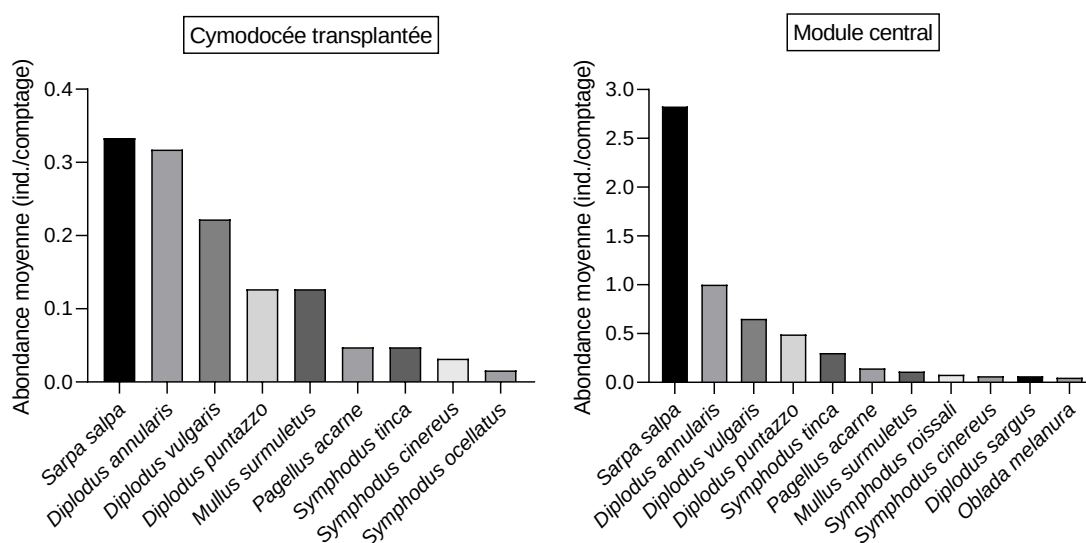


Figure 82 : Abondances moyennes de juvéniles des différentes espèces (sans *Athérina boyeri*) observées dans le corridor de cymodocée au niveau de la cymodocée transplantée et au niveau des modules centraux entre mars 2018 et mars 2019.

5.4.2.2 Mise en évidence de la fonction de nurserie pour certaines espèces.

Les 4 espèces les plus abondantes dans le corridor de cymodocée transplantée appartiennent à la famille des Sparidae. Les juvéniles de ces 4 espèces (*Sarpa salpa*, *Diplodus annularis*, *D. vulgaris*, *D. puntazzo*) ont fréquenté la zone pendant plusieurs mois d'affilée et leur taille a augmenté au cours du temps jusqu'au stade de jeunes adultes (Figure 83). Ces espèces ont donc utilisé le corridor de transplant comme nurserie. Des juvéniles de ces espèces ont aussi été observés durant les mêmes périodes dans les herbiers de cymodocée naturels alors qu'aucun n'a été observé sur la zone sableuse (exemple en figure 84).

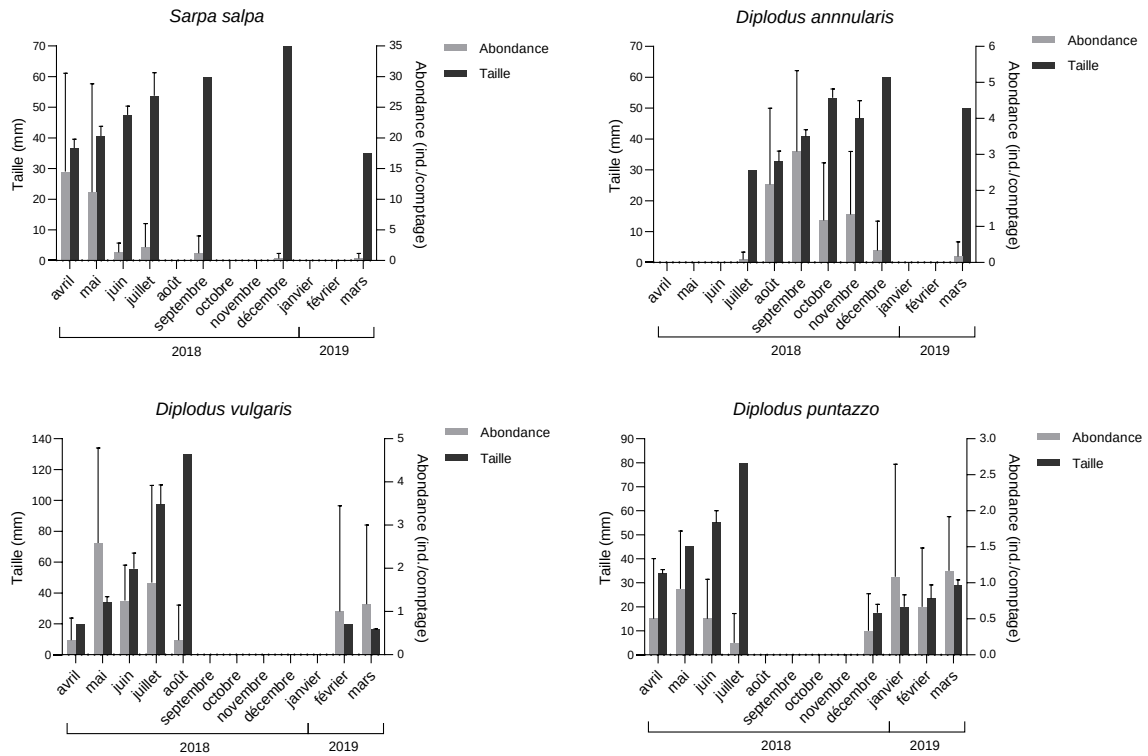
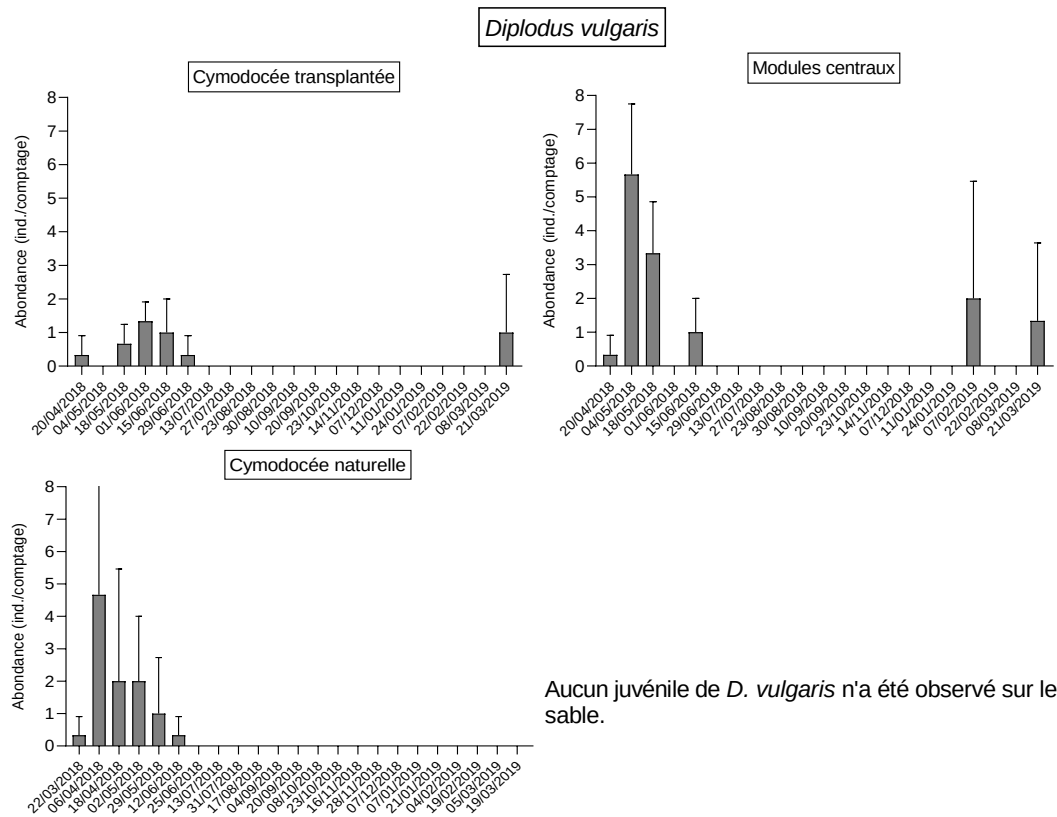


Figure 83 : Évolution de la taille et de l'abondance moyenne des individus de *Sarpa salpa*, *Diplodus annularis*, *D. vulgaris*, *D. puntazzo* dans le corridor de cymodocée transplantée.



Aucun juvénile de *D. vulgaris* n'a été observé sur le sable.

Figure 84 : Évolution des abondances de juvéniles de *Diplodus vulgaris* dans le corridor de cymodocée transplantée et dans la cymodocée naturelle entre mars 2018 et mars 2019.

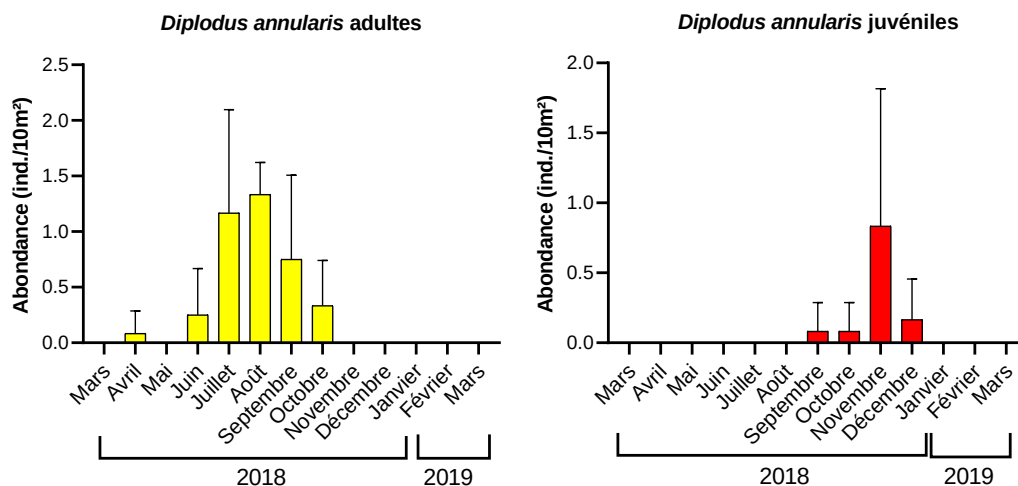


Figure 85 : Évolution des abondances d'adultes (en jaune) et de juvéniles (en rouge) de *Diplodus annularis* dans le corridor de cymodocée transplantée.

Il semble donc que le corridor de cymodocée transplantée ait été utilisé comme zone de nurserie dès les premiers mois de son installation pour plusieurs espèces de poissons qui utilisent aussi l'herbier de cymodocée naturel comme nurserie. Cela montre un gain de fonction de nurserie par rapport à l'habitat sableux. Les Biohuts de protection des transplants ainsi que ceux des modules centraux attirent à la fois des juvéniles de poissons et des poissons adultes. Certaines espèces utilisent le corridor comme nurserie mais aussi comme habitat temporaire pour les adultes. C'est le cas par exemple de *D. annularis* (Figure 85) et de *D. vulgaris*. La transplantation d'herbier de cymodocée a donc eu un effet bénéfique concernant la fonction de nurserie sur la zone de transplant. Les herbiers transplantés ne représentent actuellement qu'une faible proportion de la zone sableuse, autrefois recouverte par de la cymodocée. Le gain de fonction de nurserie de cette action restaurative sera évalué au cours des prochaines années en combinant les données de suivi des juvéniles de poissons et de l'évolution des surfaces colonisées par les herbiers cymodocée.

5.5. Conclusion

L'opération de transplantation de cymodocée a été réalisée au mois d'Avril 2018 après l'obtention des autorisations nécessaires (Autorisations DDTM, AOT, notice d'incidence Natura 2000, dossier Loi sur l'eau). Dix modules comprenant les transplants de cymodocée ont été disposés en ligne entre l'ancien parc mytilicole et la saline des Embiez pour former un corridor de 140 m de long.

Un an après l'opération de transplantation, les résultats sont encourageants sur l'ensemble du corridor. Les transplants ont survécu et grandi. Leur densité a été multipliée par 8 au cours de la saison de développement des herbiers. Ils ont survécu à l'hiver et continu de croître avec une rapide extension des faisceaux hors des cages de protection avec un début

de recolonisation des zones adjacente. Le choix de protéger ces herbiers, au moins en partie avec des grilles pour lutter contre le broutage semble être efficace mais devra faire l'objet d'amélioration lors des prochaines années. Cette action a rapidement généré un effet attracteur pour les poissons juvéniles et adultes et a même généré le retour de la fonction de nurserie. Les modules centraux jouent un rôle attracteur important. Les espèces présentent dans la cymodocée naturelle le sont aussi sur le corridor. Le corridor de cymodocée transplantée a été utilisé comme zone de nurserie pour plusieurs espèces de poissons qui utilisent aussi l'herbier de cymodocée naturel comme nurserie. Les peuplements juvéniles de poissons sont beaucoup plus diversifiés et abondants sur le corridor de cymodocée transplantée que sur le sable. Dans la suite de l'étude une analyse comparative de l'évolution des surfaces de l'herbier transplanté avec celles des herbiers naturels de cymodocée sera réalisée. Combiné avec le suivi des juvéniles de poissons, ce travail permettra d'évaluer le gain écologique apporté par cette opération au regard de l'évolution globale de la lagune et d'estimer l'échelle de temps nécessaire à une restauration conséquente du site.

6. Réaffectation des anciens marais salants des Embiez

6.1.1 Contexte

Les anciens salins ont une configuration similaire à la parcelle dite « saline », attenante au laboratoire de l'IOPR, dont le rôle de nurserie a été démontré dans le projet SALINE (Miard et al., 2016). Cependant les échanges d'eau avec la mer ne s'effectuent plus de manière optimale, entraînant une dégradation de tout l'écosystème. Cet écosystème s'est peu à peu dégradé au fil des ans et subit aujourd'hui de fortes variations saisonnières :

- Un assèchement et une hyper salinité (supérieur à 100) en période estivale (Figure 86).
- Une recharge importante en eau douce liée à l'apport des pluies, en hiver (avec une salinité autour de 40).
- Des variations extrêmes des paramètres physico-chimiques (pH, T°C, Turbidité, etc.).

La fermeture entre les deux écosystèmes lagunaires a entraîné une dégradation et une disparition progressive des principales communautés biologiques ainsi que l'apparition de phénomènes anoxiques en période estivale. Ce processus ne permet actuellement pas le développement d'une vie aquatique caractéristique des lagunes méditerranéennes. Seul le bassin en limite Est (aussi appelé « saline ») reste en bon état de conservation. Il constitue l'état de référence à l'échelle du site, au moins en ce qui concerne la partie marine (Figure 87).

L'objectif de cette action restaurative est ici de recréer des conditions hydrologiques favorables à la résilience de cette zone marine lagunaire, d'accroître sa capacité d'accueil pour les espèces marines et d'en faire une zone productive du point de vue halieutique. La circulation de l'eau sera assurée par la reconnexion des salins à la lagune par un chenal en béton équipé d'une martellière permettant de gérer les flux d'eau.



Figure 86 : Ancien salin des Embiez en période estivale. Le niveau de l'eau est plus bas que le niveau de la mer à cause de l'évaporation et du manque de renouvellement d'eau.

Une fois les aménagements effectués, un suivi régulier permettra d'apprécier la capacité de résilience de cet écosystème particulier notamment en ce qui concerne la fonction nurserie pour les juvéniles de poissons ainsi que la recolonisation progressive des herbiers de phanérogames (*Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii*, *Ruppia cirrhosa*).



Figure 87 : Anciens salins des Embiez. En jaune, la zone dégradée sujette à l'action de restauration ; en bleu, la zone en bon état (écosystème de référence).

6.1.2 Descriptif des actions préliminaires à la phase de travaux

La première phase (2017/2018) du programme SAR-LAB a essentiellement été axée sur l'état des lieux du site, les demandes d'autorisations de travaux, sa modélisation 3D ainsi que la définition de la trajectoire de restauration souhaitée pour cette zone lagunaire particulière.

6.1.2.1 Diagnostic écologique du milieu terrestre

Un diagnostic écologique du site a été réalisé dans un premier temps afin d'apprécier la structure topographique, bathymétrique ainsi que la caractérisation des cortèges végétaux inféodés à ce type de milieu (Figure 88).

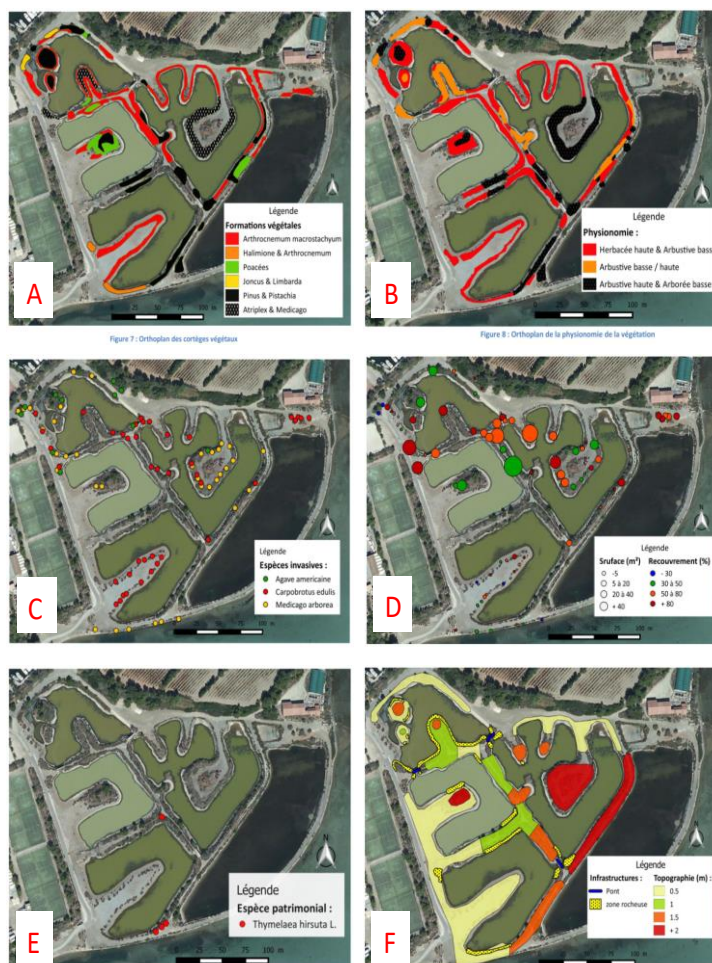


Figure 88 : Cartographies des différents cortèges floristiques, des différentes structures de végétation, des espèces invasives, leur recouvrement, l'identification d'espèces patrimoniales ou encore une première approche topographique des berges.

6.1.2.2 Modélisation en 3 dimensions du site

La modélisation en trois dimensions du site a été réalisée afin de proposer des surfaces à aménager (Figure 89).



Figure 89 : Plan en 3 dimensions des anciens salins et proposition d'aménagement.

6.1.2.3 Paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau

Une analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau a été effectuée en 3 points au printemps 2018 par le laboratoire départemental d'analyse du Var pour les besoins relatifs aux diverses autorisations et notamment concernant la note d'incidence Natura 2000 (Figure 90). Une seconde analyse sera effectuée à la fin du projet.



Figure 90 : localisation des points de prélèvement d'eau pour l'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

Les résultats des analyses d'eau ne fait apparaître aucune valeur discriminante par rapport aux valeurs habituellement présentes en mer ouverte (Tableau 9). La turbidité importante est essentiellement due au cloisonnement des bassins et aux fluctuations mensuelles des paramètres tels que la température, l'apport d'eau douce ou au contraire l'évaporation. Cette variation interne engendre des développements épisodiques de phytoplancton. Ceci est également valable pour les bactéries sulfato-réductrices qui se développent naturellement dans des milieux confinés et mal oxygénés. L'homogénéisation du milieu et une meilleure oxygénation fera naturellement chuter ces valeurs.

Les valeurs en substance azotée, notamment les nitrates (inférieur à 5 mg/l), sont bien en – deçà des valeurs seuil imposées par la directive Nitrate fixant le seuil critique à 50 mg/l.

Concernant les valeurs couramment utilisées en microbiologie et notamment les entérocoques ou les *Escherichia coli*, bactéries d'origine fécale, les valeurs mesurées sont inférieures aux seuils de la norme en vigueur concernant les eaux de baignades classiques.

Paramètres	PRV 1	PRV 2	PRV 3	Valeurs seuil
Turbidité (NFU)	76	94	80	< 30
pH	8,6	8,6	8,7	8,2
Orthophosphates (mg/L PO4)	0,0656	0,0561	0,0573	0,12
Conductivité à 25°C (µS/cm)	85,691	85,501	87,589	< 80
Carbone organique Total (mg/L)	63	53	55	
Bactéries coliformes (/100ml)	< 10	< 10	< 10	< 500
Entérocoques intestinaux (/100ml)	62	40	10	< 200
Escherichia coli (/100ml)	< 10	< 10	< 10	< 500
Ammonium NH4 (mg/L)	< 5	< 5	< 5	
Nitrates (mg/L)	< 5	< 5	< 5	< 50
Nitrites (mg/L)	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Aluminium dissous (mg/L)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	
Cuivre dissous (mg/L)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 2

Tableau 9 : Résultats des analyses d'eau des salins avant travaux.

6.1.2.4 Réalisation de cartographies bathymétriques

Une première cartographie de la bathymétrie a été effectuée en 2016. Par la suite cette cartographie a été affinée en 2018 grâce à l'intervention d'un cabinet de géomètre (Figure 91). Ce travail sert d'une part à mieux apprécier les profondeurs disponibles au sein de la pièce d'eau mais servira également au positionnement de l'ouvrage de reconnexion.

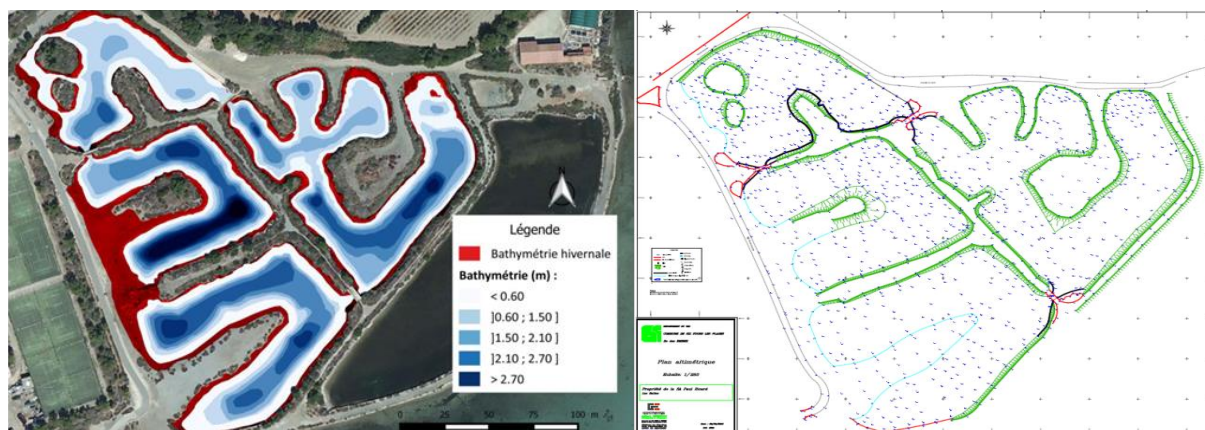


Figure 91 : cartographies bathymétriques des anciens salins. À gauche : cartographie réalisée en 2016 par l'IOPR ; à droite : cartographie réalisée en 2018 par un géomètre.

6.1.3 Détermination de l'ouvrage pour la reconnexion des masses d'eau

L'homogénéisation des masses d'eau entre la mer ouverte (Lagune du Brusc) et les anciens salins est indispensable afin de retrouver un équilibre et une stabilisation des paramètres physico-chimiques dans les bassins de l'île des Embiez. La restauration des échanges devrait permettre l'apparition d'un écosystème productif et riche en biodiversité, notamment concernant la recolonisation progressive des herbiers de phanérogames (*Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii*, *Ruppia cirrhosai*) ayant disparu suite au comblement de l'ouvrage de connexion il y a plus d'une dizaine d'années.

Les aménagements visent donc la mise en place d'un nouvel ouvrage constitué d'un chenal muni d'une martellière qui permettra en outre la reconnexion du système, de gérer manuellement les flux d'eau entrant/sortant afin que l'homogénéisation se fasse progressivement (Figure 92).

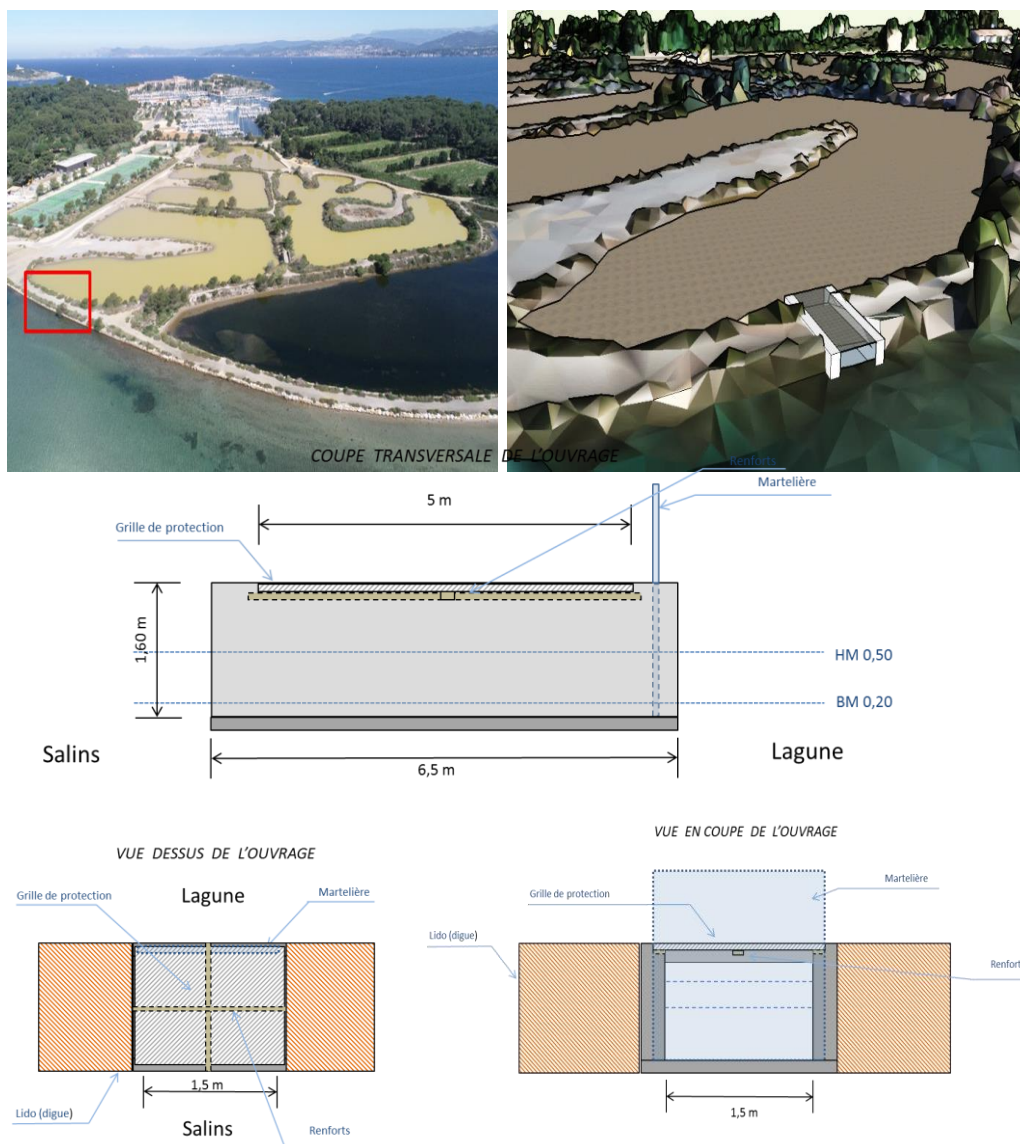


Figure 92 : Localisation et schéma du chenal.

6.1.4 Autorisations réglementaires

Un dossier de déclaration Loi sur l'eau a été effectué en 2017. En complément, un document d'incidence Natura 2000 a été effectué en 2018 afin de décrire plus en détail les aménagements prévus. Enfin, l'accord du propriétaire a été obtenu en début d'année 2019.

6.1.5 Perspectives

Les actions de réaffectation des anciens salins et les suivis écologiques associés sont planifiés pour démarrer au courant de l'automne 2019 avec la réalisation des travaux de reconnexion des masses d'eaux.

7. Actions de communication

Afin d'impliquer les citoyens au programme de restauration écologique SARLAB, l'IOPR communique et développe des supports d'éducation, de sensibilisation et communication adaptés à différents publics. La communication sur le programme doit aider à l'appropriation et à l'implication des communautés locales mais aussi des touristes et plus largement toutes les personnes concernées par ce site.

7.1. Panneaux de communication

Dans le cadre de la communication du programme SAR-LAB, l'Institut océanographique Paul Ricard a élaboré 13 visuels à l'attention du grand public.

Une exposition permanente constituée de 11 panneaux sera installée sur le site du petit Gaou et du grand Gaou, permettant aux promeneurs de les consulter face à la lagune. Les panneaux de sensibilisation seront installés à des points stratégiques, à proximité des herbiers existants (Figure 93). Ils seront installés au cours de l'année 2019. La même exposition sera aussi installée sur l'île des Embiez le long de la lagune.

Dans cette exposition, 6 panneaux expliquent les causes et enjeux du programme en décrivant la situation géographique de la zone d'étude, son rôle de nurserie, ses problématiques concernant la forte dégradation des herbiers, les intérêts de la restauration écologique, ainsi que la description détaillée des aménagements et suivis scientifiques répondant aux besoins de l'étude. Deux panneaux portent sur la description et les rôles écologiques des herbiers de *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa*. Un panneau vise à expliquer aux lecteurs les raisons d'une réglementation poussée sur cette zone lagunaire et leur implication dans sa protection. Deux panneaux portent sur les nurseries de poissons dans les petits fonds côtiers.

Deux autres panneaux ont été conçus pour être exposés l'un à la capitainerie du port du Brusc, l'autre à la capitainerie du port des Embiez. Ces panneaux présentent les différents Biohut installés dans les ports et le but de cette démarche. Dans le port des Embiez, le panneau a été installé au printemps 2019. Par contre, nous avons décidé de ne pas installer le panneau au port du Brusc car les travaux d'aménagement en cours dans ce port n'étaient pas en adéquation avec le message de restauration de la fonction de nurserie présenté dans le panneau.

L'ensemble des panneaux réalisés est présenté en annexe 1.



Figure 93 : schéma d'installation des panneaux et emplacement des panneaux.

7.2. Interventions et conférences

À l'occasion de différents événements, l'IOPR est intervenu et a communiqué sur les différentes thématiques abordées dans le cadre du programme SAR-LAB (Tableau 10). C'est un public scolaire, périscolaire, professionnel, plaisancier, associatif et autres qui a été sensibilisé et renseigné sur nos actions permises par l'implication et le rôle majeur de l'Agence de l'eau.

Toutes les personnes présentes, les jeunes comme les moins jeunes, ont montré un grand intérêt et beaucoup d'enthousiasme à l'existence d'un tel programme en cours.

Intervenant	Date	Evénement	Nombre	Age	Durée (h)	Rq
A. Vion	15/05/2018	Tour des bases nautiques (Brusc et Embiez) et école nautique du Brusc	20	Adulte pro	2	
A. Vion	08/06/2018	Ile propre	45	Adulte	1	
A. Vion	12/06/2018	Base nautique Embiez	15	Enfants (8-12)	0.5	
A. Vion	12/06/2018	Base nautique Embiez	14	Enfants (8-12)	0.5	
A. Vion	07/02/2019	Collège Font de Fillol - Six Fours les plages	15	Enfants (14-15)	1	
A. Vion	17/02/2019	Journée Mondiale des Zones Humides	25	Adultes	1.5	avec membres LPO
A. Vion	28/06/2019	BiodiversiDay	24	Adultes	1	plaisanciers

Adultes
periscolaires
scolaires

Tableau 10 : Intervention de communication concernant le programme SARLAB.



Figure 94 : exemple d'actions de communication. A : Journée Mondiale des zones humides ; B : Sensibilisation des jeunes usagers de la base nautique des Embiez ; C : Conférence auprès des plaisanciers – Journée Ile propre.

7.3. Interventions avec des scolaires

Au cours du premier semestre de l'année 2019, l'IOPR est intervenu auprès d'une classe du collège Font de Fillol à Six-Fours-les-plages (Figure 94). Ce groupe d'élèves de 3^{ème} qui travaillait depuis trois ans sur les rôles des habitats de substitutions installés dans les ports avec la société ECOCEAN. Dans un premier temps, une intervention dans leur classe consistait à leur parler de ce qu'était la restauration écologique de façon générale et leur expliquer de façon détaillée les enjeux du programme SAR-LAB. Puis, nous avons mis en place un questionnaire pour aller interroger des passants sur le port du Brusc pour constater le niveau de leurs connaissances à ce sujet. Il en est ressorti que malheureusement le grand public est encore trop peu informé sur ces différentes thématiques (rôles des herbiers, des nurseries, existence de programmes scientifiques en cours...). Les jeunes élèves, encadrés

par l'IOPR et l'équipe enseignante, ont donc entrepris un vrai travail de communication, d'information et de sensibilisation pour corriger les lacunes du public interrogé.



Figure 95 : Intervention auprès des élèves de la classe de 3^{ème} du Collège Font de Fillol.

7.4. Articles de presse

Pour toucher un large public et un grand nombre de personne, l'IOPR communique aussi au travers de la presse locale. Les articles de journaux sont présentés en annexe 2.

8. Conclusion générale

Le programme SAR-LAB : Site Atelier de Restauration écologique de la Lagune du Brusc a pour objectif de réaliser un ensemble de mesures restauratives dans plusieurs zones de la lagune du Brusc et ses alentours. Ces zones intègrent des écosystèmes différents, plus ou moins dégradés. L'ensemble de ces actions restauratives permet ainsi d'agir sur un site à une échelle cohérente, tenant compte des interactions entre les écosystèmes naturels et anthropisés, ainsi que des activités humaines associées.

Le lagon du Brusc est un espace unique sur notre littoral et ses valeurs écologiques et patrimoniales sont inestimables. Les nombreuses pressions anthropiques directes et indirectes ont fortement et durablement dégradé ce site. Le rechargement en sable des plages environnantes a induit la disparition de la pelouse de cymodocée laissant place à une vaste zone sableuse dont les fonctions écologiques sont très faibles aux regards des bienfaits et services écosystémiques des herbiers de magnoliophytes. Depuis quelques années, à la suite de l'interruption du rechargement en sable, les herbiers de cymodocée et de zostère commencent une lente recolonisation du site. Cependant, la dynamique actuelle laisse présager une modification durable de l'écosystème du lagon avec la présence pour de nombreuses années d'une grande zone sableuse suivie de l'installation d'une pelouse de zostère montrant une incapacité de résilience de la lagune à moyen terme. Dans ce contexte, des travaux de restauration écologique mais également de suivis scientifiques de la dynamique et du fonctionnement de la lagune du Brusc sont importants à mettre en œuvre. Ils permettront de soutenir la fonction de nurserie de la lagune et d'y favoriser le retour de la cymodocée, ainsi que d'apporter les connaissances fondamentales nécessaires à la compréhension et à la bonne gestion de la lagune du Brusc.

Une partie des actions restauratives du programme SARLAB a consisté à équiper des sites en en micro-récifs artificiel (Biohut) afin de réhabiliter la fonction de nurserie par l'apport d'aménagements artificiels qui permettent d'augmenter la capacité d'accueil pour les poissons et pallier le manque d'habitat naturel. Ces actions de réhabilitations ont été réalisées dans les ports des Embiez et du Brusc ainsi que dans l'ancien parc mytilicole de la lagune du Brusc.

Les travaux d'aménagement en micro-récifs dans les ports du Brusc et des Embiez ont été effectués au cours de l'hiver 2017. La première année de suivis a été perturbée par les opérations de travaux dans le port du Brusc et la turbidité des eaux dans le port des Embiez. Les données recueillies ont permis d'apporter des informations concernant les peuplements de poissons juvéniles et adultes dans les ports du Brusc et des Embiez. Il en ressort que ces deux ports sont des sites attracteurs de post-larves de poissons et ils qu'ils sont fréquentés par des juvéniles de plusieurs espèces. Les ports sont utilisés comme zone de nurserie pour certaines espèces de poissons côtières mais pas par toutes celles qui les fréquentent. Les juvéniles ont tendance à se concentrer le long des bordures des ports, c'est-à-dire le long des quais. L'apport de structures plus complexes le long des quais matérialisé par les Biohut

quai semble constituer un habitat préférentiel pour les juvéniles. Dans le port des Embiez, l'association des Biohut kelp quai avec les Biohut quai forme les structures les plus attractives pour les juvéniles de poissons. Les infrastructures attractives pour les juvéniles ne représentent qu'une petite fraction de la surface totale des ports. Dans la suite de l'étude, la surface des différentes structures devra être prise en compte pour évaluer le rôle de nurserie à l'échelle du port et d'évaluer le gain apporté par l'équipement en micro-récifs. Des comparaisons avec les habitats naturels alentours permettront aussi de comparer les résultats des actions de réhabilitation de fonction de nurserie menées dans les ports avec les autres actions restauratives du programme SARLAB, notamment la restauration d'herbier de cymodocée.

Les interruptions de suivis induits par les opérations de travaux dans le port du Brusc et la turbidité des eaux dans le port des Embiez nous rappellent que les ports sont des milieux dans lesquels les pressions anthropiques sont fortes et peuvent engendrer des stress pour les communautés de poissons qui les peuplent. La maîtrise des perturbations et la bonne qualité de l'eau sont des pré-requis pour réaliser des actions de restaurations écologiques. Nous devons donc prendre en compte que lors de cette première année de suivis les conditions du milieu dans les 2 ports n'étaient pas vraiment favorables au bon déroulement d'actions restauratives.

Dans le parc à moule, les travaux d'aménagement en micro-récifs ont été réalisés en février 2018. La première année de suivis montre que cette zone n'est pas particulièrement attractive pour les juvéniles de poissons même lorsqu'on y ajoute des structure Biohut pour complexifier l'habitat et stimuler le rôle nurserie. Les juvéniles de poissons présents dans la mosaïque d'habitats de la lagune du Brusc ont une préférence pour d'autres habitats naturels comme les herbiers de posidonie qui sont accolés au parc à moule. Cette opération ne semble actuellement pas produire de gain écologique particulier. Les prochaines années de suivis permettront de préciser l'intérêt de cette action.

Dans la zone sableuse de la lagune du Brusc, une opération de transplantation de cymodocée a été réalisée au mois d'Avril 2018. Dix modules comprenant en tout 80 m² de cymodocée transplantée ont été disposés en ligne entre l'ancien parc mytilicole et la saline des Embiez pour former un corridor de 140 m de long. Un an après l'opération de transplantation, les résultats sont encourageants sur l'ensemble du corridor. Les transplants ont survécu et grandi. Leur densité a été multipliée par 8 au cours de la saison de développement des herbiers. Ils ont survécu à l'hiver et continuent de croître avec une rapide extension des faisceaux hors des cages de protection avec un début de recolonisation des zones adjacente. Le choix de protéger ces herbiers, au moins en partie avec des grilles pour lutter contre le broutage semble être efficace mais devra faire l'objet d'amélioration lors des prochaines années. Cette action a rapidement généré un effet attracteur pour les juvéniles de poissons et même le retour de la fonction de nurserie. Les modules centraux jouent un rôle attracteur important. Les espèces présentes dans la cymodocée naturelle le

sont aussi sur le corridor. Le corridor de cymodocée transplantée a été utilisé comme zone de nurserie pour plusieurs espèces de poissons qui utilisent aussi l'herbier de cymodocée naturel comme nurserie. Les peuplements juvéniles de poissons sont beaucoup plus diversifiés et abondants sur le corridor de cymodocée transplantée que sur le sable. Dans la suite de l'étude une analyse comparative de l'évolution des surfaces de l'herbier transplanté avec celles des herbiers naturels de cymodocée sera réalisée. Combiné avec le suivi des juvéniles de poissons, ce travail permettra d'évaluer le gain écologique apporté par cette opération au regard de l'évolution globale de la lagune et d'estimer l'échelle de temps nécessaire à une restauration conséquente du site.

Concernant la réaffectation des anciens marais salants des Embiez, la première phase (2017/2018) du programme SAR-LAB a permis de réaliser des diagnostics écologiques de ce sites, de définir la trajectoire de restauration souhaitée, et d'obtenir les autorisations de travaux. Les actions de réaffectation des anciens salins et les suivis écologiques associés sont planifiés pour démarrer au courant de l'automne 2019 avec la réalisation des travaux de reconnexion des masses d'eaux.

9. Références bibliographiques

Aragonés, L., García, J., García-Bleda, E., López, I., Serra, J.C. (2015). Beach nourishment impact on *Posidonia oceanica* : Case study of Poniente Beach (Benidorm, Spain). *Ocean Engineering*.

Aronson J., Floret C., Le Floch E., Ovalle C., and Pontanier R., (1993). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-aridlands. I. A view from the south. *Restoration Ecology*, 1 : 8-17

Auguier H., (2007). Guide des fonds marins de Méditerranée : Écologie, flore, faune, plongées. Delachaux et Niestlé SA, Paris

Beck M. W., Heck K. L., Able K. W., Childers D. L., Eggleston D. B., Gillanders B. M., Halpern B., Hays C. G., Hoshino K., Minello T. J., Orth R. J., Sheridan P. F., Weinstein M. R., (2001). The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience*, 51 (8) : 633-641.

Bernard, G., Bonhomme, P., Boudouresque, D.F. (2004). Relevé des herbiers de magnoliophytes marines dans la lagune du Bruscat (commune de Six-Fours-les-Plages, Var). Dans le cadre du projet de réorganisation des mouillages forains dans la lagune. GIS Posidonie - Ville de Six-Fours-les-Plages. GIS Posidonie publ.

Blanc J.J. 1958 Recherches de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale. Thèse de doctorat, Paris.

Boissery P., (2014). Restauration du milieu marin méditerranéen, état des travaux en cours et perspectives. Rapport Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 59 pages

Bouchoucha M., Darnaude A. M., Gudefin A., Neveu R., Verdoit-Jarraya M., Boissery P., Lenfant P., (2016). Potential use of marinas as nursery grounds by rocky fishes: insights from four *Diplodus* species in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*. 547 : 193-209

Bouchoucha M. Les zones portuaires peuvent-elles servir de nourriceries alternatives pour les poissons marins côtiers ? : Cas des sars en Méditerranée Nord-occidentale. Océan, Atmosphère. Université de Perpignan, (2017). Français. <NNT : 2017PERP0046>. <tel-01710018>

Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., (2006). Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE pub. 202pp.

Boström, C., Pittman, S. J., Simenstad, C., & Kneib, R. T. (2011). Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps, and challenges. *Marine Ecology Progress Series*

Caye G., Meinesz A., (1985). Observations on the vegetative development, flowering and seeding of *Cymodocea nodosa* (ucris) ascherson on the mediterranean coasts of france. *Aquatic Botany*, 22 (3-4) : 277-289.

Como S., Magni P., Baroli M., Casu D., De Falco G., Floris A., (2008). Comparative analysis of macrofaunal species richness and composition in *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* and leaf litter beds. *Marine Biology*. 153 (6) : 1087-1101

CREOCEAN (2013) Marché Public d'étude sur les causes de l'ensablement de la lagune du Brusc. Six Fours Les Plages. Dossier 1-12214-G.

Deguen, F., & Molinier, R. (1961). Études écologiques et biocénétiques dans la baie du Brusc (Var). Les sols phanérogamiques. *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, 58(1197)

Descatoire, IOPR rapport interne, 2012

Francour, P., & Sartoretto, S. (1991). Etude de site du Brusc : la lagune, le port et la zone marine voisine (Var, France). GIS Posidonie, Marseille

Gönenç et Wolflin, 2004 Coastal lagoons: Ecosystem processes and modeling for sustainable use and development. CRC Press 528 pp

González-Correa, J., Torquemada, Y., Sánchez Lizaso, J. (2009). Short-term effect of beach replenishment on a shallow *Posidonia oceanica* meadow. *Marine environmental research*.

Holon, F., Mouquet, N., Boissery, P., Bouchoucha, M., Delaruelle, G., Tribot, A. S., & Deter, J. (2015). Fine-scale cartography of human impacts along French Mediterranean coasts: a relevant map for the management of marine ecosystems. *PLoS One*

Kirchhofer D., Miard T., Couvray S., Bunet R., Aublanc P., Lecaillon G., Lourié S. M., Bonnefont J.L., (2016). Projet Landeau, Synthèse 2014 - 2015. Institut Océanographique Paul Ricard. 41pp.

Klein J., Verlaque M., (2008). The *Caulerpa racemosa* invasion : A critical review. *Marine Pollution Bulletin*, 56 : 205–225.

Lecaillon G., Lenfant P., Fonbonne S., Gudefin A., Neveu R., (2015). NAPPEX Nurserie artificielles pour les ports exemplaires. Synthèse du projet et résultat. Janvier 2015. 137pp.

Lenfant P., Gudefin A., Fonbonne S., Lecaillon G., Aronson J., Blin E., Lourié S.M., Boissery P., Loeuillard J.-L., Palmaro A., Herrouin G., Person J., (2015). Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes.

Lyonnet A., (2017). Étude de la dynamique des herbiers à Magnoliophytes de la lagune du Brusc et de son rôle de nurserie pour les téléostéens côtiers. Rapport de stage de Master. Aix-Marseille Université – Institut Océanographique Paul Ricard. 43pp.

Marbà M., Duarte C.M., Alexandre A., Cabaço S., (2004). How do seagrasses grow and spread? In: European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M&MS project. Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D. and Greve M. (eds). p 11-18

McDonald T., Gann GD., Jonson J., Dixon KW., (2016). Standards internationaux pour la restauration écologique - incluant les principes et les concepts clés. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.

Mercader M., Mercière A., Saragoni G., Cheminée A., Crec'hriou R., Pastor J., Dubas R., Lecaillon G., Boissery P., Lenfant P., (2017). Small artificial habitats to enhance the nursery function for juvenile fish in a large commercial port of the Mediterranean. *Ecological Engineering*, 105 : 78-86

Miard T., Kirchhofer D., Motte M., Couvray S., Fonbonne S., Lecaillon G., Bonnefont J.L., (2016). Projet SALINE rapport d'étude. Institut Océanographique Paul Ricard. 14p.

Miard T., Kirchhofer D., Couvray S., Bunet R., Aublanc P., Lecaillon G., Lourié S. M., Bonnefont J.L., (2015), Projet Landeau rapport 2015. Institut Océanographique Paul Ricard. 34pp.

Pérez M., Romero J., (1993). Growth dynamics, production, and nutrient status of the seagrass *Cymodocea nodosa* in a Mediterranean semi-estuarine environment. *Marine Ecology*, 15 (1) : 51-64

Pérez-Lloréns J.L., Vergara J.J., Olivé I, Mercado JM., Conde-Alvarez A., Perez-Ruzafa A, Figueroa FL., (2014). Autochthonous Seagrasses. In: Goffredo S, Dubinsky Z. (eds) The Mediterranean Sea. Springer, Dordrecht. p 137-158

Pergent G., Bazairi H., Bianchi CN., Boudouresque CF., Buia MC., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Mateo MA., Mon-tefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent Martini C., Semroud R., Serrano O., Verlaque M., (2012) Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée : résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques. Gland, Suisse et Malaga, Espagne : IUCN

Sghaier Y.R., Zakhama-Sraieb R., Charfi-Cheikhrouha F., (2016). Spatio-temporal dynamics and biomass of *Cymodocea nodosa* in Bekalta (Tunisia, Southern Mediterranean Sea). *Marine Ecology*, 38 (1) : e12383

Rouanet E., (2010a). Site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusc" – Document d'Objectifs – Tome 2 : Plan d'actions, préconisations et financement des mesures de gestion. Convention cadre État/Communauté d'agglomération Toulon Provence Méditerranée - Institut Océanographique Paul Ricard : 113 p.

Rouanet E., (2010b). Site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusc" – Document d'Objectifs – Note de synthèse. Convention cadre État/Communauté d'agglomération Toulon Provence Méditerranée – Institut Océanographique Paul Ricard : 48 p.

Rouanet E., Bonnefont J-L. et Durand R., (2009). Site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusc" – Document d'Objectifs – Tome 1 : Diagnostics écologiques et socioéconomiques, enjeux et objectifs de conservation hiérarchisés. Convention cadre État/Communauté d'agglomération Toulon Provence Méditerranée – Institut Océanographique Paul Ricard : 102 p + annexes 81 p.

Simide R., et Abello C., 2020, Le grand le récif barrière de posidonie de la baie du Brusc. Rapport d'étude pour l'Agence Française pour la Biodiversité. IOPR. 54pp.

Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group (2004). The SER International primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, Tuscon, Arizona www.ser.org

Vicente, N. (1974). La lagune du Brusc. Bulletin n°1 de l'observatoire de la mer.

Vicente, N., Taieb, N., & Lelong, P. (1993). Disparition naturelle de l'algue *Caulerpa taxifolia* dans la lagune du Brusc (Var-France). Mar. Life

10. Annexes

Annexe 1 : Panneaux de communication



SAR-LAB

Qu'est ce qu'une nurserie ?

La nurserie doit offrir une **PROTECTION** pour les juvéniles grandissants en rendant l'accès difficile aux prédateurs.

Les jeunes poissons y sont **SEDENTAIRES** et y restent sur la durée totale de leur développement, jusqu'au stade de jeune recrue (poissons quittant la zone de nurserie pour l'aire de vie adulte au large).

Les herbiers que l'on peut trouver dans la lagune remplissent toutes les conditions d'une nurserie.

Les jeunes poissons doivent pouvoir y trouver une **NOURRITURE** suffisante à leur croissance sans avoir besoin d'en sortir.

Les nurseries sont essentiellement des zones de petits fonds côtiers pouvant subir des pressions dues à l'homme. (plages, ports, anses, digues, ...)

2

© Institut Océanographique Paul Ricard - A. Von - ECOOCEAN - C. Fédérico

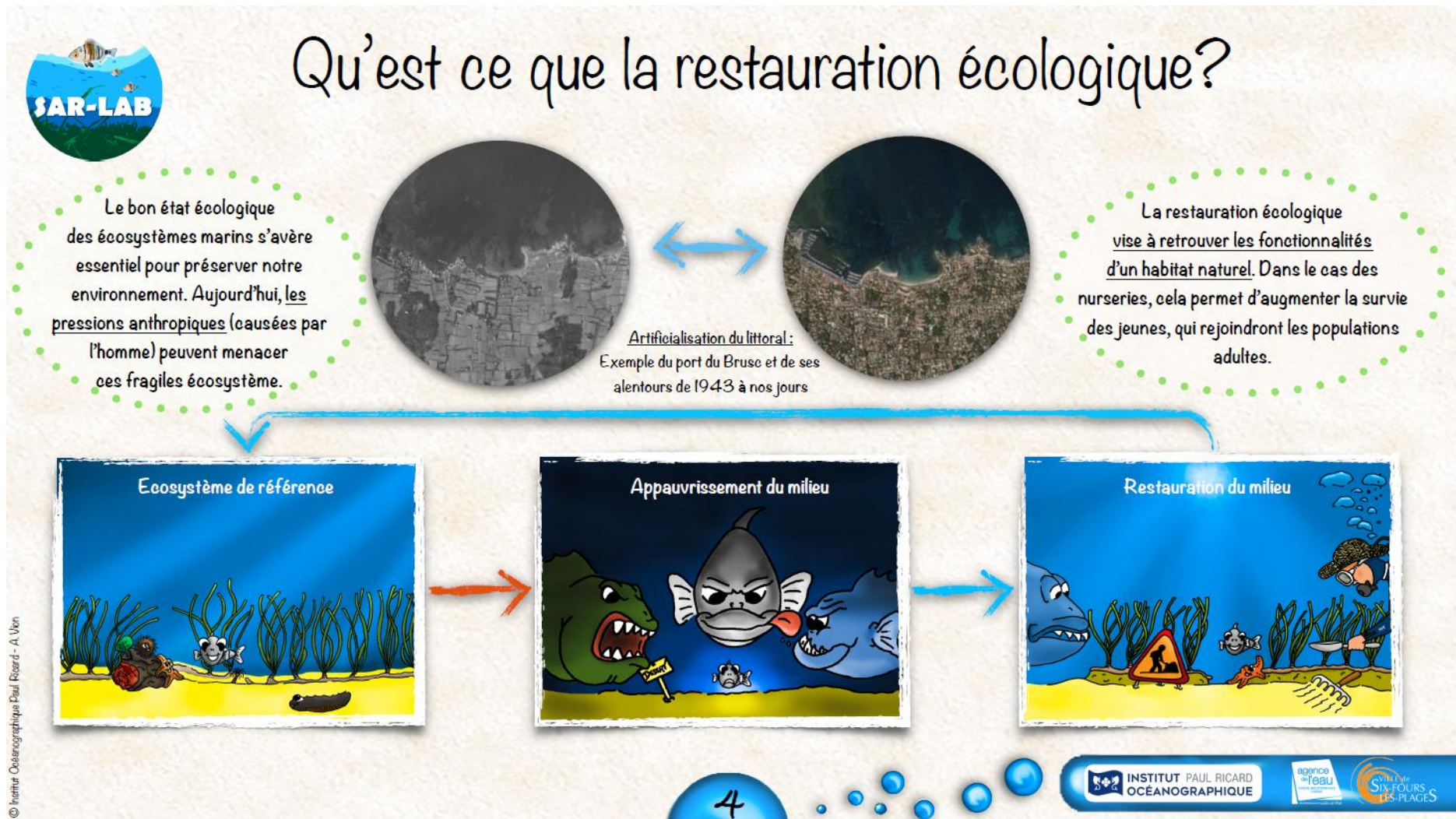
INSTITUT PAUL RICARD Océanographique

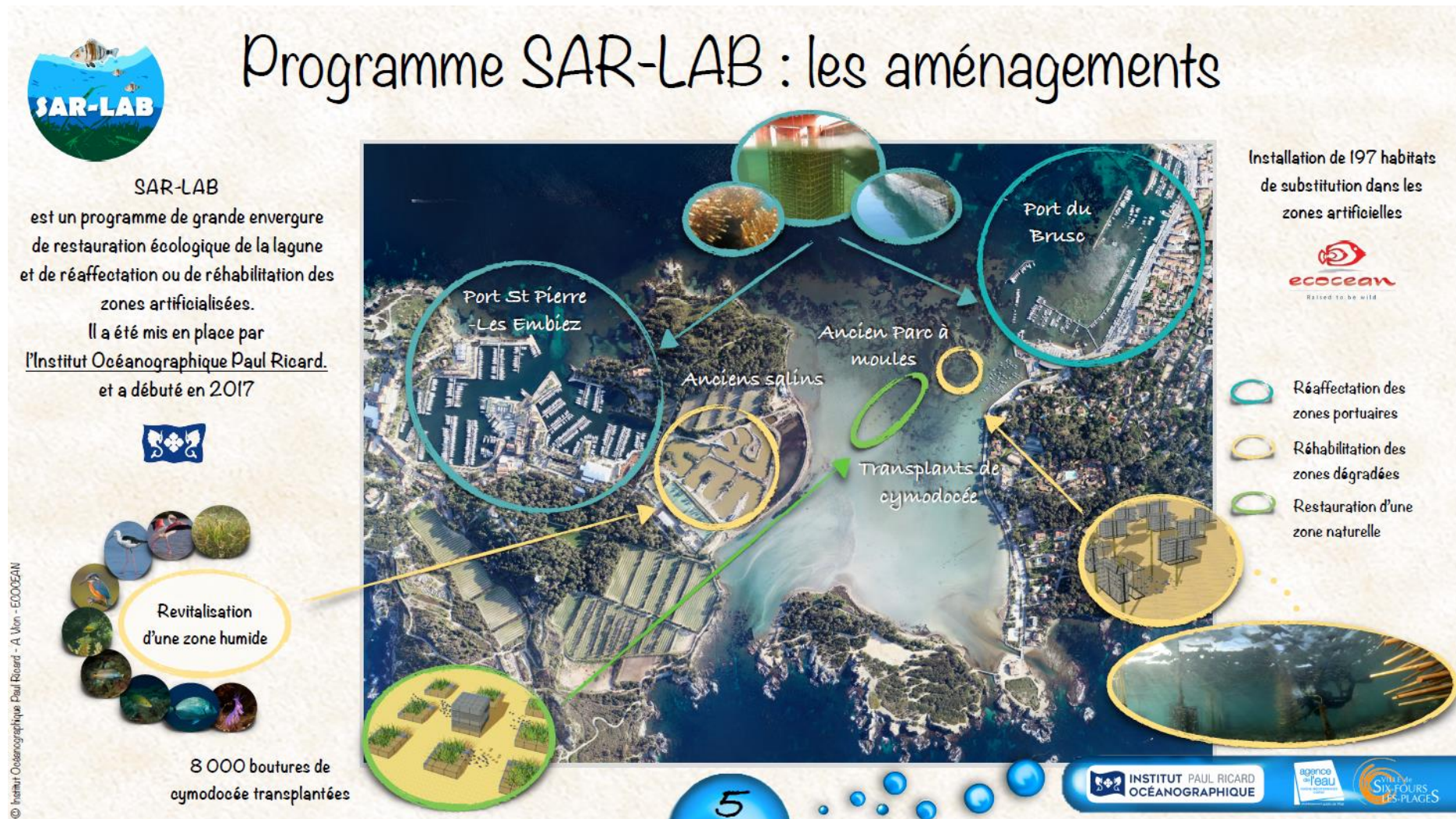
agence de l'eau

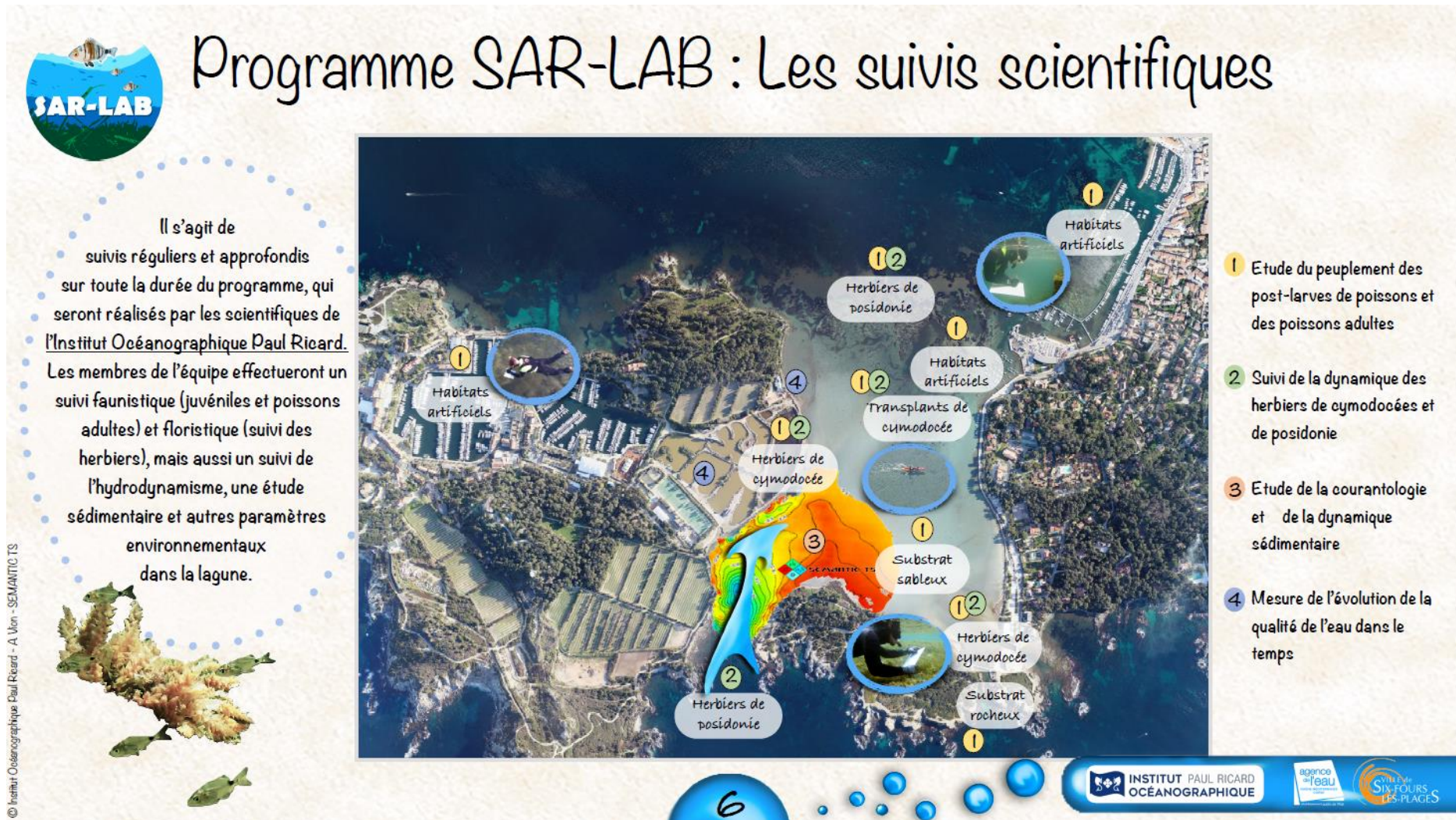
Le Plan Bleu

SIX-FOURS LES-PLACES









LA POSIDONIE

Posidonia oceanica, appelée aussi « le poumon de La Méditerranée », la posidonie est une plante à fleurs marine PROTÉGÉE, endémique à la Méditerranée.

Herbiers de posidonie

L'enchevêtrement dense des rhizomes de la Posidonie forme la « matte » dans laquelle peuvent s'abriter un grand nombre d'organismes. Elle est présente dans les 40 premiers mètres de profondeur.

RÔLES DE LA POSIDONIE

- Produit une grande quantité d'OXYGÈNE
- De nombreuses espèces y fixent leurs OEUFs
- Source de NOURRITURE
- NURSERIE
- ABRIS

Fleurs de posidonie

La période de floraison a lieu d'août à novembre.

Banquettes de posidonie

Les feuilles mortes de posidonie amenées par la houle sur les plages forment les « banquettes ».

Non appréciées des baigneurs, leur rôle est pourtant primordial, car elles permettent de lutter contre l'érosion des plages en retenant le sable. Sans elles, il est emporté au large par les vagues et les communes procèdent alors parfois à un réengraissement (ajout de sable) des plages coûteux.

PLANTE ou ALGUE ?

- Une PLANTE a des racines et va donc s'implanter sur un substrat sableux. De même, la plante va produire des fleurs à une certaine période de l'année.
- Une ALGUE n'a pas de racine mais va se fixer sur un substrat rocheux grâce à un crampon ou à un mucus. Elle ne fait pas de fleurs.

SAR-LAB

LA CYMODOCÉE

Cymodocea nodosa est une plante à fleurs à frondes rubanées vert clair et étroites que l'on trouve essentiellement en mer Méditerranée. C'est une **ESPÈCE PROTÉGÉE**.

A partir de 2018, les scientifiques de l'Institut Océanographique Paul Ricard procèdent, dans le cadre du programme SAR-LAB, à la restauration écologique de la lagune en transplantant entre autres des parcelles de cymodocées pour espérer une recolonisation de cet espace fortement dégradé.

Cette plante marine, se reproduit horizontalement grâce aux rhizomes qui restent à la surface du sédiment. Elle se développe sur des fonds sableux et essentiellement sur de faibles profondeurs.

Diagramme illustrant la structure de la cymodocée :

- Fronde
- Rhizome horizontal
- Rhizome vertical
- Racine

Dégradation des herbiers à l'intérieur de la lagune

1943

2017

Legend:

- Sable
- Herbier cymodocées et zostère
- Récif-barrière de posidonie
- Herbier de posidonie

Jusqu'en 2008, les herbiers recouvraient plus de 35% de la lagune du Bruso. Ils offraient alors un habitat privilégié pour un grand nombre d'espèces côtières pour lesquelles ils jouaient essentiellement un rôle de nurserie. Aujourd'hui, ils recouvrent seulement 3% de cet espace.

INSTITUT PAUL RICARD Océanographique

agence de l'eau

Site Ecote Six-Fours LES-PLACES

LA LAGUNE, UN SITE À PROTÉGER

Les scientifiques travaillent à la restauration de ce milieu.

Les plantes marines

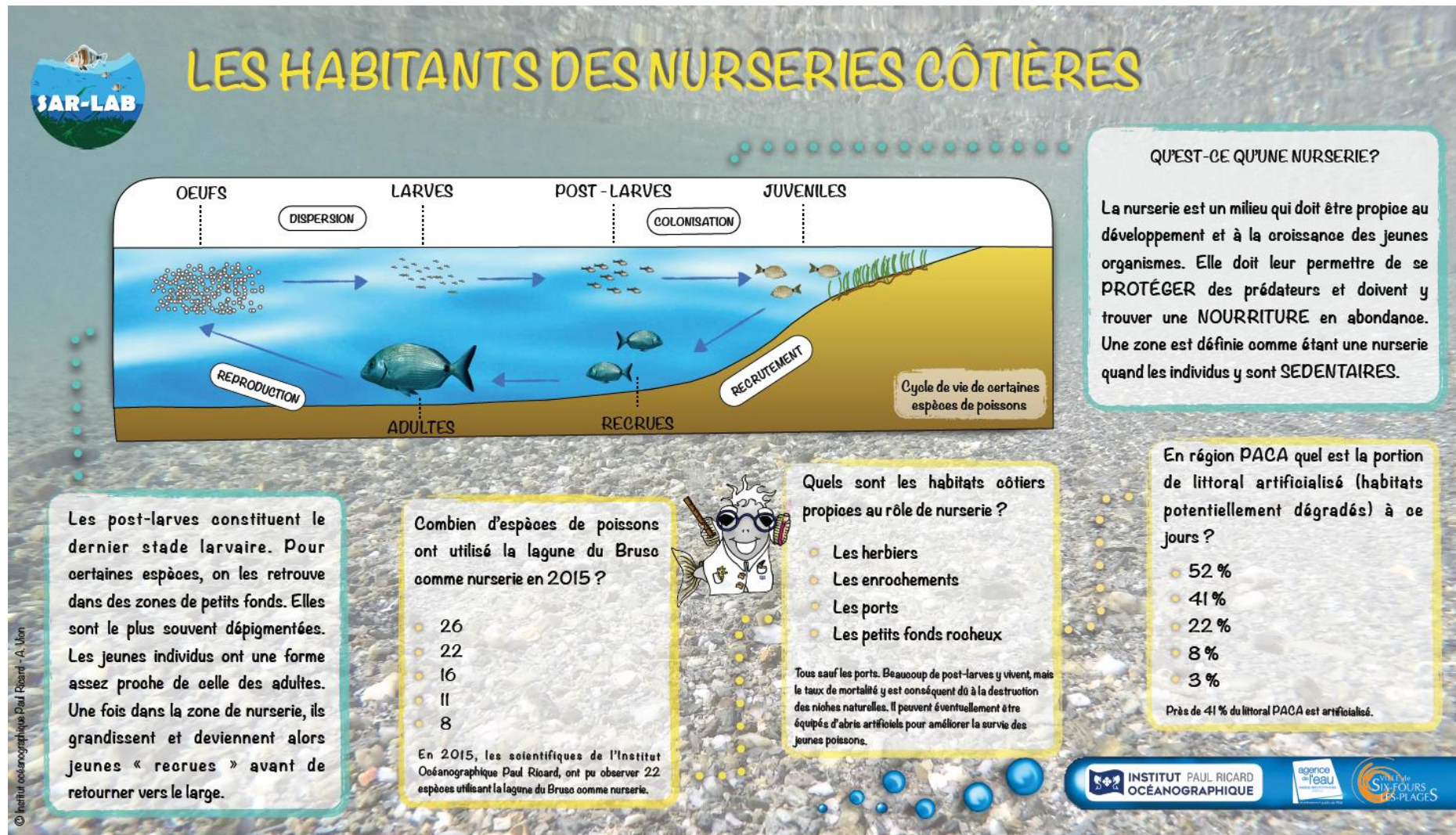
AIDEZ-NOUS
à faire revenir les plantes marines.
Ne marchez pas dans la lagune !

Ce n'est pas parce que vous ne voyez rien sur le sable, qu'il n'y a rien en dessous ... Sous le sable, se trouvent les rhizomes des plantes.
LE PIÉTINEMENT et le remaniement du sédiment empêchent leur croissance.

Dans la lagune, il est interdit de :

- Marcher dans l'eau
- Les chiens sont interdits dans l'eau de la lagune
- Nager
- Pratiquer de la planche à voile

© Institut Océanographique Paul Ricard - A. Von



SAR-LAB

QUAND PETIT POISSON DEVIENDRA GRAND

Les jeunes poissons peuvent avoir une apparence bien différente des adultes...

Sar commun (*Diplodus sargus sargus*)

Sar à museau pointu (*Diplodus puntazzo*)

Mostelle (*Phycis phycis*)

Pagre commun (*Pagrus pagrus*)

Serran chevette (*Serranus cabrilla*)

Apogon (*Apogon imberbis*)

Petite rascasse rouge (*Scorpaena notata*)

Saupe (*Sarpa salpa*)

Mérou brun (*Epinephelus marginatus*)

Blennie gottorugine (*Parablennius gottorugine*)

Denti (*Dentex dentex*)

Congre (*Conger conger*)

© Institut Océanographique Paul Ricard - A. Vén

INSTITUT PAUL RICARD
Océanographique

agence
de l'eau
Méditerranée

Ville de
Six-Fours
les-Plages

Annexe 2 : Articles de journaux

Var matin – 2 juin 2018 :

L'info du jour

2

L'institut Ricard au chevet de la lagune du Brus

Alors qu'il joue un rôle primordial de nurserie pour les poissons, le plan d'eau situé entre le littoral, le Gaou et l'île des Embiez a vu son écosystème se détériorer ces dernières années

Ce n'est pas juste un paradis pour les yeux. Ici, l'un des plus beaux détours varois englobe une zone marine à petit fond unique dans le département. Chaque année depuis la nuit des temps, dans les eaux tranquilles de la lagune du Brus, à Six-Fours, des milliers de jeunes poissons co- tiers grandissent et s'ébattent, avant de regagner les eaux plus tumultueuses de la Méditerranée. Ils profitent dans cette baie abritée d'un habitat aussi adapté que fragile : un herbier de cymodoce, plante apparentée à la posidonie, qui recouvre le fond des 48 hectares de la lagune.

Seulement voilà, depuis dix ans environ, ce jardin sous-marin fait grise mine, atteint d'un mal étrange. Et c'est tout l'écosystème qui souffre. « C'est probablement l'humidification, explique Jean-Luc Bonnelont, directeur de la recherche à l'Institut océanographique Paul Ricard, situé sur l'île des Embiez. Mais on a constaté une hypersédimentation, un trop plein de sable qui étouffe l'herbier et contribue à sa disparition. Peut-être est-ce dû à un changement de courantologie. L'engraissement des plages, qui consiste en un apport de sable pour préparer à la saison estivale,



Protégée au nord par un récif barrière de posidonie, la lagune du Brus est une zone de nurserie pour les juvéniles de poissons... aujourd'hui menacée d'ensablement.

n'y est peut-être pas pour rien non plus. Toujours est-il que la petite équipe du centre de recherche en biologie marine, basée précisément au pied de la zone concernée, a décidé d'agir. En fin d'année dernière, ils ont lancé le programme SarLab, acronyme de Site atelier¹ de restaurations de la lagune du Brus,

financé par l'Agence de l'eau. « L'idée, comme l'herbier avait fortement régressé, c'était d'effectuer des repoussoirs, détaille Sylvain Couvray, qui pilote l'opération. Mais il fallait aussi préserver du surpâturage. » Et notamment de la sape, poisson herbivore particulièrement friand de cymodoce nodosa.

Des boutures plantées à la main

Dont acte : au total, après une mise au point technique, quelque 8000 boutures de cymodoce, protégées par des sortes de grille, ont été transplantées à la main. « C'est un peu comme du jardinage, sauf que ça se fait dans l'eau, et dans le froid », sourit Aurélie Vio, qui a plongé en mars pour effectuer ce travail fastidieux. « On espère ensuite que ces carrés vont s'étendre naturellement du Gaou jusqu'au récif barrière de posidonie, qui ferme la lagune », précise Sylvain Couvray. À terme, le but est bien de « jouer un rôle sur la productivité du lieu » en sars, roquets, dorades et autres loupes.

SarLab ne s'arrête pas là : l'institut a équipé les ports des Embiez et du Brus en habitats de substitution pour ces juvéniles de poissons.

Avec cette volonté de leur fournir un refuge transitoire le temps que l'herbier repousse dans la lagune. « Historiquement, les ports ont été construits dans des endroits qui servaient d'abri aux post-larves, poursuit Sylvain Couvray. Sauf que ces milieux, où la qualité de l'eau s'est dégradée, ont été anthropisés, transformés par l'homme. Nous allons donc fournir des nurseries artificielles aux poissons là où ils doivent se contenter actuellement de parois en béton. » L'ancien parc à moules de la lagune, dont il ne subsiste aujourd'hui que des pieux, en a aussi été pourvu.

Désormais, la petite équipe de l'institut Paul Ricard s'attache au suivi scientifique de son opération de restauration écologique. Extension des transplants, repassement progressif de la lagune, courants ou sédimentologie sont étudiés de près. Histoire que ce paradis pour les yeux, interdit à la baignade, à la navigation et au piétement depuis une quinzaine d'années, redevienne un paradis autorisé pour les poissons.

MA. D.

mdalaine@nicematin.fr

1. « Atelier » car les procédures développées pourront être à l'avenir transposées à d'autres sites.

Un centre de recherche unique

Après avoir acheté l'île des Embiez en 1958, Paul Ricard y fonde, huit ans plus tard, l'observatoire de la mer. L'industriel s'insurge alors contre un projet de rejets de résidus du traitement de la bauxite (boves rouges), au large de Cassis. La mission du futur institut océanographique sera de connaître et protéger la mer. Paul Ricard charge le biologiste Alain Bombard d'animer un laboratoire d'étude et de surveillance des pollutions marines. Au fil des ans, les installations s'étoffent, de même que les travaux et les actions concrètes permettent la reconnaissance de la communauté scientifique internationale. L'institut est bientôt présidé par Patricia Ricard, la petite fille du « patron ». Il accueille aujourd'hui une dizaine de chercheurs et les projets ne faiblissent pas. À la fin de l'année, débute le chantier d'un hall d'expérimentation aquacole pour remplacer l'écloserie inaugurée en 2009 par Jean-Louis Borloo, alors ministre de l'écologie, et dont la serre a souffert des tempêtes de l'hiver. Les chercheurs du monde entier ne devraient plus tarder à revenir aux Embiez.



Petits poissons, dans les cymodocees, deviendront grands. (Photo DR)



Les anciens salins des Embiez vont être revivifiés.



Des « biobuts » ont été installés dans la lagune, dans les ports du Brus et des Embiez pour servir de refuge aux juvéniles, par la petite équipe de scientifiques de l'institut. (Photos DR et Valérie Le Parc)



Var Matin – 12 juin 2018 :

Six-Fours

var-matin
Mardi 12 juin 2018

3

Île propre et sauvegarde de la vie marine aux Embiez

Une soixantaine de bénévoles a nettoyé le joyau de la famille Ricard, à leur grande satisfaction peu souillée, et découvert notamment le programme de nurserie pour jeunes poissons

Pour la journée mondiale de l'Océan, les Embiez ont organisé vendredi une vraie chasse aux déchets. Pour cette 1^{re} édition, la soixantaine de bénévoles a été surprise de découvrir une île très propre. «La maison est simple», explique Patrick Longueville, capitaine du port. Les plages ainsi que le port sont nettoyés toute l'année. «Au gré des vents et courants, des déchets échouent en effet continuellement sur la côte. Au lieu d'attendre la période estivale pour les ôter, les Embiez s'inscrivent dans une dynamique continue, preuve d'un engagement véritable en faveur de l'environnement. La plus grande récompense est que l'île reste un joyau de biodiversité.

Cette opération «île propre» a donc surtout été un moment de partage et de convivialité où les bénévoles, armés de gants et de sacs poubelle, ont débarrassé parmi les criques et la végétation. Partis en petit train, ils sont tous revenus à pied jusqu'à la capitainerie avec leur «butin» : surtout des bâtons de sucettes, de coton-tige, des mégots et du polystyrène.

Reconstituer l'habitat naturel des juvéniles

Avant de déguster l'incontournable paëlla de Jeff, il y a eu l'apérif, mais surtout deux stands de sensibilisation. Le premier faisait référence à l'indispensable tri sélectif et rappelait la longue durée de dégradation des déchets, tandis que le deuxième, tenu par Nathalie et Alain, faisait l'apologie du Stop-ancre. C'est un système très simple de kit qui permet de ne pas racler les fonds marins et de stabiliser l'ancre quel que soit le changement de direction du vent (www.eco-nautisme.com). Dans l'après-midi, tous ont dégusté paëlla et tropézienne en marchant jusqu'au fort Saint-Pierre où Aurélie Vion, plongeuse et chercheuse à l'Institut océanographique Paul Ricard, leur a expliqué pourquoi les Biohut, nurseries de larves, étaient utiles dans les ports. «Aujourd'hui, l'homme fragilise les écosystèmes et appauvrit les milieux, menaçant la survie des jeunes poissons, a-t-elle expliqué. La restauration écologique du programme SarLab vise à recréer un habitat naturel avec des nurseries pour offrir nourriture et protection aux juvéniles grandissants, face aux prédateurs. Les anciens herbiers de la lagune remplissaient cette fonction, or aujourd'hui, la lagune est désertique. 8 000 bouteilles de cymodocea ont donc été transplantées. Nos comptages bi-mensuels nous permettent de garder espoir car la vie reprend peu à peu, mais il faut rester vigilant et continuer de ne pas piétiner la lagune. Et ainsi permettre aux sars à tête noire, pagots acarnés, picarés, sars à museau pointu, oblades, sparillions, pagres communs, congres, etc. de grandir et survivre...



90 Biohut, sortes de cages offrant un abri aux jeunes poissons, sont installées aux Embiez et attirent un nombre croissant d'occupants.



Bénévoles et gardes particuliers étaient heureux d'avoir participé à cette action de nettoyage de l'île.

(Photos P. B.)

Patrick Longueville explique l'histoire du fort Saint-Pierre, veut de laisser la parole à Aurélie, la scientifique.



P. B.

Les stands sont pris d'assaut. Le Stop-ancre a suscité beaucoup d'intérêt.



La paëlla de Jeff remporte toujours beaucoup de succès.

Var Matin – 18 février 2019 :

lioules

var-matin
Lundi 18 février 2019

6

Une belle journée pour scruter la lagune

Paires d'yeux et de jumelles rivées sur la lagune. Une vingtaine d'amoureux de la nature ont profité d'un soleil radieux pour observer les oiseaux du littoral, hier, au Brusc, dans le cadre de la journée mondiale des zones humides. Sous la houlette de la Ligue de protection des oiseaux (LPO) Paca groupe littoral ouest varois, et de son animateur François-Marie Zwank, le public a appris à identifier différentes espèces.

Signalétique préventive

La commune de Six-Fours était également représentée, par quelques-uns de ses gardes natures bénévoles et par la gardienne du littoral, Paule Zucconi-Gil : « Douze panneaux pédagogiques seront installés cette année le long de ce site classé Natura 2000, en colla-



Les participants ont été informés sur le projet de restauration écologique dont la lagune du Brusc fait l'objet.

boration avec l'institut océanographique Paul Ricard (IOPR) et le conservatoire du littoral », indique cette dernière.

Aurélien Vion, plongeur scientifique à l'IOPR, a dé-

taillé le projet de restauration écologique de la lagune du Brusc, initié en 2018 et prévu jusqu'en 2022.

« Six pupitres de deux panneaux chacun informeront le public sur le rôle primor-

dial de nurserie que remplit la lagune du Brusc, grâce notamment à ses herbiers de posidonie et de cymodocée », précise la scientifique.

J. T.



Les oiseaux de la lagune ont été scrutés avec attention.



Plusieurs outils ont permis l'identification des espèces littorales.

(Photos J. T.)

Le service communication de la mairie de Six-Fours-les-Plages réserve régulièrement de la place dans le magazine de la municipalité (Six-Fours Magazine) pour des articles concernant le programme SARLAB, et plus largement sur le milieu marin.

Six-Fours Magazine – juillet/août 2018 :



Lagune du Brusc un site très fragile à respecter et à protéger

Les herbiers de posidonie, cymodocée ou de zostère, présents dans les zones de faibles profondeurs, comme la lagune du Brusc, offrent toutes les conditions nécessaires pour jouer le rôle de nurserie pour les juvéniles de poissons, c'est-à-dire protection et disponibilité de nourriture, leur permettant de croître protégés de la prédation et ainsi rejoindre la faune adulte au large. Ces herbiers servent aussi à une faune adulte, d'abris, de source de nourritures et d'oxygène, ainsi que de lieux de ponte pour de multiples espèces. Une forte dégradation du milieu, induisant un appauvrissement de la faune initialement présente, a été constatée. Un programme de Restauration écologique de la Lagune du Brusc, a été mis en place en 2017 par l'Institut océanographique Paul Ricard et financé par l'Agence de l'eau. Les efforts écocitoyens de chacun sont demandés pour sauvegarder ce site si cher au cœur des six-fournais.

Nous rappelons donc qu'il est interdit de marcher, de nager ou naviguer dans la lagune. Les kayaks et paddles sont tolérés à condition de ne pas marcher à côté de l'embarcation en cas de potentielle chute. De même, nous rappelons aux plaisanciers de ne pas ancrer dans les herbiers de posidonies et de bien remonter l'ancre à l'aplomb du bateau.

Six-Fours Magazine – septembre 2018 :

Dans votre ville



Campagne de sensibilisation sur la plage de Bonnegrâce

Une vingtaine de structures d'éducation au développement durable et de gestionnaires de milieux a été présente tout l'été sur les plages, les ports, et en mer pour rencontrer vacanciers, baigneurs et plaisanciers.

A Six-Fours, des actions de sensibilisation ont été mises en œuvre auprès du public par Écogestes Méditerranée et In'f'eau mer. Le Naturoscope s'est installé deux demi-journées sur la plage de Bonnegrâce afin de sensibiliser les usagers aux bons gestes, simples et respectueux, à adopter sur la plage et en milieu marin.

Objectif : « Impliquer les habitants et les estivants dans la réduction de leurs impacts sur les milieux naturels », explique Marion George Responsable Pôle Var du Naturoscope.



SITOMAT

Les Ambassadeurs du tri seront présents sur les marchés : Le 2 septembre aux Lônes ; Le 13 septembre au Brusc ; Le 29 septembre en centre ville (place des Poilus)

Transplants de cymodocées

Programme SAR-LAB
Sauvegarder la Lagune du Brusc

Le programme SAR-LAB, Site Atelier de Restauration écologique de la Lagune du Brusc, a été mis en place en 2017 par l'Institut océanographique Paul Ricard et financé par l'Agence de l'eau et prendra fin en 2021. Les ports se trouvant sur les zones côtières abritent un grand nombre de juvéniles qui n'y trouvent pas d'abris et subissent alors une forte prédation. La société Ecocéan y a installé un très grand nombre d'habitats de substitution (Biohut ®) dans les ports des Embiez et du Brusc, ainsi que dans l'ancien parc à moules. Les scientifiques de l'IOPR ont aussi mis en place un corridor de transplants de cymodocées de 140 m de long au sein de la lagune (8000 faisceaux transplantés). Au centre de ces transplants des habitats de substitution ont été installés pour abriter les juvéniles en attendant une repousse conséquente des herbiers. Les scientifiques de l'IOPR réalisent alors des suivis des poissons juvéniles et adultes toute l'année sur toute la zone d'étude. Une réhabilitation des anciens salins des Embiez est aussi prévue afin de les rendre propices à la vie aquatique et terrestre comme certaines espèces migratrices.

SAR-LAB est donc un programme de grande envergure présageant des résultats très encourageants pour la sauvegarde de ce site exceptionnel. Les plantes marines qui constituent les herbiers ont une croissance très lente et sont très sensibles à diverses perturbations environnementales.

C'est pourquoi les efforts de chacun sont à persévérer pour sauvegarder le site :

Ne pas marcher, nager ou naviguer dans la lagune // Les kayaks et paddles sont tolérés à condition de ne pas marcher à côté de l'embarcation en cas de potentielle chute
// Ne pas ancrer dans les herbiers de posidonies et bien remonter l'ancre à l'aplomb du bateau.

Les réponses
du poisson-prof de l'Institut.

Pourquoi la mer est-elle bleue ?

Quand tu regardes la mer, elle est bleue. Remplis une bouteille avec cette eau, tu la verras translucide...

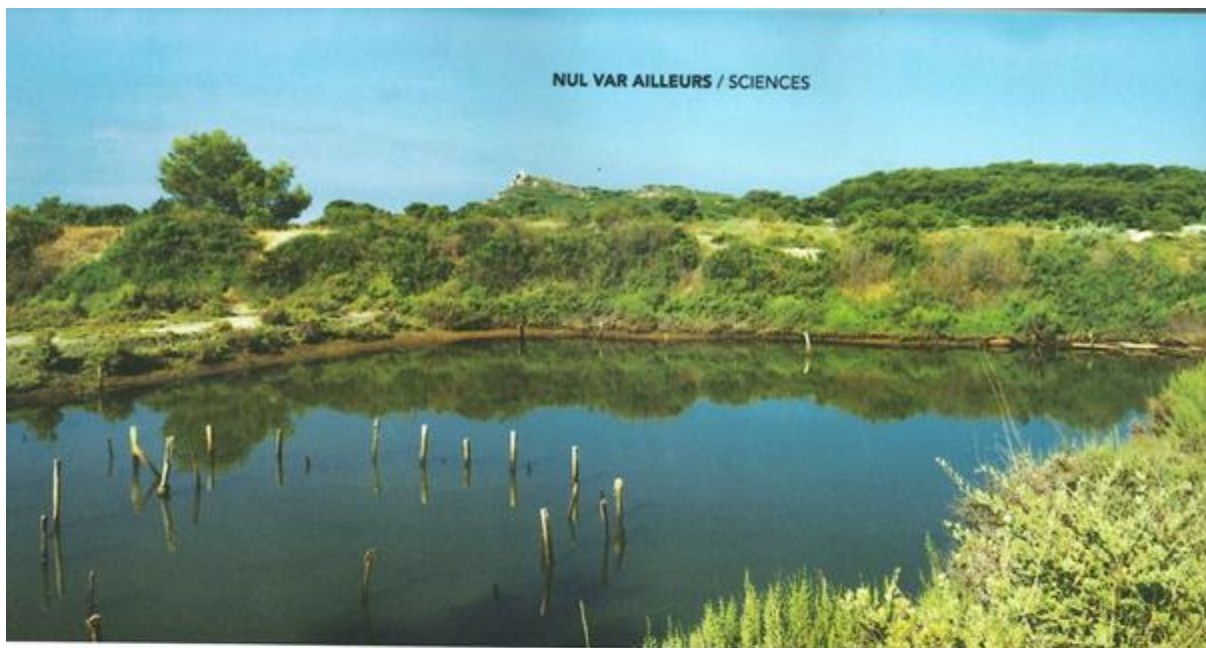
Les rayons du soleil arrivent sur Terre sous forme de lumière blanche. Cette lumière est le résultat d'une association de plusieurs couleurs (les couleurs de l'arc-en-ciel). Quand les rayons lumineux pénètrent dans la mer, certaines couleurs (le rouge, le orange, puis le jaune) sont absorbées dans les premiers mètres sous la surface alors que la couleur bleue se diffuse et s'enfonce largement en profondeur. Ainsi, la couleur présente dans la mer et qui va être en partie réfléchi vers notre œil est principalement le bleu. C'est pour cela qu'au large la mer est bleu marine et que dans ta bouteille, là où trop peu de lumière est réfléchi, elle apparaît translucide.

Institut Océanographique Paul Ricard



Magazine Le Var – hiver 2018-2019 :





NUL VAR AILLEURS / SCIENCES

A attirés par le gîte et le couvert, loin des grands prédateurs, les larves de sar, daurade, loup, rouget, mullet, saupe, labre... se succèdent régulièrement dans la lagune du Bruscat à Six-Fours-les-Plages. "C'est une zone de nurserie de poissons", assure Jean-Luc Bonnefont, directeur de la recherche à l'Institut océanographique Paul Ricard, avant d'expliquer "de 2014 à 2016, une première étude financée à hauteur de 90 000 € par le Département du Var, a démontré que cette zone était bien une nurserie de poissons. Les flux des petites larves ont été étudiés grâce à des capteurs posés autour de l'île des Embiez et de la lagune. Ces larves, qui sont rentrées, ressortent lorsqu'elles ont atteint une certaine taille pour rejoindre les populations adultes". C'est le principe d'une nurserie : un endroit, où les petites larves de poissons qui sont nées au large, après la phase de reproduction, reviennent vers la côte pour trouver un abri et de quoi se nourrir tout en étant protégées des prédateurs. Si le littoral est bordé

d'une multitude de petites nurseries dans les fonds de baies, criques... celle de la lagune du Bruscat est exceptionnellement grande : 45 hectares situés entre le port du Bruscat, la presqu'île du Baou et l'île des Embiez. Peu profonde, cette zone oscille de moins d'un mètre à 1,5 mètre d'eau.

"La lagune a une spécificité. Elle contient un herbier, une plante ma-

rine protégée, la cymodocée de la même famille que la posidonie. Le rôle de la nurserie de la lagune est conditionné à sa présence. Pour autant, depuis quelques années, il est en forte régression. Du coup, sa diminution met en péril le rôle de nurserie de la lagune", constate le scientifique. Après avoir établi qu'il existait des flux de larves, des essais pilotes de restauration de cet herbier ont été

Nardo Vicente (au centre devant), délégué général, responsable scientifique et Luc Bonnefont (debout au centre) entourés par leur équipe en bordure de la lagune à Six-Fours-les-Plages.



NUL VAR AILLEURS / SCIENCES

réalisés dans le programme Landeau. Les résultats concluant ont montré *"que nous pouvions replanter de l'herbier et qu'il pouvait se développer, dès lors que nous prenions des précautions pour le protéger du broutage des poissons afin d'optimiser sa repousse"*, assure l'expert.

De ces recherches ont abouti un nouveau programme de restauration écologique, Sar-Lab, financé par l'Agence de l'eau. À plusieurs volets, il développe à la fois le principe de nurserie et implique la phase de plantation de la cymodocée. Pour le premier, *"en plus de la lagune, il y a de nombreux sites qui peuvent jouer le rôle de nurserie. Parce que les aménagements humains, comme les ports, ne sont pas propices à l'installation de larves de poissons. S'il ne s'agit pas de les remettre en cause, ils sont constitués de quais lisses et les petits poissons n'ont rien pour se cacher. Donc, nous avons équipé les ports du Brusc et des Embiez d'habitats artificiels pour redonner les fonctions de nurseries perdues par ces aménagements côtiers. Ces structures s'appellent des Biohut. Elles sont développées par un de nos partenaires, la société Ecocean",* explique Jean-Luc Bonnefont. Son principe est simple : une cage en acier remplie d'un matériau recyclé comme des coquilles d'huîtres, associée à une autre cage, vide celle-ci, protège les larves et les jeunes recrues, pouvant être agressées par des prédateurs. *"Un certain nombre de ports sont équipés de ce système, comme celui de Marseille. Nous faisons la même chose ici. Une centaine de Biohut ont été posés, dans les ports du Brusc et des Embiez. L'ancien parc à moules, en plein milieu de la lagune, a aussi été équipé d'habitats",* explique-t-il. Pour le deuxième volet, c'est la continuité du programme Landeau avec l'implantation de la cymodocée. *"Cet herbier peut repousser tout seul, mais c'est très lent. Nous allons voir, si nous pouvons accélérer cette recolonisation"*.



La cymodocée pousse très lentement.



Un peu de jardinage en milieu aquatique.

L'originalité : c'est un peu du jardinage en milieu aquatique. *"Des modules ont été posés pour réaliser un corridor d'implantation de 5 mètres de large sur 140 mètres de long. Le but étant que la cymodocée s'étende pour constituer une grande barrière d'herbier. On espère qu'à la fin de ce programme d'ici cinq ans, une dynamique naturelle se sera instaurée",* conclut-il. Toute la phase d'implantation et de plantation a été réalisée fin 2017. Aujourd'hui, ce grand dispositif est sous surveillance pour établir un suivi, de la fréquentation des Biohut par les petits poissons et de la croissance de

la cymodocée, sans oublier, la dynamique générale de la lagune. Pour évaluer l'efficacité des mesures mises en place : *"Nos suivis réguliers sur notre dispositif sont complétés par d'autres en milieu (naturel) témoin, pour apprécier qualitativement et quantitativement la différence"*.

Pour mener à bien ce programme, l'Institut océanographique Paul Ricard s'est conformé à la loi. Il a obtenu les autorisations à la fois pour implanter une espèce protégée, mais aussi pour occuper temporairement le domaine public afin d'y déposer la centaine d'habitats artificiels. ■