

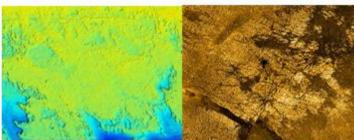




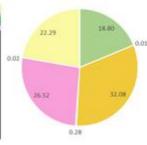
# Cartographie et analyse macro-surfacique des habitats marins du littoral corse

Actualisation 2016-2018











Octobre 2018



7, place Cassan - Quai des pêcheurs 34 280 Carnon - France Tél.: 04.67.66.32.48

contact@andromede-ocean.com



#### **Coordination Andromède:**

**HOLON Florian** 

Contact mail: florian.holon@andromede-ocean.com

### Participants aux missions de terrain :

BALLESTA Laurent, BOCKEL Thomas, CHARBONNIER Justine, DESCAMP Pierre, FAUCHET Jérémy, GENTIL Yannick, GUILBERT Antonin, HOLON Florian, MAURON Stephen, MOLLON Nicolas, RAUBY Thibault, SCHOENFELDER Caroline

## Traitement des données et rédaction :

BALLESTA Laurent, BOCKEL Thomas, BLANDIN Agathe, DELARUELLE Gwenaëlle, DESCAMP Pierre, DETER Julie, GUILBERT Antonin, MARRE Guilhem, HOLON Florian.

#### Mise en page des cartographies, structuration du SIG:

BLANDIN Agathe, GUILBERT Antonin, HOLON Florian.

#### Ce document doit être cité sous la forme suivante :

ANDROMEDE, 2018. Cartographie et analyse macro-surfacique des habitats marins du littoral corse – Actualisation 2016-2018 – Réseau SURFSTAT, analyse surfacique des habitats marins. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 96 pages.



# Édito

Depuis l'entrée en vigueur de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau 2000/60/CE (DCE), les États membres se sont engagés à atteindre un bon état écologique des masses d'eau d'ici 2020 (Parlement Européen, 2000).

La Directive cadre Stratégie pour le Milieu Marin 2008/56/CE (DCSMM) a renforcé cette volonté pour le milieu marin. Pour cela, il s'agit de suivre l'état des écosystèmes marins, mesurer les impacts liés aux pressions des activités humaines et mettre en œuvre une gestion intégrée permettant une utilisation durable des ressources.

C'est dans ce contexte réglementaire que la société Andromède Océanologie a développé depuis 2010, en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, de nombreux réseaux de surveillance axés sur des thématiques variées tels que TEMPO (Herbier de posidonie), RECOR (Récifs coralligènes), CALME (bruit acoustique), CALOR (Température de fond), SURFSTAT (analyse surfacique des habitats marins).

Ces réseaux permettent de suivre un grand nombre de mesures à différentes échelles (individus, populations, communautés, paysages) et mettent en commun leur logistique de terrain. Cette mutualisation des moyens permet de limiter les coûts et d'effectuer des suivis sur les mêmes sites afin de faciliter la mise en lien des données entre elles.

Grâce à l'acquisition de nouvelles données sonar, bathymétriques et d'observations en plongée lors de campagnes de terrain menées entre septembre 2016 et mai 2018 dans le cadre du réseau SURFSTAT, la cartographie des biocénoses marines a été actualisée sur quatre masses d'eau côtières en Corse. Ce rapport présente les résultats de ces cartographies et une analyse de la composition et de la configuration de la biocénose des herbiers à *Posidonia oceanica* ainsi que des paysages entre 0 et 60 mètres de profondeur sur les quatre masses d'eau côtières corses actualisées. Cette analyse, effectuée à partir du calcul d'indicateurs surfaciques, permet aussi de renseigner sur la qualité des eaux côtières.

Un bilan de ces trois dernières années d'acquisitions et d'analyse de données cartographiques et surfaciques est dressé afin de mettre en lien ces résultats avec d'autres projets et réseaux de surveillance en cours.

Tous les résultats des réseaux de surveillance ainsi que les cartographies actualisées des biocénoses marines sont consultables sur la plateforme en ligne MEDTRIX (<a href="http://www.medtrix.fr">http://www.medtrix.fr</a>).



# **Sommaire**

# Table des matières

ÉDIT	DITO					
l.	CONTE	XTE	5			
	<i>I.</i> 1.	Biodiversité en mer Méditerranée	5			
	1.2.	L'herbier à posidonie, un habitat remarquable	6			
	1.3.	Les récifs coralligènes, un habitat complexe	7			
	1.4.	Menaces sur la Méditerranée	9			
	1.5.	Objectifs de l'étude	12			
II.	Метн	DDOLOGIE	12			
	II.1.	Cartographie continue des habitats marins	12			
	II.2.	Outils et méthode d'analyse du paysage	24			
III.	RESUL	TATS	29			
	III.1.	Masse d'eau FREC01ab	30			
	<i>III.2.</i>	Masse d'eau FRECO2c	40			
	<i>III.3.</i>	Masse d'eau FRECO2d	50			
	III.4.	Masse d'eau FREC04ac	60			
IV.	SYNTHESE DES RESULTATS					
V.	BILAN	DU PROJET SURFSTAT	73			
	V.1.	Etat d'actualisation des cartographies des biocénoses marines en Méditerranée française	73			
	V.2.	Cartographie et indicateurs surfaciques 3D du coralligène	81			
	V.3.	Pressions anthropiques sur les habitats marins : l'ancrage des bateaux	83			
VI.	Valorisation		89			
VII.	CONCLUSION GENERALE					
VIII.	Bibliographie					



## I. Contexte

#### I.1. Biodiversité en mer Méditerranée

La mer Méditerranée, qui représente seulement 0,8 % des océans mondiaux, abrite 7 à 8 % des espèces marines connues : on parle de point chaud (hot spot) de biodiversité. Plus préoccupant, 20% de ces espèces sont menacées à cause de l'augmentation des pressions, l'érosion côtière, la surexploitation des ressources marines et l'expansion des espèces invasives (PNUE/PAM 2009). L'essentiel de la diversité est concentré à l'Ouest et dans les petits fonds (de 0 à 50 mètres de profondeur) mais les connaissances des écosystèmes marins restent extrêmement fragmentaires ; quasiment seuls les écosystèmes littoraux bénéficient de programmes d'étude.

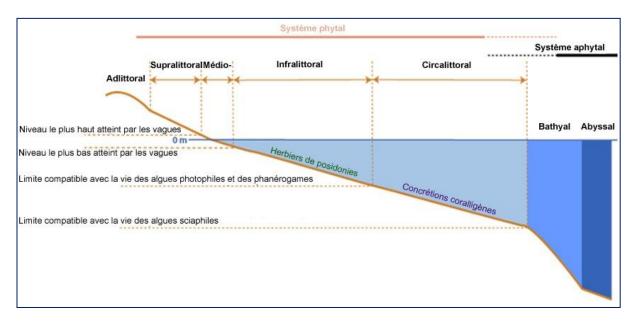


Figure 1 : Les étagements benthiques en Méditerranée. Modifié d'après Bellan-Santini, 1994.

Les zones littorales abritent deux écosystèmes remarquables et reconnus comme particulièrement importants en termes de biodiversité, productivité et services écosystémiques rendus : les herbiers de Posidonie (écosystème clef de Méditerranée, étage infralittoral) et les concrétions coralligènes (étage circalittoral) (PNUE/PAM 2009).

Remarque: Les écosystèmes fournissent à l'humanité des bénéfices connus sous l'appellation de « biens et services écosystémiques ». Les experts ont identifié quatre sortes différentes de services, tous indispensables à la santé et au bien-être humains : services d'approvisionnement (nourriture, eau, bois et fibres), services de régulation (climat, précipitations, eau, déchets, propagation de maladies), services culturels (beauté, inspiration, récréation, bien-être spirituel), services d'assistance (formation du sol, photosynthèse, recyclage des substances fertilisantes).

## I.2. L'herbier à posidonie, un habitat remarquable

La Posidonie, *Posidonia oceanica* (L.) Delile, est une phanérogame endémique de la mer Méditerranée qui peut constituer de véritables prairies sous-marines. Cette plante angiosperme est constituée de faisceaux de feuilles, de racines et de rhizomes, qui sont des tiges rampantes ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment. On nomme « matte » l'ensemble constitué par les rhizomes, les écailles (gaines des feuilles caduques), les racines et par le sédiment qui remplit les interstices. Exceptées les feuilles, les parties mortes de la plante sont peu putrescibles, ce qui explique leur longue conservation (plusieurs siècles ou millénaires) à l'intérieur de la matte (Boudouresque et al., 2006). La matte sert d'ancrage à l'herbier mais joue également un rôle important dans la stabilisation des fonds.







Figure 2 : 1. La fleur de *Posidonia oceanica* ; 2. Trois fruits dans l'herbier ; 3. Graine et fruits de Posidonie en train de flotter.

Les herbiers à *Posidonia oceanica* occupent une surface restreinte (1 et 2 % des fonds de la Méditerranée soit 3.5 à 3.7 millions d'hectares (Rico-Raimondino, 1995; Pasqualini, 1997)). Cependant, ils constituent la biocénose la plus complexe de Méditerranée (Molinier et Picard, 1952; Pérès et Picard, 1964; Boudouresque et Meinesz, 1982) et sont à la base de la richesse de ses eaux littorales (Molinier et Picard, 1952; Cinelli et al., 1974; Boudouresque et Meinesz, 1982). Leur rôle écologique est majeur : production primaire benthique, production d'oxygène (Drew et Jupp, 1976; Caye, 1980; Bédhomme et al., 1983; Bay, 1978), transparence des eaux par le piégeage des particules en suspension (Blanc et Jeudy De Grissac, 1984), base de nombreuses chaînes alimentaires (Velimirov, 1984), lieu de frayère, nurserie, abris vis-à-vis des prédateurs ou habitat permanent pour des milliers d'espèces animales et végétales (Boudouresque et al., 2006).

Dans de nombreux secteurs du littoral méditerranéen, les herbiers de Posidonie connaissent de fortes régressions. Les facteurs d'impact avancés sont divers : aménagements côtiers (emprises directes, modifications de l'hydrodynamisme et de la sédimentation (Andromède, 2013)), pollutions (hydrocarbures, pesticides, métaux lourds, matière organique, matières en suspension, macro déchets), ancrages, etc. (Boudouresque *et al.*, 2009).

Son importance et ses exigences écologiques font de *Posidonia* oceanica une espèce bio-indicatrice couramment utilisée pour le suivi de la qualité de l'eau (Pergent et al. 2015). Ainsi, l'herbier à Posidonie est un des éléments biologiques définis pour mesurer l'état écologique des masses d'eaux côtières en mer Méditerranée



Herbier à Posidonia oceanica

demandée par la Directive Cadre Eau (DCE, 2000/60/CE). Il est donc nécessaire de surveiller l'évolution de l'état de cet habitat dans le temps et dans l'espace. Soutenu par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse, le réseau TEMPO a été créé en 2011 et s'étend sur l'ensemble de la façade méditerranéenne française bordée par les trois régions Corse, Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) et Languedoc-Roussillon (LR). TEMPO comprend actuellement 54 sites répartis entre 5 et 40 mètres de profondeur. Ses objectifs sont de recueillir des données descriptives sur la dynamique des herbiers à Posidonie et de suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace. L'ensemble de ces données complète l'estimation de la qualité écologique des masses d'eau côtière. Ces données permettent également de répondre aux objectifs environnementaux de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM, 2008/56/CE) comme par exemple le maintien ou le rétablissement de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes des fonds côtiers, le renforcement et la conservation des zones d'herbiers ou l'identification des sites présentant des habitats naturels dégradés.





Figure 3 : Panorama d'un herbier de posidonies (Posidonia oceanica) sur substrat rocheux.

# I.3. Les récifs coralligènes, un habitat complexe

Un « assemblage coralligène », ou plus simplement, le « coralligène », est une formation biogénique de l'étage circalittoral. Il est principalement produit par l'accumulation d'algues calcaires encroûtantes (Corallinacées : *Mesophyllum lichenoides, Mesophyllum alternans, Lithophyllum spp.*; Peyssonneliacées : *Peyssonnelia sp.*). Ces algues calcaires vont former des blocs appelés « bio-constructions », qui vont être colonisés puis façonnés par une multitude d'invertébrés foreurs ou à tests calcaires créant ainsi un réseau complexe de cavités. Ces anfractuosités vont ensuite favoriser la colonisation de nouveaux organismes tels que les éponges (ex : *Cliona sp., Axinella polypoides*), les Sipunculides (*Aspidosiphon spp.*) et autres mollusques foreurs (*Lithophaga lithophaga, Luria lurida*) qui vont corroder et détruire les concrétions calcaires, créant ainsi une dynamique de bioconstruction/biodestruction (Bensettiti et al., 2004). Les assemblages coralligènes sont donc un patchwork complexe de micro-habitats et d'espèces dont la richesse, la biomasse et la productivité équivalent à celles des assemblages de récifs coralliens tropicaux (Bianchi, 2001).

Sur les côtes méditerranéennes françaises, deux types physionomiques sont principalement retrouvés :

le coralligène de paroi, un concrétionnement plus ou moins épais situé sur les substrats rocheux au-delà des algues photophiles et colonisé par de grands invertébrés dressés tels que les gorgones jaunes Eunicella cavolinii et les gorgones rouges Paramuricea clavata.

le concrétionnement coralligène, des massifs biogènes de plusieurs mètres d'épaisseur qui peuvent couvrir de grandes surfaces. Ces concrétionnements coralligènes sont principalement colonisés par les algues Corallinacées ou Peyssonneliacées et sont constitués par de nombreuses anfractuosités permettant à d'autres organismes, mobiles ou non, d'y habiter (bryozoaires, polychètes, échinodermes, crustacés, poissons...).

Les algues constructrices étant sciaphiles, les assemblages coralligènes se retrouvent à des profondeurs moyennes situées entre 40 et 90 m, et vont parfois jusqu'à 130 m lorsque les conditions abiotiques optimales sont réunies (eaux claires, bonne luminosité et sédimentation faible entre autres). Lorsque les eaux sont turbides le coralligène peut se rencontrer à des profondeurs plus faibles (entre 12 et 40m).

Grâce à son importante hétérogénéité structurale et à tous les services de support qu'il rend (protection et nourricerie pour jeunes poissons, production primaire, cycle des nutriments...), cet habitat fait partie des plus riches en termes de biodiversité créant ainsi un réseau complexe de relations inter- et intra-spécifiques. Le coralligène est considéré, à l'instar des herbiers de posidonie, comme un des habitats à très haute valeur écologique en Méditerranée et est très souvent comparé aux récifs coralliens, un des écosystèmes les plus riches au monde en termes de diversité spécifique, d'abondance et de productivité (Ballesteros, 2006 ; Bianchi, 2010).





Figure 4 : Assemblages coralligènes. 1 : Massif coralligène ; 2 : Gorgones et barbiers (Anthias anthias); 3 : Corail rouge (Corallium rubrum) sur du coralligène de paroi

En raison de leur importante diversité d'espèces, les assemblages coralligènes représentent à ce jour une source d'espèces à haute valeur économique pour la pêche (ex : langoustes). et possèdent une forte valeur esthétique (Tribot et al., 2016) grâce à la qualité des paysages sous-marins, un service écosystémique culturel qui profite au tourisme, comme la plongée sous-marine, et donc à l'économie locale.

Le coralligène subit, comme de nombreux habitats littoraux, les pressions anthropiques telles que la pollution, la pêche et le tourisme sous-marin. La sur fréquentation de certains sites est une des raisons de la dégradation du coralligène *via* notamment l'arrachage volontaire ou non, le prélèvement et le dérangement d'espèces ainsi que la multiplication des mouillages qui affectent les épibiontes sur les roches (espèces sessiles dressées ou non).

Le statut particulier du coralligène fait de lui un habitat prioritaire qu'il est nécessaire de surveiller, indirectement via la qualité des eaux littorales, et directement par des suivis réguliers de la composition et de la qualité de la faune et de la flore associées. La mise en place de modes de gestion stricts tels que l'interdiction de la pêche au Mérou brun (*Epinephelus marginatus*) ou la création de réserves marines sont d'autant d'outils utiles pour une gestion raisonnée et une protection efficace de cet habitat complexe.

C'est ainsi qu'Andromède Océanologie, soutenu par l'Agence de l'Eau RMC, a mis en place en 2010 le réseau « RECOR », réseau 2D et 3D de suivi des assemblages coralligènes. RECOR comprend actuellement 86 sites correspondant à 220 stations réparties entre 17 et 90 mètres de profondeur. Chaque année une région est suivie à la fin du printemps (mai-juin) afin de couvrir l'ensemble de la façade tous les trois ans.

Sur chaque station, un protocole d'échantillonnage rapide et non-destructif est utilisé: 30 quadrats de 50x50 cm sont photographiés sur un transect de 20 mètres de longueur. Le but est de suivre l'évolution de la composition taxonomique et la démographie d'espèces érigées patrimoniales comme les gorgones. Différents indices informant sur la diversité spécifique des assemblages coralligènes sont aussi calculés (Simpson, Shannon, Coralligenous Assemblages Index). A partir de ces données, et grâce à un logiciel d'analyse d'image (Coral Point Count extension ®), le pourcentage de recouvrement du vivant / non vivant peut être aussi estimé ainsi que l'abondance relative des espèces identifiées (Deter et al., 2012).



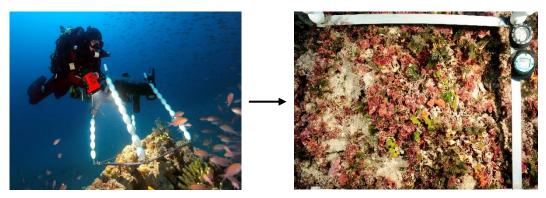


Figure 5 : Echantillonnage photographique pour le réseau de surveillance RECOR. A gauche : un plongeur utilise le quadrat photographique sur un massif de coralligène; à droite : photographie d'un quadrat.

### I.4. Menaces sur la Méditerranée

Environ 7% de la population mondiale vit dans les pays côtiers méditerranéens, soit 460 millions d'habitants auxquels il faut ajouter environ 200 millions de touristes internationaux. Avec près de la moitié de la population méditerranéenne vivant près des côtes, le littoral méditerranéen figure parmi les secteurs les plus densément peuplés et les plus fortement urbanisés de la planète. D'ici 2025, ce pourcentage d'occupation des côtes devrait passer de 50% à 88%, et l'artificialisation de son littoral de 40 à 50% (PNUE/PAM 2009).

Le rivage méditerranéen français comprend 1700 km (dont environ 700 km pour la Corse) (source : www.shom.fr) des 46 000 km de côtes méditerranéennes. Le littoral méditerranéen, comprenant les régions d'Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Corse, est le plus convoité avec près de 3,2 millions d'habitants pour une densité de population de 365 habitants par km² (chiffres Insee 2010, RP 1999 et 2000, site Internet SOeS ; SOeS et al., 2013). Il est lui aussi victime de l'artificialisation du littoral : 4 800 000 habitants en région Provence Alpes Côte d'Azur avec un taux d'artificialisation de 19,05 % et une région Occitanie (2 500 000 habitants) en pleine expansion (1,4 % de croissance annuelle, taux deux fois plus rapide que la moyenne métropolitaine) avec un taux d'artificialisation de 19,51 % (Sources : MEDAM et INSEE). A l'opposé la Corse, avec 300 000 habitants et deux millions de touristes par an, ne présente que 2,23 % de son trait de côte artificialisé (sources : MEDAM et INSEE).

Cette forte concentration de population et de développement s'accompagne de pressions anthropiques et d'un impact environnemental important qui vont s'accentuer avec le changement climatique en cours (le Sud-Ouest de l'Europe s'est réchauffé de 2°C depuis 1970) (PNUE/PAM 2009).

La **Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin** (2008/56/CE, DCSMM) est une directive de l'Union Européenne qui établit un cadre et des objectifs communs pour la protection et la conservation de l'environnement marin en Europe d'ici à 2020. Afin d'atteindre ces objectifs communs, chaque état membre doit évaluer ses besoins, élaborer et mettre en œuvre des plans de gestion cohérents, puis en assurer le suivi.

En France, plusieurs objectifs environnementaux de la DCSMM (Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2012) concernent les deux habitats remarquables des Herbiers à Posidonie et du Coralligène :

- « A. Maintenir ou rétablir la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes des fonds côtiers [...]
- A2. Renforcer la conservation des zones de coralligène et des zones d'herbiers

[...]

A4. Maîtriser la pression des usages maritimes sur le milieu en développant l'organisation spatiale des usages

[...]

A6. Identifier les sites présentant des habitats naturels dégradés et engager la restauration de la moitié de ces sites »

Toutefois, la mise en application de ces mesures nécessite en premier lieu une évaluation et/ou un inventaire préalable de l'environnement marin.

C'est dans ce cadre que le réseau SURFSTAT a été initié en 2013 par Andromède océanologie et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse.

L'atteinte d'un bon état écologique<sup>1</sup> du milieu marin et des eaux côtières sur tout le territoire européen est une des principales ambitions de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000/60/CE) et de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM, 2008/56/CE).

La mise en œuvre de ces directives nécessite une évaluation ou un inventaire préalable des écosystèmes<sup>2</sup> marins et l'utilisation de dispositifs de surveillance.

La cartographie des habitats est un outil essentiel pour pouvoir apprécier l'hétérogénéité écologique et spatio-temporelle des milieux, la répartition potentielle et réelle d'espèces, identifier les corridors écologiques, proposer des mesures de gestion pertinentes et évaluer leurs effets.

C'est afin de répondre à ces enjeux que le réseau SURFSTAT a compilé et comblé les vides cartographiques sur tout le littoral méditerranéen français. Grâce à sa grande campagne d'acquisition bathymétrique, SURFSTAT permet également le calcul des surfaces en relief (3D) des habitats sous-marins pour les différents étages littoraux. En effet, les cartes en 2D représentent des surfaces d'habitats aplanies et la non-prise en compte de la structure 3D peut entrainer des mesures erronées de paramètres surfaciques (Hoechstetter et al., 2008).

<sup>1</sup> L'arrêté du 17 décembre 2012 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines définit le bon état écologique des eaux marines conformément à l'article R. 219-6 du code de l'environnement, tel que celles-ci conservent la diversité écologique et le dynamisme d'océans et de mers qui soient propres, en bon état sanitaire et productifs et que l'utilisation du milieu marin soit durable, sauvegardant ainsi le potentiel de celui-ci aux fins des utilisations et activités des générations actuelles et à venir.

<sup>2</sup> Les écosystèmes fournissent à l'humanité des bénéfices connus sous l'appellation de «biens et services écosystémiques». Les experts ont identifié quatre sortes différentes de services, tous indispensables à la santé et au bien-être humains: services d'approvisionnement (nourriture, eau, bois et fibres), services de régulation (climat, précipitations, eau, déchets, propagation de maladies), services culturels (beauté, inspiration, récréation, bien-être spirituel), services d'assistance (formation du sol, photosynthèse, recyclage des substances fertilisantes).

#### SURFSTAT, un réseau d'analyse surfacique des habitats marins



Le réseau SURFSTAT répond aux objectifs de la DCE et de la DCSMM : atteindre le bon état écologique des eaux côtières (DCE) et des eaux marines (DCSMM). D'un point de vue réglementaire, le projet SURFSTAT est inscrit au sein de la DCE puisque son champ

d'application est principalement situé au sein des masses d'eau côtières. D'un point de vue écologique, il est inscrit au sein de la DCSMM, dans deux des premiers objectifs des PAMM: « évaluation de l'état initial de l'état écologique des eaux marines » et « fixation d'objectifs environnementaux et d'indicateurs pour atteindre un bon état écologique ».

Les masses d'eau côtière, au titre de l'application de la DCE en France, sont sous la responsabilité des Agences de l'eau selon leur périmètre d'action délimité par bassin hydrographique. L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC) est donc responsable des 47 masses d'eau de Méditerranée (46 masses d'eau côtière et une masse d'eau de transition).

Le projet SURFSTAT se décline en deux étapes. La première étape consiste à réaliser une cartographie continue des habitats marins en 2D puis d'établir la correspondance en 3D des habitats marins. La deuxième étape consiste à proposer et mesurer différentes variables de composition et de configuration d'habitats marins pouvant servir d'indicateurs surfaciques (spatiaux) de la qualité des eaux côtières à partir des cartographies.



<u>Remarque</u>: L'état écologique d'après la Directive Cadre Eau 2000/60/CE (DCE) est l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés aux eaux de surface. Il s'appuie sur des critères appelés éléments de qualité qui peuvent être de nature biologique (présence d'êtres vivants végétaux et animaux), hydromorphologique ou physico-chimique.

#### I.4.1. La Méditerranée mise à nue : Cartographie 2D et 3D des fonds marins

Alors que pratiquement tous les continents de notre planète sont maintenant précisément cartographiés, nous nous réjouissons de l'arrivée récente d'une carte morpho-bathymétrique de la Méditerranée à l'échelle de seulement 1/4 000.000 (Brosolo et al., 2012). Force est donc de constater que nous sommes encore loin du

degré de précision dont nous avons l'habitude en surface. De telles bases sont pourtant indispensables pour faire face aux grands enjeux du domaine marin i. e. état écologique et pressions anthropiques (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et de L'Energie 2012).

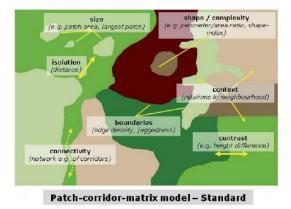
La cartographie (réalisation et étude de cartes géographiques) des habitats est en effet un outil essentiel pour pouvoir apprécier l'hétérogénéité écologique et spatio-temporelle des milieux, la répartition potentielle et réelle d'espèces, identifier les corridors écologiques, proposer des mesures de gestions pertinentes et évaluer leur effet. C'est afin de répondre à ces enjeux que de plus en plus de cartographies (plus ou moins locales) d'habitats sous-marins sont produites pour les différents étages littoraux (Base de données MEDBENTH (Agence de l'Eau



Figure 6 : Zoom sur la marge continentale méditerranéenne française. Carte Morpho-Bathymétrique de la Méditerranée à l'échelle de 1/4 000.000. ©CCGM

RMC/IFREMER)), Cartographie et études des biocénoses des sites Natura 2000 (Base de données CARTHAM (AAMP/MEEDTL)).

Cependant, ces cartes représentent les surfaces occupées par les habitats sans prendre en compte le relief. La non-prise en compte de la structure 3D peut entraîner des mesures erronées de paramètres comme le périmètre, l'aire, ou encore la distance entre les éléments (Hoechstetter et al. 2008). Par exemple un écosystème se développant sur des surfaces verticales comme les tombants de coralligène est sous-représenté puisque seule sa surface « aplatie » en 2D est comptabilisée. Il reste donc un important travail à fournir pour prendre en compte le relief dans le décompte des surfaces et combler les espaces entre les cartographies existantes.



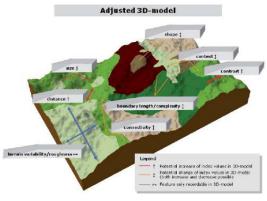


Figure 7 : Comparaison des paramètres mesurés au sein d'un même paysage entre une cartographie en 2D (à gauche) et une cartographie en 3D (à droite). La réalité terrain (cartographie 3D) montre que le relief pris en compte fait varier les valeurs des paramètres mesurés sur la cartographie en 2D (Hoechstetter et al., 2008).

#### I.4.2. Les indicateurs surfaciques

A large échelle, les indicateurs spatiaux ou surfaciques permettent de visualiser l'hétérogénéité des habitats par la cartographie des différents assemblages biocénotiques.

Deux types d'indicateurs sont généralement mesurés : les **indicateurs de composition** (par exemple la proportion de chaque habitat, richesse ou diversité d'habitats) et les **indicateurs de configuration spatiale** (relatifs à l'arrangement, position et orientation des taches sur une carte). La fiabilité des indicateurs spatiaux dépend des variables mesurées (ex : nombre d'hectares de régression, degré de fractionnement), mais aussi du type, de la saison et de la qualité des mesures (levé, vérité terrain), des spécifications techniques et enfin du type (manuel ou automatique) et de la qualité de l'interprétation. Dans l'idéal, les indicateurs spatiaux devraient, selon leur valeur, servir à diagnostiquer l'état des masses d'eau ou de portions de masses d'eau (par exemple une valeur x du ratio de recouvrement observé sur le recouvrement attendu indiquerait une masse d'eau en bon état). Au-delà de l'extension spatiale, d'autres indicateurs déjà existants et relevés à une échelle plus fine prennent le relais et complètent le diagnostic des masses d'eaux (exemples : télémétrie acoustique, indice PREI de Gobert et al., 2009 pour les Posidonies, CAI pour le coralligène...).

# I.5. Objectifs de l'étude

Les objectifs de cette étude sont d'obtenir une cartographie continue fine et actualisée des habitats marins, en particulier des herbiers à Posidonie, puis de réaliser une analyse du paysage pour extraire des indicateurs surfaciques (spatiaux) de la qualité des eaux côtières pour **quatre masses d'eau côtière de Corse**. Ce rapport complète la première étude SURFSTAT réalisée en 2015 en Corse, en partenariat avec l'AERMC (Delaruelle et al., 2015) qui s'est intéressée aux 14 masses d'eau côtière de la région Corse. La région Provence-Alpes Côte-d'Azur (PACA) a également fait l'objet d'une étude similaire en 2014 (Delaruelle et al., 2014), le but étant de disposer d'un panel d'indicateurs mesurables sur tout le littoral méditerranéen français.

Le projet SURFSTAT est aussi le premier pas vers un moyen de surveillance à large échelle (avec une grille d'interprétation) des habitats marins sensibles, notamment des herbiers de posidonie et des assemblages coralligènes.

Les résultats de cette étude serviront également à mettre en évidence de nouvelles zones sensibles et/ou dégradées et à mieux situer ces zones par rapport aux caractéristiques alentours. Dans un contexte plus global de mesure et sauvegarde de la biodiversité, ces évaluations pourront aider à estimer encore plus précisément la biomasse produite et quantifier les services écosystémiques rendus par les habitats sous-marins, dont l'herbier à Posidonie.

# II. Méthodologie

Dans cette partie sont décrites les méthodes utilisées pour la réalisation de la cartographie continue des habitats marins, puis pour l'analyse du paysage et l'extraction des indicateurs surfaciques.

## II.1. Cartographie continue des habitats marins

#### II.1.1. Synthèse des données cartographiques existantes

C'est afin de répondre à des enjeux plus ou moins locaux (suivi de station d'épuration, zone protégée, contrat de baie, etc.) qu'ont été réalisées les premières cartographies des biocénoses marines à grande échelle avec une précision suffisante pour apporter des indications surfaciques sur le statut écologique des habitats marins. Pour la réalisation de la cartographie continue des fonds marins méditerranéens français (toutes régions



confondues), 30 années de travaux ont été compilées (Holon et al. 2015). Uniquement les données les plus précises et les plus récentes ont été conservées.

En Corse, les cartographies utilisées pour la réalisation de la cartographie continue proviennent du réseau SURFSTAT et du programme CARTHAM - Cartographie et étude des biocénoses des sites Natura 2000 (AAMP/MEEDTL). Moins de 5% de la cartographie continue de Corse provient d'études antérieures (Pasqualini, 1997; Andromède et Parc Marin International des Bouches de Bonifacio, 2014; Andromède et EGIS, 2011).

Afin d'actualiser la cartographie des biocénoses marines corses effectuée pour le rapport SURFSTAT en 2015 (Delaruelle et al., 2015), plusieurs campagnes d'acquisition bathymétrique et sonar ont été menées en septembre 2016, octobre 2017 et mai 2018 au Nord-Ouest (de la Baie de Calvi au Désert des Agriates), dans le golfe de Sagone et le long de la côte Est (de Bastia aux abords du Golfe de Porto-Vecchio) pour combler les zones manquantes jusqu'à environ -80 mètres (profondeur d'extension de l'habitat Coralligène d'après les observations de terrain réalisées dans le cadre du réseau RECOR mis en place en 2011 en Corse). Des observations sous-marines en plongeur tracté (« vérité-terrain ») et à l'aide de caméras ont été effectuées en complément des acquisitions sonar et bathymétrique. Au total, ce sont environ 37 000 hectares de couverture sonar (6 000 ha de Calvi au Désert des Agriates ; 6 600 ha pour le Golfe de Sagone et 24 700 ha pour la Côte Est) qui ont été acquis puis traités pour actualiser la cartographie des habitats marins de ces zones.

De plus, de nouvelles cartographies des petits fonds (entre la surface et -15 / -20 mètres) ont été réalisées entre 2015 et 2018 grâce aux photographies aériennes récentes disponibles en libre accès sous SIG permettant ainsi d'obtenir un degré de résolution plus élevé.

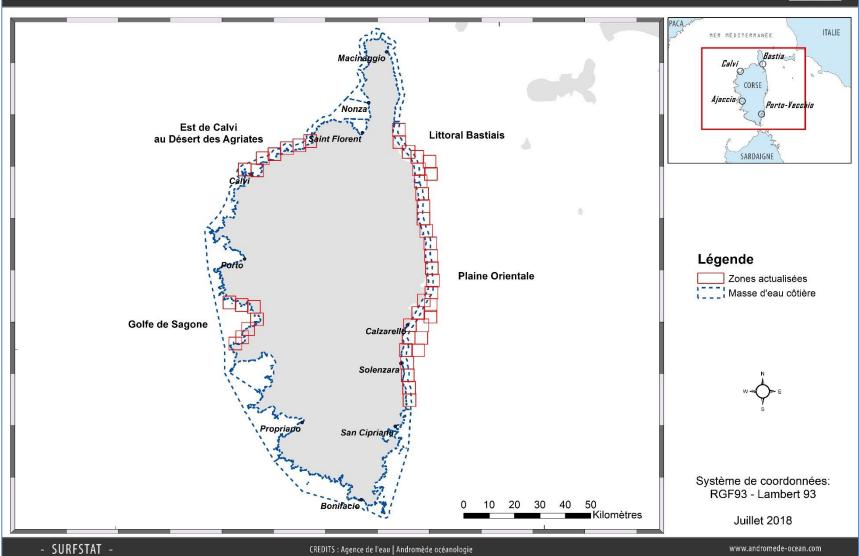
L'ensemble de la cartographie continue des habitats est mise à disposition sur la plateforme cartographique MEDTRIX (Holon et al. 2015) (http://www.medtrix.fr/) et via l'application DONIA (http://www.donia.fr/).



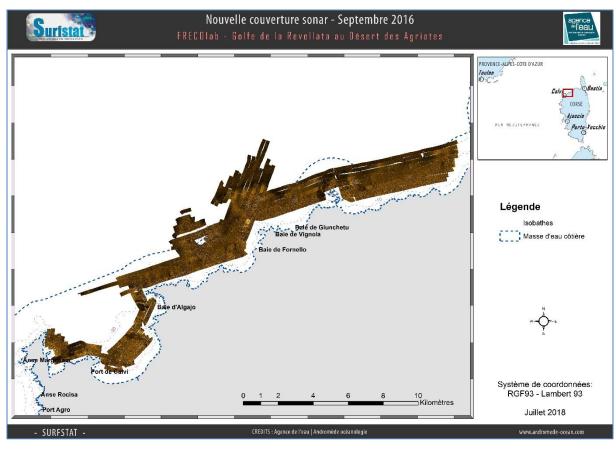


# Zones des cartographies actualisées entre 2016 et 2018









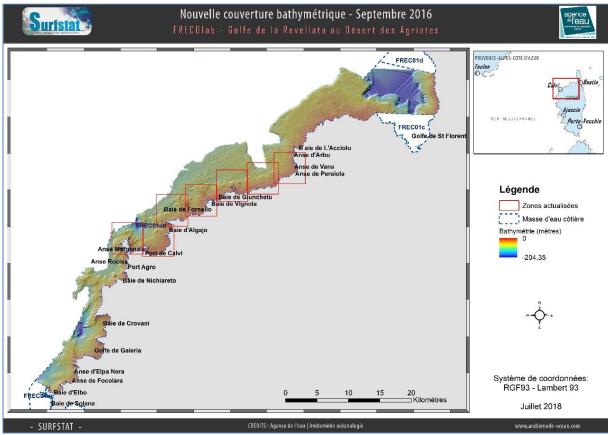
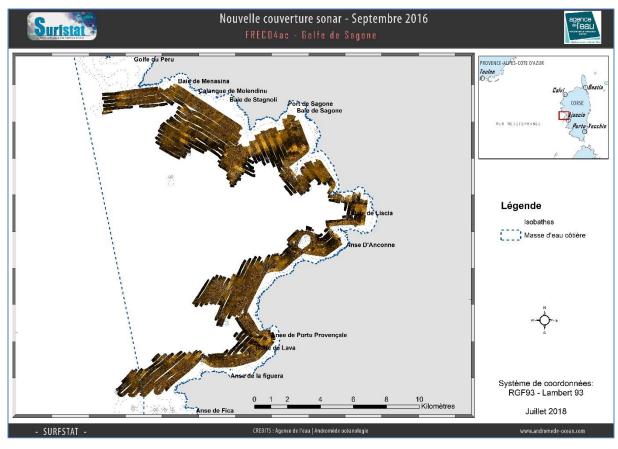


Figure 8 : Cartographies des nouvelles données sonar et bathymétriques (Andromède et SHOM) acquises en 2016 de la Pointe Palazzu au Sud de Nonza (FREC01ab)



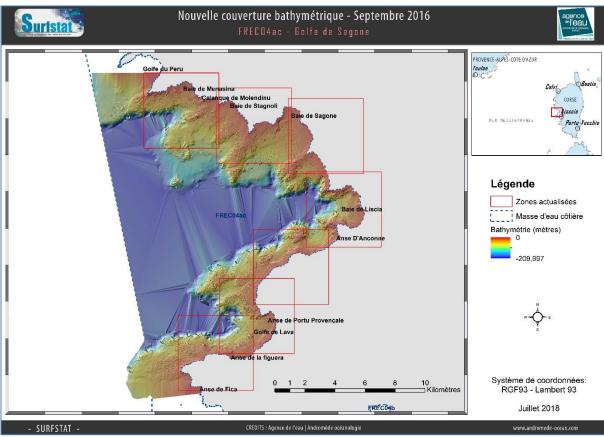
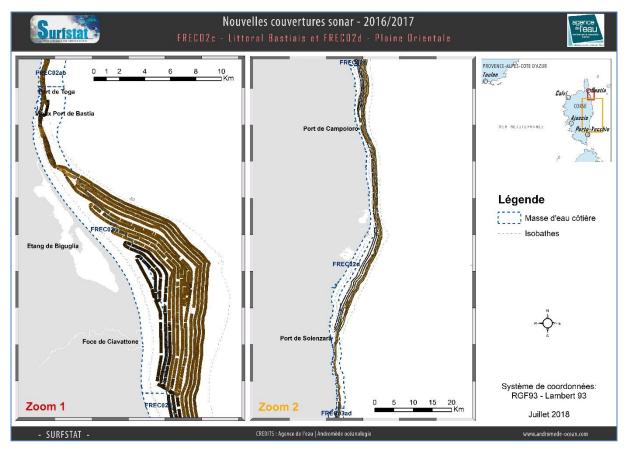


Figure 9 : Cartographies des nouvelles données sonar et bathymétriques (Andromède et SHOM) acquises en 2016 dans le Golfe de Sagone (FREC04ac).





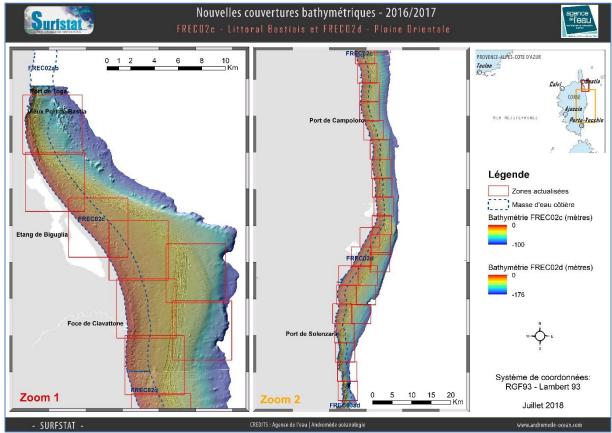


Figure 10 : Cartographies des nouvelles données sonar et bathymétriques (Andromède et SHOM) acquises en 2016-2017 le long de la Côte Est de la Corse (masses d'eau FREC02c ; FREC02d).

#### II.1.2. Acquisition et traitement de données bathymétriques

Le GeoSwath est un sondeur interférométrique plus acquisition sonar, avec une fauchée large, commandé par un PC. Le sondeur acquière jusqu'à plusieurs centaines de sondes par m² sur une bande dont la largeur est environ 4 fois la hauteur d'eau sous le bateau.

Le couple Sondeur/D-GPS fournit 10 mesures de position et de profondeur par seconde. Les données sont récupérées sur une unité centrale interfacée avec tous les instruments de mesure. Une sonde de célérité est utilisée pour garantir la même précision sur les faisceaux obliques et les faisceaux verticaux.



Figure 11 : Sondeur multifaisceaux disposé endessous du bateau

Le logiciel d'acquisition est interfacé avec les fonds cartographiques déjà acquis précédemment. Ceci permet de compléter précisément la zone à couvrir. L'habitabilité du navire permet de travailler en rotation d'équipes 24h/24h et d'exploiter pleinement les créneaux météorologiques favorables.

Les données bathymétriques servant à la réactualisation de la cartographie des habitats (en particulier du coralligène) dans le cadre du réseau SURFSTAT proviennent du programme SHOM et de la campagne SURFSTAT menée en septembre 2016 par Andromède Océanologie. Ces données sont d'une résolution inférieure à 1 mètre jusqu'à une profondeur maximale de 100 mètres, alors que les données SHOM n'atteignent qu'une précision de 25 mètres.

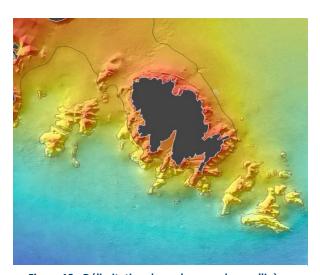
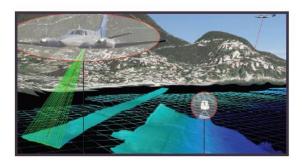


Figure 12 : Délimitation des polygones de coralligène sous SIG à partir du MNT.

Les données brutes sont traitées sous le logiciel GeoSwath+ (GS+) à l'aide de filtres permettant d'exclure du jeu de données le bruit de fond. Le post traitement consiste en la suppression des artefacts, ainsi qu'en la construction de Modèles Numériques de Terrain (MNT). Pour obtenir une meilleure visibilité des reliefs nécessaire à la création des polygones représentant le coralligène, un ombrage a été créé à partir des MNT puis superposé par transparence. A partir de ces MNTs, des isobathes ont été réalisés afin de cibler les profondeurs d'intérêt nécessaire à la cartographie des habitats. La cartographie a été réalisée sous un SIG (ArcGIS for Desktop v.10.2).





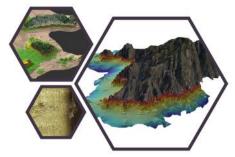


Figure 13 : [1] Acquisition multiplateforme de données bathymétriques à l'aide de technologie LIDAR. [2-4] Représentations en 3D des habitats à l'aide d'outils SIG.

#### II.1.3. Acquisition et analyse de données sonar

Le sonar est remorqué à une vitesse d'environ 5 nœuds et à une hauteur par rapport au fond comprise entre 3 et 10 mètres selon la fréquence (et donc la portée efficace maximale) choisie.

Le levé s'effectue en bandes parallèles et dans l'axe des courbes bathymétriques de manière à travailler à une profondeur constante. Un recouvrement total des profils permet de réaliser une cartographie complète d'une zone.

L'acquisition sonar latéral est particulièrement adaptée à la cartographie des zones de plaine, et en particulier des herbiers de Posidonie sur matte. Pour les zones accidentées, la lecture des sonogrammes devient plus délicate.

#### **Exploitation des données sonar latéral**

Le logiciel spécialisé (SonarWiz) permet d'obtenir une mosaïque géoréférencée des bandes sonar. Cette mosaïque apparaît sous la forme d'une image en gradient de jaune, laissant apparaître les différents types de substrat (depuis les substrats denses, comme la roche, qui apparaissent en blanc aux substrats meubles, comme la vase, qui apparaissent en noir).

L'interprétation des données sonar pour la précartographie apporte de nombreuses informations mais soulève aussi quelques incertitudes. C'est pourquoi elle doit être couplée à une campagne de vérité terrain.





Figure 14 : Sonar Klein 3900. A gauche : micro-ordinateur avec logiciel SonarPro et enregistreur numérique ; à droite : poisson relié au bateau par le câble électroporteur. Source : Andromède

#### II.1.4. Acquisition et analyse de données de terrain

#### Méthodologie du « Transect plongeur audio »

Pour contourner l'aspect ponctuel d'une observation par plongeur, nous avons mis en place la technique du transect plongeur audio, qui permet la validation terrain de plusieurs milliers de points par un plongeur/biologiste le long de transects pouvant atteindre une vingtaine de kilomètre par jour d'acquisition.

Le plongeur est tracté par le bateau à la bathymétrie voulue en fonction des zones à décrire. Il transmet ses observations en temps réel (présence herbier, indice supposé de vitalité...) à l'opérateur qui peut suivre son parcours sur l'ordinateur relié au GPS. Il est équipé d'une planche de tractage qui lui permet de faire varier sa profondeur, d'un système de communication et d'un système de positionnement.

#### Système de communication plongeur/surface

Le système de communication de RCH est un matériel militaire qui permet à un ou plusieurs plongeurs de communiquer entre eux et la surface. Cet équipement est composé d'une station surface avec hydrophone, d'un boîtier portable pour le plongeur et d'un masque facial équipé d'écouteurs et de micros.





Figure 15 : Station surface munie d'un hydrophone; à droite : plongeur en recycleur avec le masque facial lui permettant de communiquer avec la surface.

#### Positionnement des observations sous-marines

En ce qui concerne les données acquises sous l'eau (transect plongeur audio, plongées ponctuelles, nous utilisons un système de positionnement USBL, le Micronav de Tritech qui permet de disposer de la position GPS sous l'eau.



Figure 16 : Le système de GPS sous-marin Tritech est composé d'un pinger emporté par le plongeur et d'une antenne acoustique fixée sous le bateau. Il permet de georéférencer toutes les observations.

Les informations sont traitées au fur et à mesure de l'acquisition (gain de temps) et le nombre de points renseignés permet de réaliser des extrapolations plus justes.



L'utilisation de la communication surface et du positionnement des observations en temps réel font de cette méthodologie un outil simple et performant pour la cartographie.

La mise en œuvre est plus simple que celle d'un ROV ou d'une caméra tractée dont la « vision » réduite ne permet pas une vision globale de l'habitat.

### Observations sous-marines ponctuelles

Des observations sous-marines ponctuelles sont réalisées dans le cadre de SURFSTAT. Les coordonnées géographiques de chaque plongée sont obtenues par positionnement au GPS sous-marin. Ces plongées viennent en complément des données RECOR afin de valider la présence ou non de coralligène et des données TEMPO pour positionner la limite inférieure des herbiers de Posidonie.

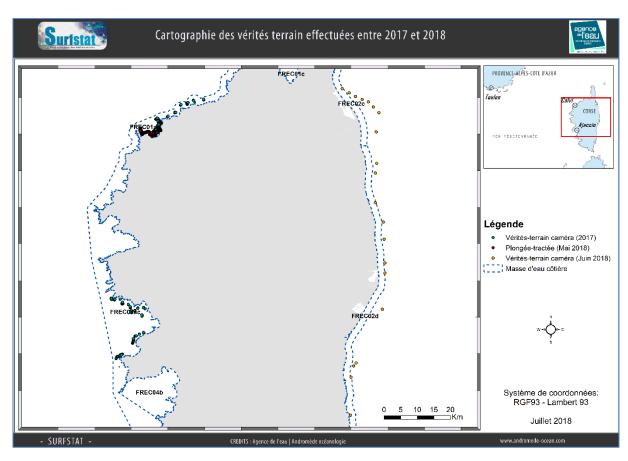


Figure 17 : Cartographie de points vérité-terrain effectués en plongée tractée et à l'aide de caméras entre 2017 et 2018.

#### II.1.5. Actualisation des petits fonds

L'appellation « petits fonds marins » désigne, dans le cas de la cartographie des habitats marins, la limite de l'interprétation visuelle des différents habitats marins sur photographie aérienne, généralement possible jusqu'à 15 voire 20 mètres de profondeur (Andréfouët 2008; Pasqualini et al. 1997). Cette limite varie selon plusieurs paramètres tels que la qualité de la photographie aérienne (échelle de précision), la turbidité des eaux côtières (situation géographique de la prise de vue) et la date du cliché photographique (paramètres météorologiques).

Différents outils et matériels ont été utilisés pour réaliser la cartographie. Ils sont présentés dans le Tableau 1 ci-après. Les relevés sonar et bathymétriques ont été acquis lors des campagnes effectuées dans les zones du Nord-Ouest (de l'Est de Calvi au Désert des Agriates), du Golfe de Sagone et de la Côte Est de la Corse (de Bastia au sud de Porto-Vecchio) par Andromède Océanologie entre septembre 2016 et mai 2018 en vue de

réactualiser et d'affiner la cartographie de 2015. Des observations terrain (plongeur tracté et caméra tractée) ont également été réalisées entre 2016 et juin 2018.

La cartographie est réalisée sous Photosphop puis ArcGIS v.10.2. Un contrôle qualité est appliqué une fois la cartographie disponible pour une masse d'eau côtière donnée. Il consiste à corriger les éventuelles erreurs de superposition et de discontinuité et à finaliser le fichier vecteur.

Tableau 1 : Outils, données et matériel utilisés pour l'actualisation de la cartographie de la Corse.

	Photographie aérienne	Logiciels	Données terrain
Outils	Photographies aériennes Google Earth	Photoshop C5  ArcGIS for Desktop v.10.2  Google Earth  QGIS 2.18	Points biologiques et relevés sonar et bathymétriques réalisés par Andromède.

#### II.1.6. Nomenclature des habitats : la typologie SURFSTAT

La nomenclature des habitats retenue s'appuie en grande partie sur le référentiel établi par le Muséum National d'Histoire Naturelle concernant la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée (Michez et al., 2011). Cette classification liste les principales biocénoses, réparties en fonction de leur position bathymétrique et du type de substrat. Ainsi, dans le cadre du réseau SURFSTAT, **13 catégories biocénotiques** sont cartographiées :

#### - Herbiers à Cymodocée (Cymodocea nodosa):

Cette Magnoliophyte est protégée sur le territoire national depuis 1988, inscrite dans l'annexe 1 de la convention de Berne. Sans être strictement endémique de Méditerranée (elle est présente dans le proche Atlantique), cette cymodocée en constitue une des caractéristiques. Ses peuplements sont à l'origine de véritables prairies, généralement localisées à faible profondeur, dans des sites abrités, en particulier dans les fonds de baie. On la trouve sur des substrats meubles.

#### - Herbiers à Zostera noltii :

La zostère naine Zostera noltii (Hornemann, 1832) ou Varech de Nolti est une magnoliophyte qui se rencontre sur les fonds marins sableux ou sablo-vaseux et forme des herbiers marins. Elle se retrouve également à l'entrée ou à l'intérieur des lagunes où elle peut développer des peuplements monospécifiques de phanérogames. Même si elle résiste à un certain hydrodynamisme et à de larges gammes de salinité, elle est très sensible à la pollution des eaux et à l'eutrophication qui peuvent rendre les eaux turbides. Elle est présente dans toute la Méditerranée mais particulièrement en Méditerranée occidentale et en Adriatique.

## - Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica :

La magnoliophyte *Posidonia oceanica* est une espèce endémique méditerranéenne stricte. L'espèce, et les herbiers qu'elle constitue, sont répandus dans la plus grande partie de la Méditerranée. Elle constitue de vastes prairies sous-marines, appelées herbiers, qui se développent depuis la surface de l'eau jusqu'à 30 à 40 m de profondeur, selon la transparence des eaux. Cet habitat est une entité complexe qui se développe aussi bien sur les substrats meubles que sur les substrats durs. L'extension de Posidonia oceanica en profondeur caractérise l'étage infralittoral. L'herbier à *Posidonia oceanica* est actuellement considéré comme l'écosystème le plus important de la Méditerranée : importance de sa production primaire, richesse de sa faune et de sa



flore, équilibre sédimentaire du littoral, exportation de biomasse vers d'autres écosystèmes, frayères et nurseries pour de nombreuses espèces de poissons et de crustacés.

#### - Association de la matte morte de Posidonia oceanica :

Le faciès dégradé de l'herbier à Posidonies n'est pas toujours facile à identifier, que ce soit en plongée sousmarine car il est souvent recouvert de sédiments meubles ou sur les sonogrammes où il apparaît sous forme de faciès clair et homogène assimilable à du sédiment fin. Lorsqu'elle était identifiée comme telle, nous avons fait figurer cette matte morte affleurante sous le nom « Association de la matte morte de *Posidonia oceanica* ». Il est important de noter que l'on considère dans cette étude que cet habitat peut contenir entre 0 et 10% d'herbier à *Posidonia oceanica* (fastidieux à cartographier).

#### - Biocénose des galets infralittoraux :

La biocénose à Galets Infralittoraux (GI) est caractéristique des petites criques des côtes rocheuses fortement battues. L'habitat s'étend jusqu'à quelques décimètres de profondeur, sa limite inférieure correspondant à la zone où la force des vagues n'est plus suffisante pour rouler les galets.

#### - Fonds meubles infralittoraux :

Cette catégorie générique regroupe tous les habitats meubles de l'étage infralittoral. Communément, cet « habitat » regroupe les biocénoses suivantes : biocénose des sables médiolittoraux, biocénose du détritique médiolittoral, biocénose des sables fins de haut niveau, biocénose des sables fins bien calibrés, biocénose des sables vaseux superficiels de mode calme, biocénose des sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues, et la biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (présents en position infralittorale).

#### - Biocénose des algues infralittorales :

C'est l'habitat de substrat dur le plus représenté dans l'étage infralittoral qui est d'une grande richesse et diversité en organismes. Cet habitat est généralement retrouvé depuis la surface jusqu'à 35-40 m de profondeur.

#### - Biocénose Coralligène :

Le Coralligène est une biocénose de substrat dur du circalittoral, étage s'étendant au-delà de l'infralittoral, jusqu'à la limite de la zone de survie des macrophytes pluricellulaires autotrophes. Le développement des concrétionnements coralligènes est soumis aux tolérances lumineuses de leurs principaux constructeurs.

#### - Biocénose de la roche du large

Cette biocénose situe à proximité de la rupture de pente du plateau continental. Les espèces caractéristiques sont majoritairement d'affinité circalittorale mais les espèces de l'étage bathyal sont également présentes.

#### - Biocénose des roches bathyales

Cet habitat correspond aux substrats durs présents dans l'étage bathyal.

#### - Fonds meubles circalittoraux :

Cette catégorie générique regroupe tous les habitats meubles de l'étage circalittoral. Communément, cet « habitat » regroupe les biocénoses suivantes : biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (présents en position circalittorale), biocénose des vases terrigènes côtières, biocénose des fonds détritiques envasés, biocénose du détritique côtier, biocénose des fonds détritiques du large.



#### - Habitats artificiels:

Cette catégorie regroupe les habitats artificiels comme les émissaires en mer, les récifs artificiels, et les aménagements littoraux (digues, épis, appontements, terre-plein, etc.).

#### - Zone bathyale:

Cette catégorie correspond aux zones dont les données cartographiques sont trop anciennes, indisponibles ou au-delà de 100 mètres de fond.

# II.2. Outils et méthode d'analyse du paysage

Le second objectif du réseau SURFSTAT est d'extraire des indicateurs surfaciques à partir de la cartographie continue des habitats. Cette carte constitue une des données principales pour l'analyse paysagère et pour le calcul d'indicateurs d'écologie du paysage (Haase et al., 2007, Lasanta et al., 2006).

Il existe plusieurs interprétations du terme « paysage » conformément aux différentes disciplines et aux contextes de gestion (McGarigal & Cushman, 2002). La notion de paysage est donc complexe à appréhender. Généralement on lui reconnaît une composante objective donnée par les éléments qui le composent et leur arrangement spatial et une composante subjective, fondée sur la sensibilité de l'observateur (IFN, 2005). Dans la perspective écologique, le paysage est défini comme un espace hétérogène composé d'une mosaïque d'écosystèmes qui interagissent et se répètent de façon similaire dans l'espace.

Dans l'analyse des systèmes paysagers, la question des limites du paysage doit être résolue (Burel & Baudry, 2000; McGarigal & Cushman, 2002). Elle dépend fondamentalement de l'objet de l'étude ainsi que du champ d'action des types de processus étudiés. Pour l'analyse environnementale des paysages de la présente étude, les unités structurelles et fonctionnelles choisies sont les masses d'eau côtières car elles constituent le référentiel cartographique élémentaire de la DCE et servent donc d'unité d'évaluation de l'état des eaux. On peut ajouter qu'elles définissent un objet spatial fondamental dans lequel les activités socio-économiques et celles de l'environnement opèrent.

La cartographie en 2D a donc été découpée par masse d'eau côtière (pour cette étude : FREC01ab ; FREC02c ; FREC02d et FREC04ac) puis par tranche bathymétrique (0-40m ; 0-60m) : ces différentes cartes des habitats correspondent chacune à une unité paysagère. Cette cartographie des habitats sous-marins intègre toute une série de polygones ou taches. En tant qu'unités paysagères identifiables, avec des limites définies et cartographiables, les taches ont été regroupées en 13 catégories biocénotiques (cf. nomenclature des habitats du réseau SURFSTAT) appelées « classes » en écologie du paysage.

#### II.2.1. Spatialisation et quantification du paysage

La cartographie continue des habitats sous-marins constitue la donnée de base de toute mesure et calcul d'analyse du paysage. Dans un premier temps, on réalise une analyse qualitative des données spatiales des cartes (format vecteur, ArcGIS v10.2) de chacun des paysages créés par masse d'eau côtière. Cette étape mesure donc la quantité et la surface spatiale des différentes classes (la structure du paysage). En deuxième temps, une analyse statistique de ces cartes est réalisée (format raster d'une résolution de 5m x 5m, RStudio v1.1 ©) en calculant différents indices de l'écologie du paysage à l'échelle des classes (= catégories biocénotiques) et du paysage (= masse d'eau). Ces indices sont calculés grâce à un script R et du package SDMTools (VanDerWal et al., 2014), et plus particulièrement de la fonction ClassStat, reprenant en grande partie les indices extraits au travers de FragStats (McGarigal & Marks, 1995). Cette étape permet de mesurer la composition (hétérogénéité) et la configuration (fragmentation, agrégation) de la structure du paysage.



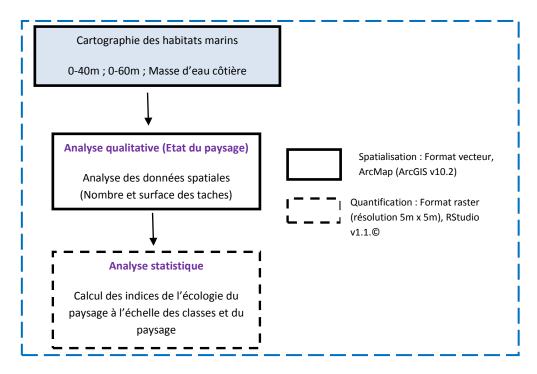


Figure 18 : Chaîne de traitement pour l'analyse du paysage

# Analyse qualitative du paysage sous-marin

La description de la structure du paysage a été réalisée à plusieurs échelles de découpage. Ainsi, la cartographie continue des habitats sous-marins a tout d'abord été découpée par masse d'eau côtière (14 masses d'eau côtière en Corse) puis par tranche bathymétrique. Deux tranches ont été choisies dans cette étude : 0-40 mètres et 0-60 mètres.

La première tranche correspond à la zone de fortes pressions anthropiques et toute la distribution de l'herbier à Posidonie, et celle de 0-60 mètres permet d'inclure la zone de répartition du coralligène.

Ces différentes échelles représentent un compromis entre une extension spatiale suffisamment grande pour capturer l'hétérogénéité de distribution des habitats et les échelles de travail utilisées par les gestionnaires et les décideurs.

Dans cette étude sont présentés les résultats des analyses quantitatives et qualitatives pour quatre masses d'eau dont les données sonar et bathymétriques manquaient en zone intermédiaire et en limite inférieure d'herbier ainsi qu'en zone de répartition des assemblages coralligènes. Les zones et masses d'eau actualisées sont résumées dans le tableau suivant :



Tableau 2 : Masses d'eau et zones géographiques correspondantes actualisées pour cette étude.

Masses d'eau	FREC01ab	FREC02c	FREC02d	FREC04ac
Zone actualisée	Est de Calvi au désert des Agriates	Littoral Bastiais	Plaine Orientale	Golfe de Sagone
Profondeur maximum (sonar)	60 m	40 m	40 m	80 m

Certaines masses d'eau, comme sur la côte Est de la Corse, ne possèdent pas de données sonar au-delà de 40 mètres de profondeur. La topographie et la composition des habitats des masses d'eau FREC02d (Plaine Orientale) et FREC02c (Littoral Bastiais) nous ont permis d'interpréter les zones non cartographiées comme étant des fonds meubles circalittoraux jusqu'à l'isobathe des 60 mètres. Sur cette base nous pouvons estimer et localiser tout le long du littoral de la Corse les surfaces couvertes par les différents habitats sous-marins à une échelle 1/10 000ème.



### Analyse quantitative du paysage sous-marin

L'analyse quantitative de la structure du paysage intègre toute une série de métriques issues de l'écologie du paysage. Ces métriques sont calculées sous le logiciel RStudio v.1.1 © pour la quantification de la structure à l'échelle d'une même classe et à l'échelle globale du paysage. Les indices ont été choisis d'après McGarigal K. & Marks B.J., 1995 où est présenté le programme d'analyse spatiale FRAGSTATS®. En effet, d'après les principaux concepts développés en écologie du paysage (Burel & Baudry, 2000), la prise en compte des surfaces relatives occupées par divers habitats n'est souvent pas suffisante et il faut pouvoir décrire l'agencement spatial de ces derniers.

Certaines métriques sont utilisées dans la mesure de la composition du paysage (présence et abondance des classes) et d'autres dans la mesure de la configuration paysagère (distribution et arrangement spatial des taches). Les indices adaptés aux objectifs du travail ont été sélectionnés et calculés.



# II.2.2. Métriques utilisées dans le cadre de l'analyse du paysage

Chaque indice est présenté dans le tableau suivant avec son niveau d'analyse, son unité et une description.

Tableau 3 : Métriques utilisées dans le cadre de l'analyse du paysage (RStudio v. 1.1 ©). En rouge : métriques de surface ; En vert : métriques d'agrégation ; En bleu : métriques de forme ; En violet : métriques de diversité

Processus écologique	Niveau	Nom de l'indice	Signification	Unité
Simplification / Diversification	Classe	CA (Total Classe Area)	Surface de toutes les taches par classe (ha)	ha
Simplification / Diversification	Paysage	TA (Total Area)	Surface du paysage (ha)	ha
Simplification / Diversification	Classe	PLAND (Percentage of Landscape)	Proportion du paysage occupé par chaque classe (%)	%
Fragmentation / Fermeture	Classe	NP (Number of Patches)	Nombre de taches par classe	de 0 (aucune tache) à n (n unités de taches)
Fragmentation / Fermeture	Classe	PD (Patch Density)	Relation entre le nombre de taches d'une classe par 100 hectares	Nb de taches / 100 hectares
Simplification / Diversification	Classe / Paysage	LPI (Largest Patch Index)	Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande. Une grande valeur de LPI indique une forte dominance d'une tache/classe unique dans le paysage	%
Simplification / Diversification	Classe	AREA MN	Surface d'une tache (ha) - Moyenne	ha
Simplification / Diversification	Classe	AREA_SD	Surface d'une tache (ha) - Ecartype	ha
	Classe	FRAC_MN (Fractal Dimension Index)	Indice de complexité de forme - Moyenne	De 1 (forme géométrique simple = carré) à 2 (forme la plus complexe)
	Classe	FRAC_SD	Indice de complexité de forme - Ecartype	
Agrégation	Classe	ENN_MN (Euclidean Nearest Neighbor Distance Distribution)	Distance euclidienne (distance qui sépare les deux taches les plus proches) - Moyenne	mètres
Agrégation	Classe	ENN_MD	Distance euclidienne (distance qui sépare les deux taches les plus proches) - Médiane Distance euclidienne	mètres
Agrégation	Classe	ENN_SD	(distance qui sépare les deux taches les plus proches) - Ecartype	mètres

Agrégation	Classe	DIVISION (Landscape Division Index)	Indice de fragmentation (probabilité que deux pixels d'une même classe choisis au hasard ne fassent pas partie de la même tâche)	0 ≤ DIVISION< 1 (DIVISION=0 si la classe est constituée d'une unique tâche et DIVISION=1 si la classe est très subdivisée en petites tâches).
Agrégation	Classe	AI (Aggregation Index)	Indice d'agrégation (%) correspondant à la fréquence avec laquelle des paires des pixels d'une même classe sont adjacentes.	AI=0 (aucune connexion entre les pixels de taches d'une même classe et AI=100 (La classe est formée par une seule tache).
Simplification / Diversification	Paysage	PRD (Patch Richness Density)	Densité de classes présentes dans le paysage	Nb de classes / 100 hectares
Simplification / Diversification	Paysage	SIDI (Simpson's Diversity Index)	Diversité paysagère - indice de Simpson	0 < SIDI <1 (SIDI=0 alors le paysage ne contient qu'une seule classe (pas de diversité) et SIDI approche de 1 quand le nombre de classes augmente)
Simplification / Diversification	Paysage	SIEI (Simpson's Evenness Index)	Indice d'équitabilité de Simpson	



## III. Résultats

Les résultats sont présentés dans ce rapport par masse d'eau côtière pour les quatre masses d'eau de Corse contenant les zones actualisées grâce aux nouvelles données sonar, bathymétriques et vérités-terrain.

Cartographie continue des habitats marins

Les aspects qualitatifs sont spatialisés sur une carte des habitats sous-marins en 2D par masse d'eau côtière accompagnée d'un graphe présentant les proportions du paysage occupé par chaque habitat.

Indicateurs macro-surfaciques

Les résultats de l'analyse quantitative du paysage ont été organisés en tableaux accompagnés de textes explicatifs. Pour une meilleure interprétation des indicateurs, les tranches bathymétriques ont été découpées grâce à l'isobathe – 60 mètres. Il a été choisi de prendre en compte tous les habitats de cette tranche bathymétrique même si cet isobathe peut dépasser le périmètre de la masse d'eau. Une analyse similaire est réalisée pour l'herbier à Posidonie entre 0 et 40 mètres.

Les métriques sont synthétisées par masse d'eau et par tranche bathymétrique sous la forme d'un tableau. Une comparaison à l'échelle de la Corse est également réalisée grâce au curseur si dessous :



Légende du curseur imagé associé à chaque métrique. Sont affichées les valeurs minimale, maximale et moyenne calculée pour chaque métrique à l'échelle de toute la Corse (toutes tranches bathymétriques confondues). Chaque couleur correspond à un cinquième de l'étendue des valeurs observées pour la métrique concernée.

Indices de régression de l'herbier à Posidonie

Pour chaque masse d'eau, une carte de l'évolution globale de l'herbier à Posidonie a été réalisée et nous avons calculé un indice de régression. Cet indice fait l'objet d'une représentation cartographique sur un pixel de 20 mètres. L'indice de régression a été calculé de la manière suivante :

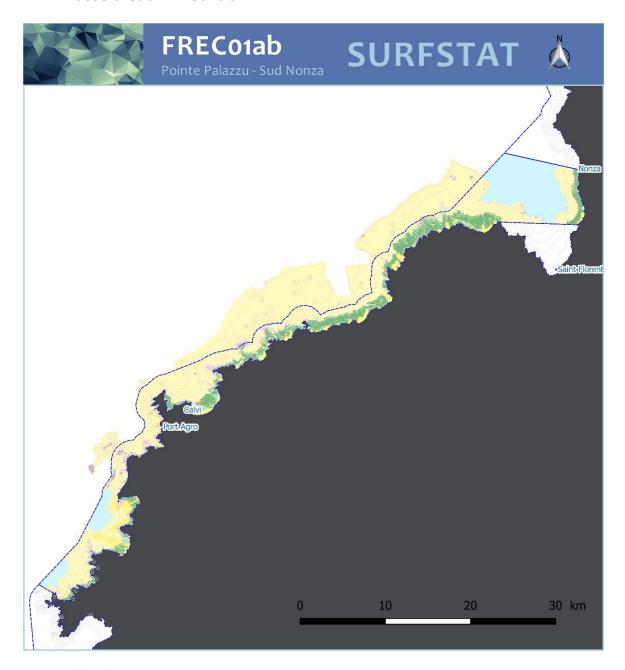
Indice de Régression = Surface de l'herbier\* / (Surface de la matte morte \* + Surface de l'herbier\*)

\*Surface issue de la cartographie continue des habitats marins réalisée dans le cadre de SURFSTAT entre 2016 et 2018.

Dans cette formule la matte morte cartographiée est considérée comme une régression de l'herbier à posidonie: on suppose que les zones de matte morte présentes en 2016-2018 étaient auparavant des zones d'herbier.



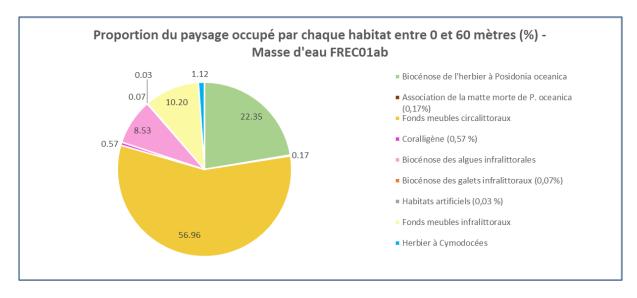
# III.1. Masse d'eau FREC01ab



# **POINTE PALAZZU - SUD NONZA**







La masse d'eau FREC01ab « Pointe Palazzu – Sud Nonza » comprend 9 habitats entre 0 et 60 mètres dont les trois principaux (>10% de recouvrement du paysage) sont les fonds meubles infralittoraux (10,2 %) et circalittoraux (56,96 %) et l'herbier à Posidonie (22,35 %). 42,2 % du paysage est dominé par une tache unique de fonds meubles circalittoraux. A noter sur cette masse d'eau la présence des herbiers à Cymodocées qui représentent 1,12 % du paysage entre 0 et 60 mètres.

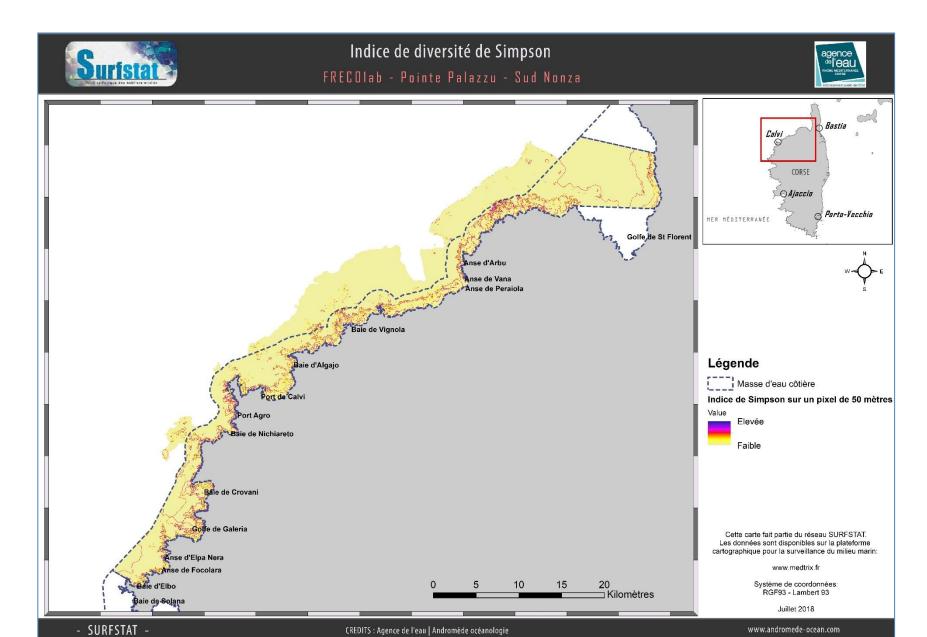
Cette masse d'eau présente une diversité paysagère moyenne. En effet, l'indice de Simpson (0,7) est très proche de la moyenne et celle du nombre par ha (0,04)est comparativement aux valeurs de Corse.

Les indices d'agrégation entre les taches et de fragmentation des habitats, entre 0 et 60 mètres, mettent en évidence six habitats fragmentés (AI<90%). La matte morte de Posidonie et la biocénose coralligène sont les habitats les plus fragmentés.

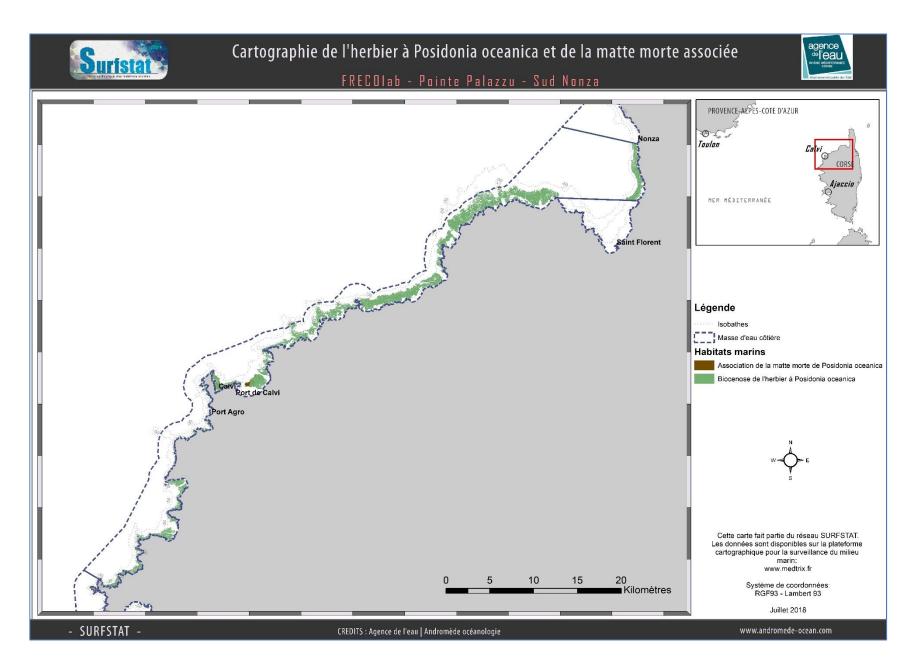
Les habitats les moins fragmentés (donc qui présentent une continuité et compacité des pixels forte) et les plus connectés entre eux (AI>90%) sont les herbiers à Posidonie, les herbiers à Cymodocées et les fonds meubles circalittoraux. Les fortes valeurs de l'indice d'agrégation correspondent à une continuité horizontale de ces trois habitats se traduisant par un taux de recouvrement élevé.

Tableau 4 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FREC04ac.

Région	CORSE	
Masse d'eau	FREC01ab	Échelle de comparaison
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	Région CORSE Légende
Surface du paysage (ha)	20912	32 39550 0 11156.36
Nombre d'habitats	9	3 9
dans le paysage		7.21
Densité de tâches (Nb	80.2	4.67 459.96
tâches /100 ha)		104.62
Pourcentage total du		11.39 79.74
paysage compris par la tâche la plus grande	43.2	43.62
Densité d'habitats	0.04	0.02 9.24
dans le paysage (Nb habitats /100 ha)		0.9
Diversité des habitats		0.46 0.85
(Indice d'équitabilité de Simpson)	0.7	0.72









L'herbier occupe 40,63% du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce taux de recouvrement est proche de la moyenne relevée sur l'ensemble des masses

d'eau côtières de la Corse.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières de la Corse, l'herbier de Posidonie de la masse d'eau FREC01ab se caractérise par un faible nombre de taches (14,5 taches/100 ha), de taille moyenne (2,8 ha) et une distance moyenne entre deux tâches les plus proches de 18 mètres entre 0 et 40 mètres.

L'indice d'agrégation (89,6%) est proche de la moyenne des masses d'eau de Corse et l'indice de fragmentation de l'herbier (0,97) est élevé par rapport à la moyenne. L'herbier suit le littoral de manière continue de la pointe Rossa jusqu'au Nord de la masse d'eau. Au Sud de la pointe Rossa, l'herbier à Posidonie est moins présent et plus fragmenté.

L'indice de régression de la masse d'eau FREC01ab est précisément de 0,99. Une cartographie de cet indice de régression sur un pixel de 20 mètres est présentée sur la page suivante. Dans l'absolu cet indice indique une faible régression globale de l'herbier. Quelques petites zones de matte morte sont présentes le long du littoral au niveau principalement de récifs barrière comme celui de Mafalcu, situé au nord de la masse d'eau FREC01ab. Il présente une surface d'environ 0,33 ha de matte morte. La présence d'herbier à Cymodocées, habitat

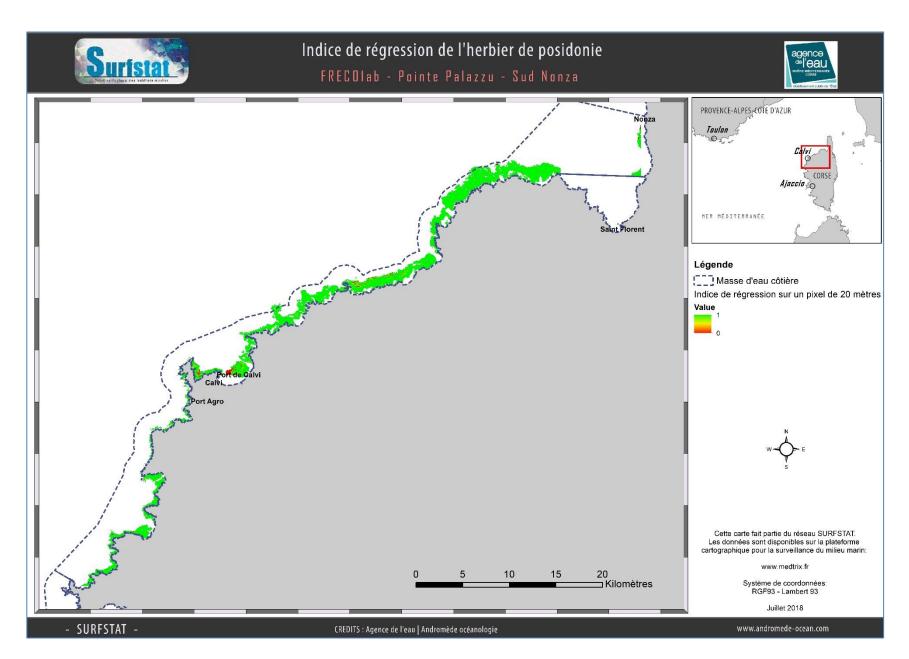
Tableau 5: Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FREC01ab.

Région	CORSE	
Masse d'eau	FREC01ab	Échelle de comparaison Région CORSE
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	Légende
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	40.63	13.82 65.66 0 <b>1</b> 43.29
Densité de tâches (Nb tâches /100 ha)	14.49	5.65 103.98
Pourcentage total du paysage compris par la tâche la plus grande	14.03	6.02 65.44
Surface moyenne d'une tâche d'herbier (ha)	2.8	0.28 11.63 D 2.78
Indice de complexité des formes	1.08	1.05 1.12
Distance moyenne qui sépare deux tâches d'herbier les plus proches (mètres)	18.05	11.76 67.6
Indice de fragmentation de l'herbier	0.97	0.57 0.99
Indice d'aggrégation entre les tâches (%)	89.56	80.83 97.66
Indice de régression	0.99	0.66
de l'herbier		0.94

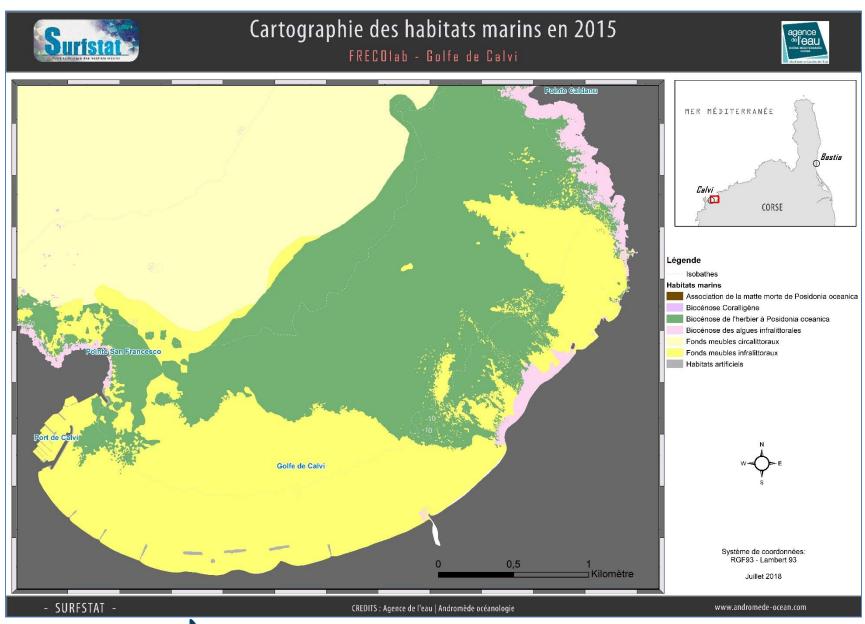
se développant principalement dans les zones calmes, confirme le rôle protecteur du récif barrière. En effet, ce type de formation réduit l'hydrodynamisme et forme un lagon protégé entre le récif et la côte. Une grande zone de matte morte de 26,4 ha est présente à l'ouest du Golfe de Calvi et des traces de mouillage sont également visible dans l'herbier.

Les cartographies du Golfe de Calvi ainsi que des environs de l'Île Rousse sont présentées ci-après afin de visualiser plus clairement les différents habitats et les nouveaux détails cartographiés. Il est possible d'observer de nouvelles taches de sable avec de nombreux tombants de matte morte en limite inférieure d'herbier, des traces de mouillage et la zone de matte morte à l'ouest du Golfe de Calvi. Un herbier à Cymodocées très étendu de 77 ha entre 10 et 20 mètres de profondeur est également présent à l'ouest du Golfe de Calvi. Des petites zones de coralligène sont visibles au large de l'Île Rousse entre 50 et 70 mètres de profondeur. Les cartographies de 2015 (actualisation en 2015 uniquement des petits fonds visibles par analyse des photographies satellitaires) sont aussi présentées pour chaque zone afin de pouvoir comparer avec l'actualisation des données obtenues entre 2016 et 2018.

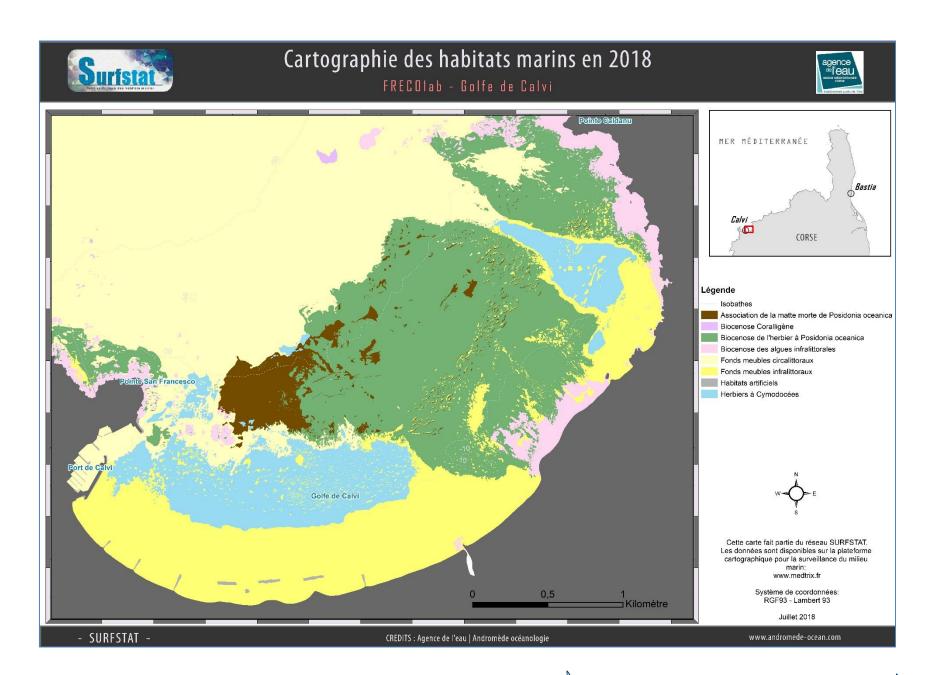




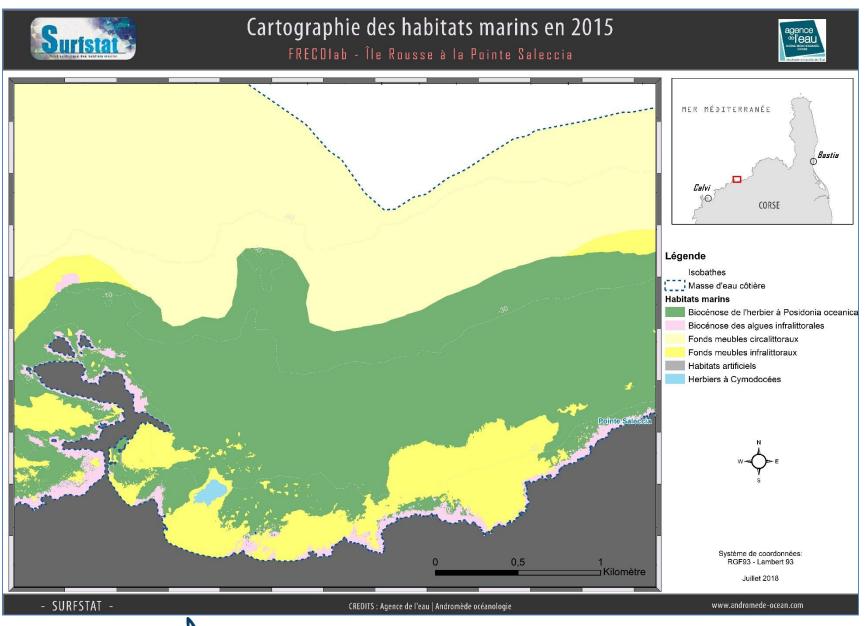




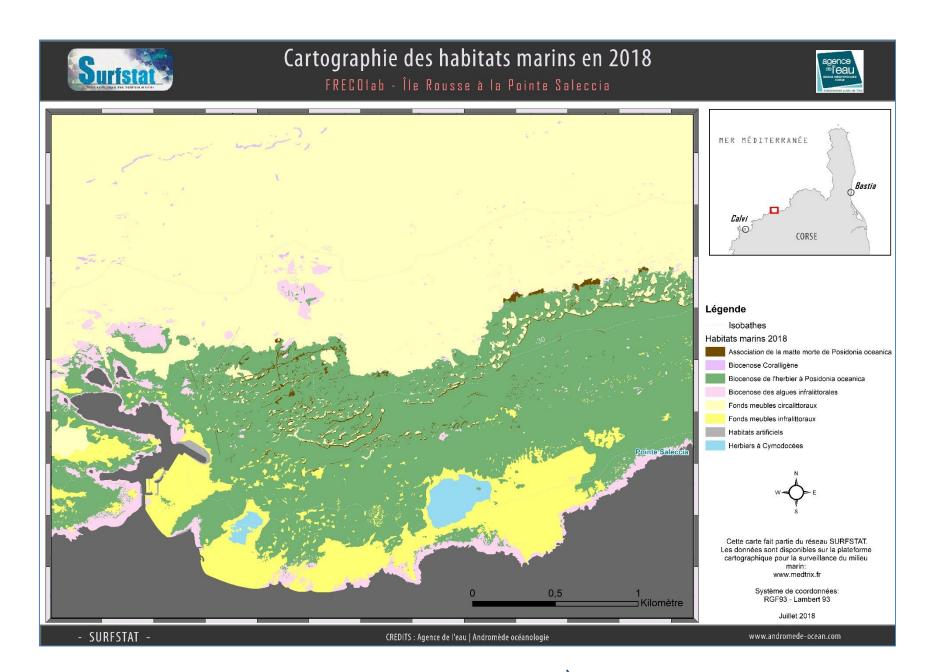






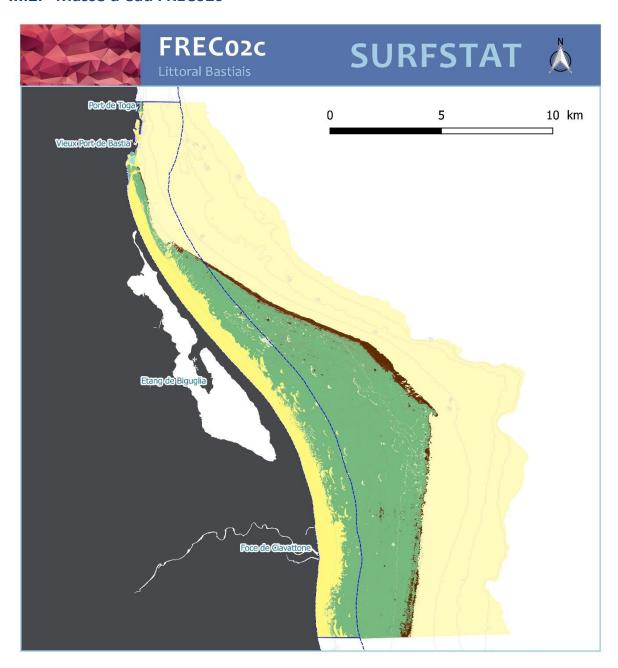




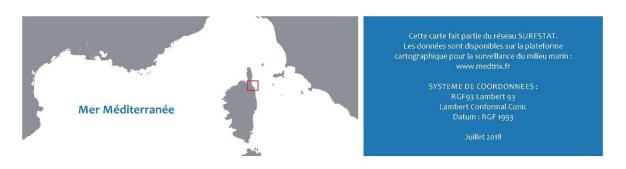




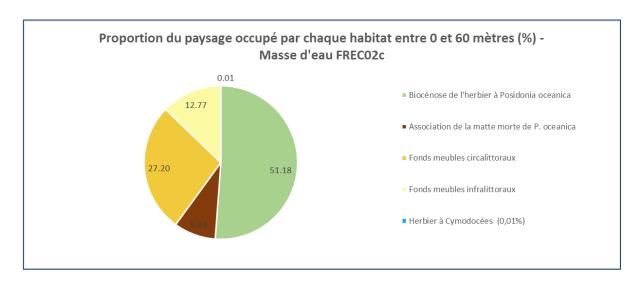
#### III.2. Masse d'eau FREC02c



### LITTORAL BASTIAIS







La masse d'eau FRECO2c « Littoral Bastiais » comprend 5 habitats entre 0 et -60 mètres dont les trois principaux (>10% de recouvrement du paysage) sont les fonds meubles infralittoraux (12,77%) et circalittoraux (27,2%) et l'herbier à Posidonie (51,18%). Il est important de noter que 8,84% du paysage est occupé par de la matte morte. 51% du paysage est dominé par une tache unique d'herbier à Posidonie.

paysagère moyenne. Ainsi, la valeur de l'indice mètres de fond pour la masse d'eau FRECO2c. de Simpson (0,72) est au niveau de la moyenne et celle du nombre d'habitats pour 100 ha (0,04) est faible comparativement aux valeurs observées sur toute la Corse.

L'indice d'agrégation entre les taches, entre 0 et 60 mètres, met en évidence deux habitats fragmentés dont les taches sont déconnectées entre elles. Ainsi la matte morte de Posidonie et les herbiers à Cymodocées ont un indice d'agrégation inférieur 90%. Les habitats les moins fragmentés (donc qui présentent une continuité et compacité des pixels forte) et les plus connectés entre eux sont les herbiers à Posidonie et les fonds meubles infralittoraux et circalittoraux. Les fortes valeurs de l'indice d'agrégation correspondent à une continuité horizontale de ces habitats se traduisant par un taux de recouvrement élevé.

Cette masse d'eau présente une diversité Tableau 6 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60

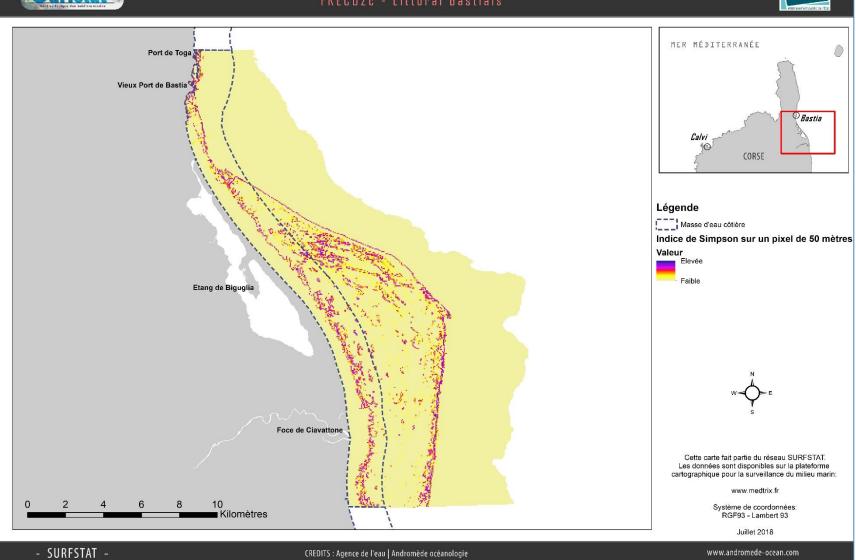
Région	CORSE							
Masse d'eau	FREC02c	Échelle de comparaison Région CORSE Légende						
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60							
Surface du paysage (ha)	13737	32 39550 0 11156.36						
Nombre d'habitats dans le paysage	5	3 9 7.21						
Densité de tâches (Nb tâches /100 ha)	73.6	4.67 459.96 0 1 104.62						
Pourcentage total du paysage compris par la tâche la plus grande	51.02	11.39 79.74 0 43.62						
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.04	0.02 9.24 0 0.9						
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.72	0.46 0.85 D 0.72						



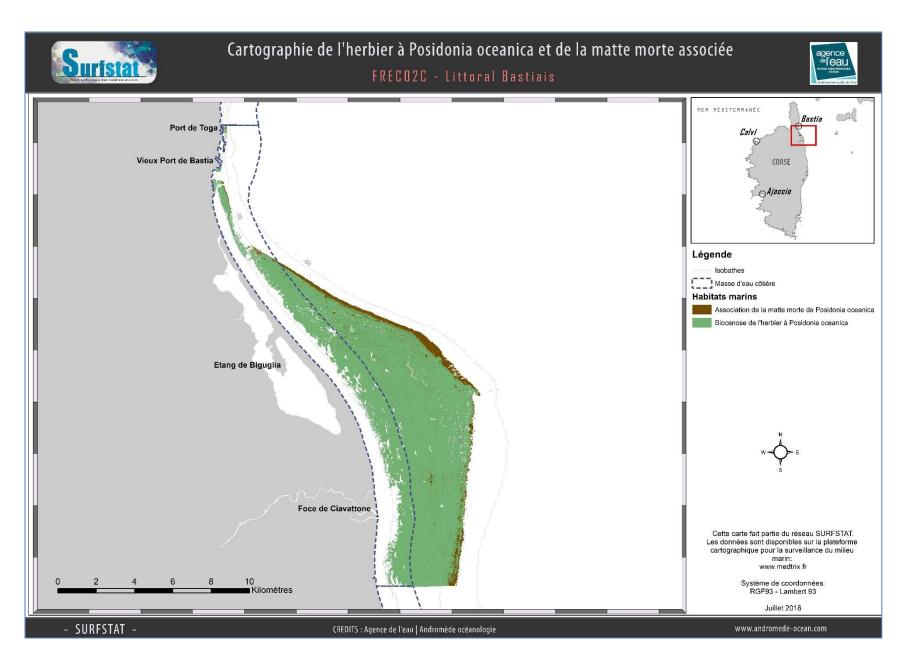
### Indice de diversité de Simpson



FRECOZO - Littoral Bastiais









La répartition de l'herbier entre Bastia et Solenzara est relativement homogène. L'herbier se rencontre essentiellement sur substrat sableux. La limite inférieure oscille entre -17 mètres au Sud de Bastia et une quarantaine de mètres de fond. A l'embouchure des fleuves on constate généralement un recul de la limite supérieure de l'herbier vers le large.

L'herbier occupe 65,66% du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce taux de recouvrement est le plus

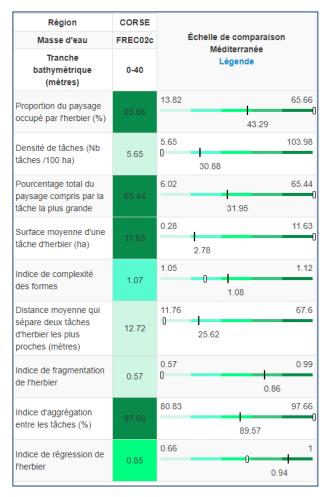
élevé sur l'ensemble des masses d'eau côtières.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières de la Corse, l'herbier à Posidonie de la masse d'eau FRECO2c est continu. 65,4% du paysage est occupé par une tache unique d'herbier. Il se caractérise ainsi par un faible nombre de taches (5,65 taches/100 ha). La surface moyenne d'une tache (11,63 ha) est la plus élevée à l'échelle de la Corse. Les taches sont assez proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux tâches les plus proches est de 12,72 mètres entre 0 et 40 mètres).

L'herbier de cette masse d'eau est continu, les taches d'herbier sont fortement connectées entre elles avec une valeur très élevée d'indice d'agrégation (97,66%) et une valeur moyenne d'indice de fragmentation de l'herbier (0,57). Ce sont les valeurs les plus extrêmes relevées sur toutes les masses d'eau de la Corse.

L'indice de régression de la masse d'eau FREC02c est précisément de 0,85. Une cartographie de cet indice de régression sur un pixel de 20 mètres est présentée sur la page suivante. Même si l'herbier à Posidonie est dense et très étendu dans la masse d'eau FREC02c, il est fortement touché par l'ancrage des bateaux au niveau de la zone intermédiaire et à la limite inférieure (traces de chaluts également), ce qui explique pourquoi la valeur de l'indice de

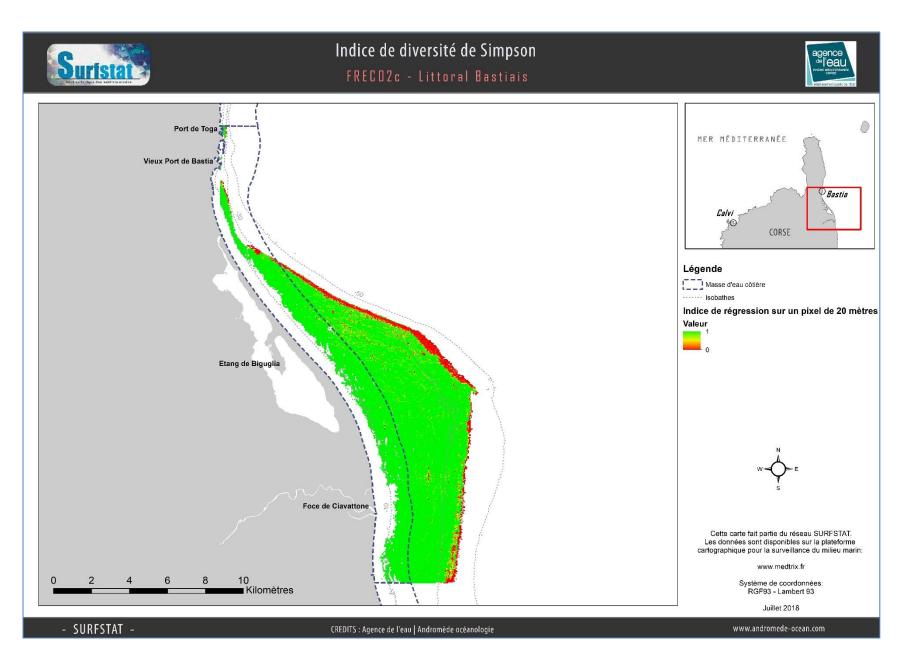
Tableau 7 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRECO2c.



fragmentation de cette masse d'eau reste moyenne. Les tâches de matte morte sont également visibles le long du littoral et couvrent 1060 ha tandis que l'herbier de posidonie représente 6142 ha dans la tranche bathymétrique 0 – 40 mètres de profondeur. La topographie en plaine de la zone permet à l'herbier de se développer sur une large surface.

Deux zones ont été choisies, une au sud du Vieux Port de Bastia et une en face des Sables de Biguglia, afin de visualiser plus clairement les différents habitats et détails cartographiés, notamment les taches de sable, les traces de chalutage et/ou de mouillage et les zones étendues de matte morte dans l'herbier continu et en limite inférieure, et de comparer à la cartographie effectuée en 2015 (actualisation en 2015 uniquement des petits fonds visibles par analyse des photographies satellitaires).





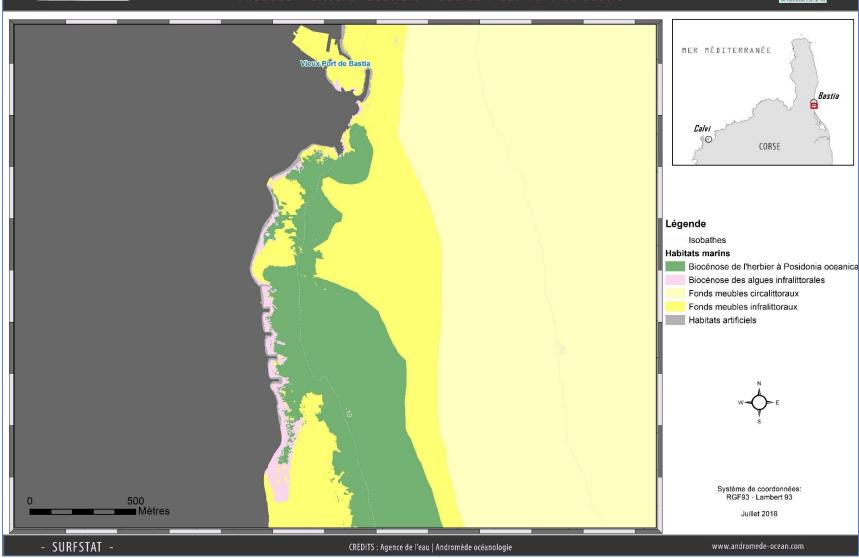








FRECO2c - Littoral Bastiais - Sud du Vieux Port de Bastia

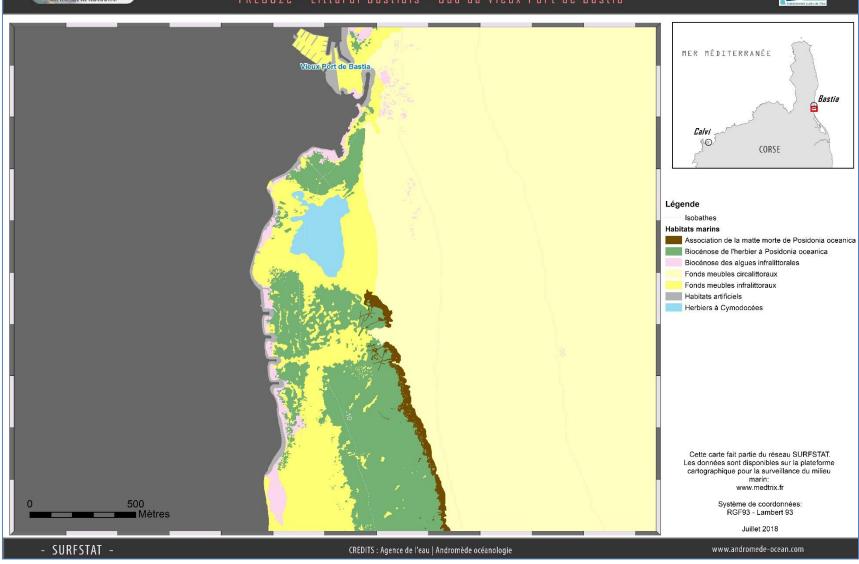








FRECO2c - Littoral Bastiais - Sud du Vieux Port de Bastia

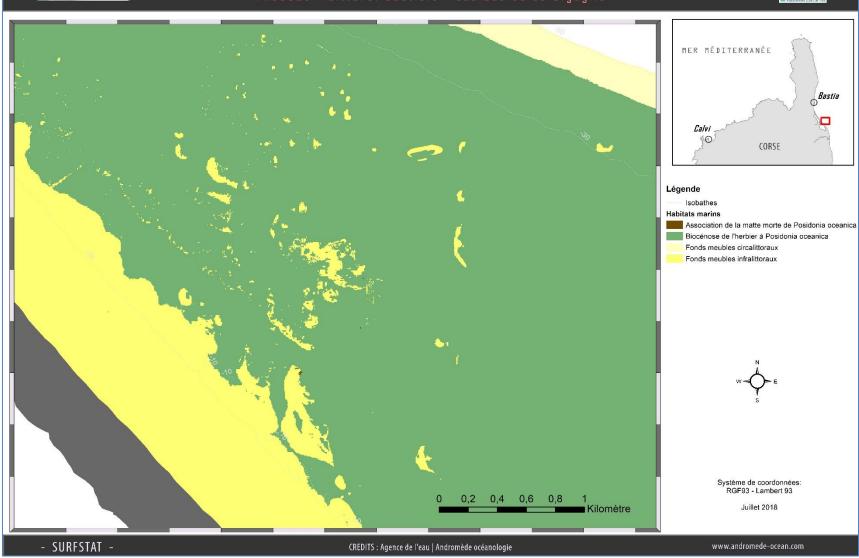








FRECO2c - Littoral Bastiais - Les Sables de Biguglia



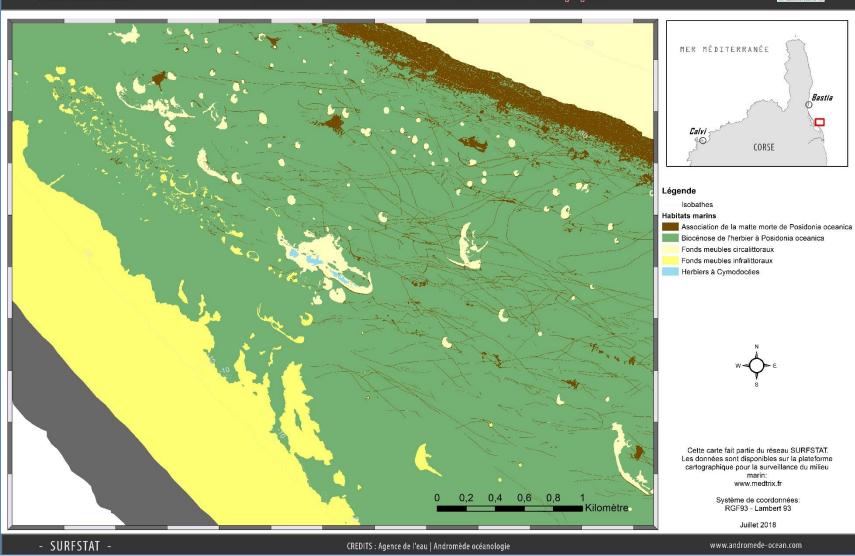


## Surfstat -

### Cartographie des habitats marins en 2018



FRECO2c - Littoral Bastiais - Les Sables de Biguglia



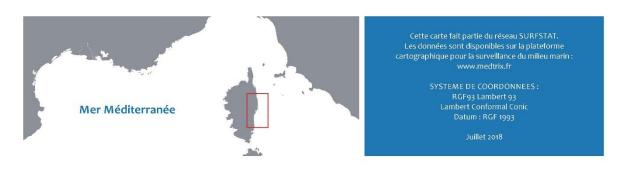




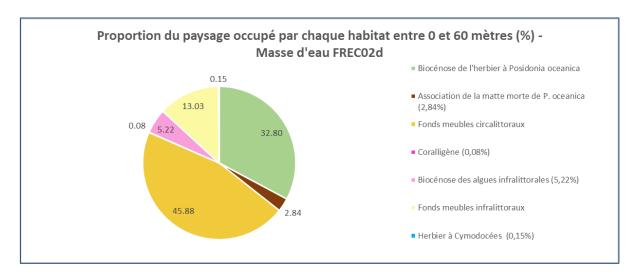
#### III.3. Masse d'eau FREC02d



### **PLAINE ORIENTALE**







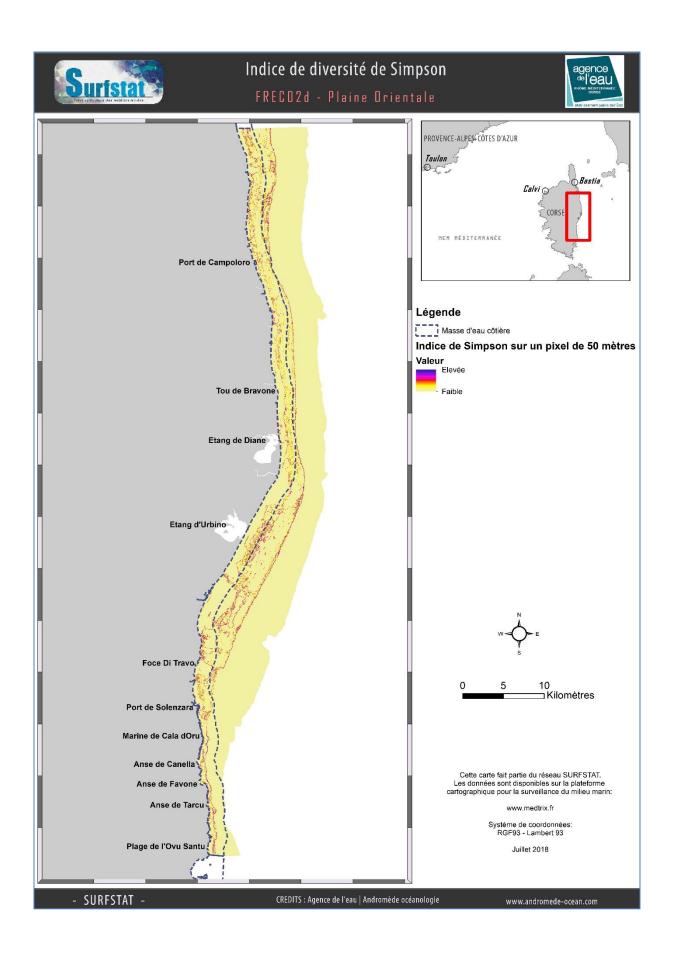
La masse d'eau FRECO2d « Plaine Orientale » comprend 7 habitats entre 0 et -60 mètres dont les trois principaux (>10% de recouvrement du paysage) sont la biocénose de l'herbier à Posidonie (32,8%), les fonds meubles circalittoraux (45,88%) et infralittoraux (13,03%). 45,15% du paysage est dominé par une tache unique de fond meuble circalittoral et 31,21% par une tache unique d'herbier à Posidonie.

Cette masse d'eau présente une diversité paysagère moyenne. La valeur de l'indice de Simpson (0,76) est au-dessus de la moyenne et celle du nombre d'habitats pour 100 ha (0,02) est la plus faible comparativement à toutes les masses d'eau de Corse. L'indice de Simpson est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte suivante.

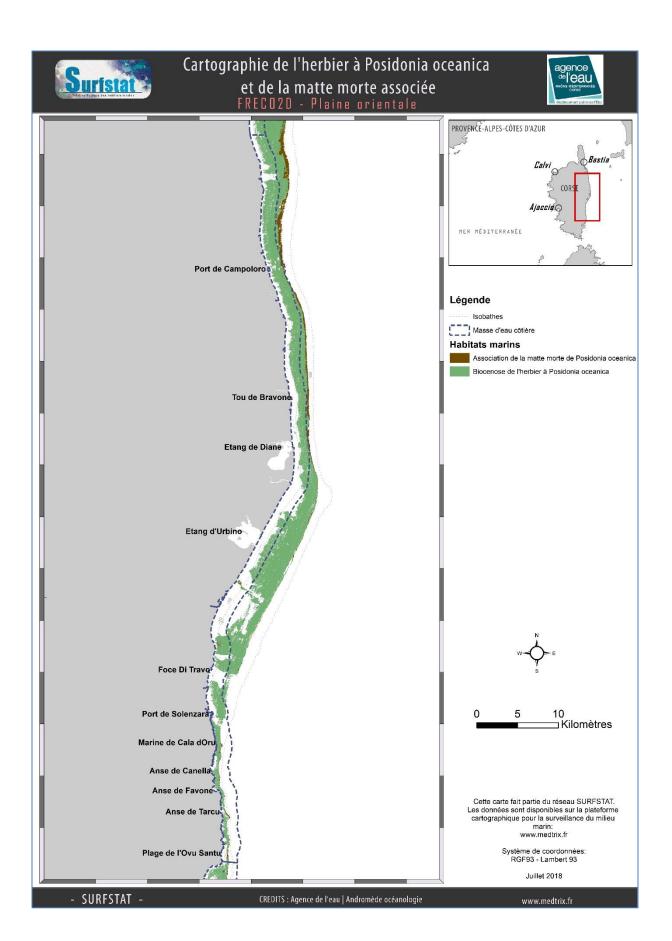
L'indice d'agrégation entre les taches, entre 0 et 60 mètres, met en évidence quatre habitats fragmentés. Ainsi la matte morte de Posidonie, la biocénose des algues infralittorales, les herbiers à Cymodocées et le coralligène ont un indice d'agrégation inférieur à 90%. Les habitats les moins fragmentés (donc qui présentent une continuité et compacité des pixels forte, AI>90%) sont les herbiers à Posidonie et les fonds meubles infralittoraux et circalittoraux. Les fortes valeurs de l'indice d'agrégation correspondent à une continuité horizontale de ces trois habitats se traduisant par un taux de recouvrement élevé.

Tableau 8 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FREC02d.

Région	CORSE								
Masse d'eau	FREC02d	Échelle de comparaison							
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	Région CORSE Légende							
Surface du paysage	39550	32 39550							
(ha)	39330	11156.36							
Nombre d'habitats dans	7	3 9							
le paysage	/	7.21							
Densité de tâches (Nb	4.07	4.67 459.96							
tâches /100 ha)	4.67	104.62							
Pourcentage total du		11.39 79.74							
paysage compris par la tâche la plus grande	45.15	43.62							
Densité d'habitats dans		0.02 9.24							
le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.02	0.9							
Diversité des habitats		0.46 0.85							
(Indice d'équitabilité de Simpson)	0.76	0.72							







L'herbier occupe 50,63% du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce taux de recouvrement est au-dessus de la moyenne observée sur l'ensemble des masses d'eau de Corse. L'herbier se retrouve de manière continue sur toute la masse d'eau de la pointe San Pellegrinu au nord à la pointe de Fautea au sud.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtière de la région Corse, l'herbier de Posidonie de la masse

d'eau FREC02d se caractérise par un nombre moyennement élevé de taches (67,71/100 ha) de très petite taille (0,75 ha) et très proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux taches les plus proches est de 16,91 mètres entre 0 et 40 mètres) On note la présence d'une grande tache (50,63% du paysage compris par la tâche la plus grande d'herbier) indiquant une formation continue de l'herbier.

Cette formation non morcelée se traduit par une importante agrégation des taches entre elles (AI=92,81%). L'indice de fragmentation de l'herbier pour cette masse d'eau (DIVISION=0,77) est endessous de la moyenne observée pour toute la Corse.

L'indice de régression de l'herbier à Posidonie dans cette masse d'eau indique un bon état de l'habitat. Néanmoins, dans la partie Sud de la masse d'eau, de nombreuses terres agricoles sont présentes ce qui peut induire un enrichissement de l'eau de mer en nutriments et en matières organiques. Associés aux particules minérales, ils peuvent constituer un écran à la lumière préjudiciable au développement des herbiers de posidonie (Pasqualini, 1997). Ce phénomène est sans doute à l'origine de la baisse de recouvrement des herbiers face à l'embouchure du fleuve Fium Orbu, entre les étangs et le port de

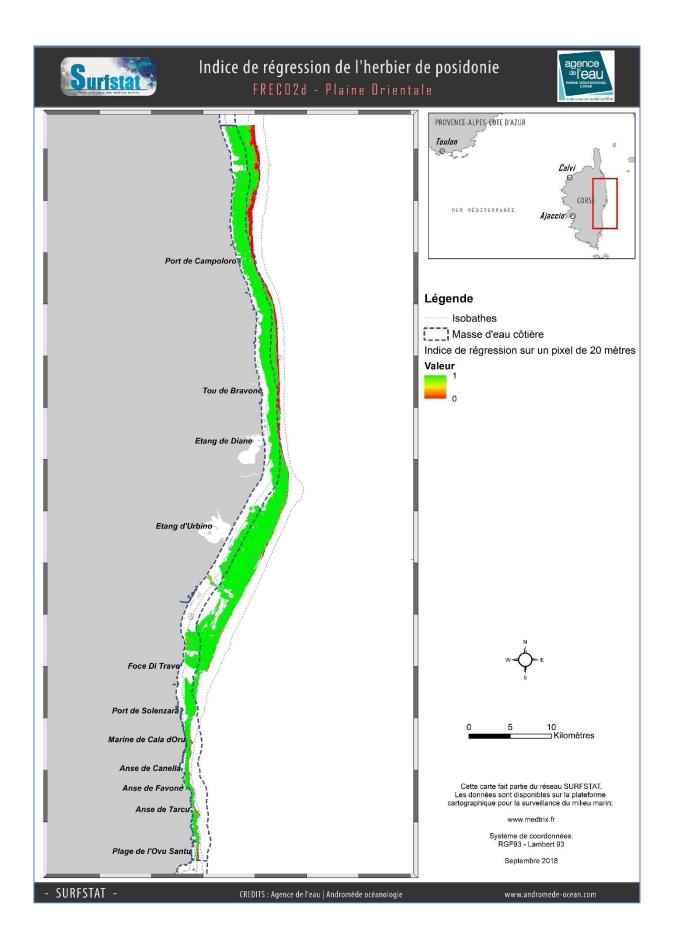
Tableau 9 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRECO2d.

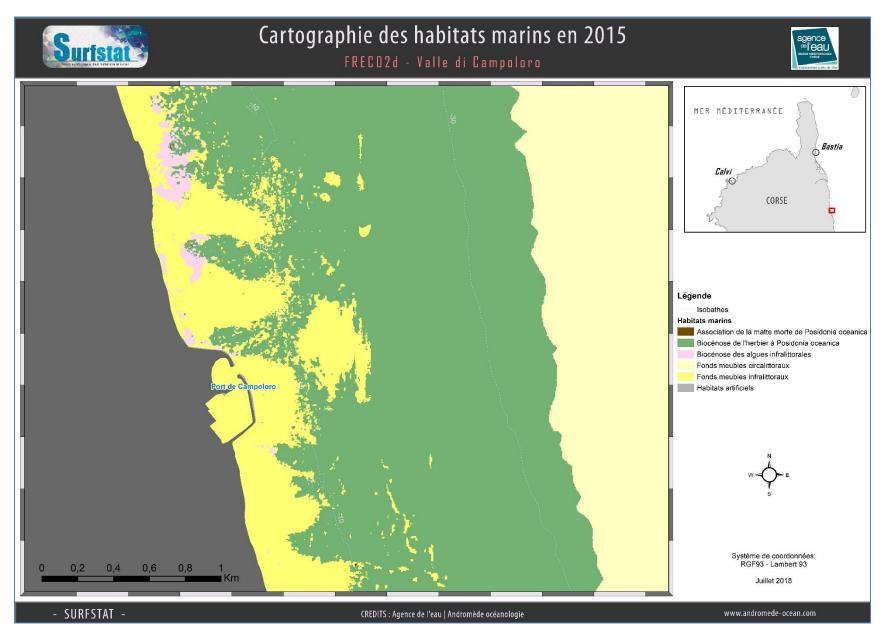
Région	CORSE	
Masse d'eau	FREC02d	Échelle de comparaison Région CORSE
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	Légende
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	50.63	13.82 65.66
Densité de tâches (Nb tâches /100 ha)	67.71	5.65 103.98 30.88
Pourcentage total du		6.02 65.44
paysage compris par la tâche la plus grande	47.87	31.95
Surface moyenne d'une tâche d'herbier (ha)	0.75	0.28 11.63 0 2.78
Indice de complexité des formes	1.05	1.05 1.12
Distance moyenne qui		11.76 67.6
sépare deux tâches d'herbier les plus proches (mètres)	16.91	25.62
Indice de fragmentation		0.57 0.99
de l'herbier	0.77	0.86
Indice d'aggrégation		80.83 97.66
entre les tâches (%)	92.81	89.57
Indice de régression de		0.66
l'herbier	0.91	0.94

Solenzara. De plus, l'indice de régression est en-dessous de la moyenne et cela peut s'expliquer par la présence d'une langue de matte morte continue de 42 km de long, allant parfois jusqu'à 700 mètres de largeur, étendue sur la moitié supérieure de la masse d'eau. La présence accrue de traces de chalutage et/ou de mouillage au milieu de l'herbier et en limite inférieure peut également participer à la baisse de l'indice de régression le long de la Plaine Orientale.

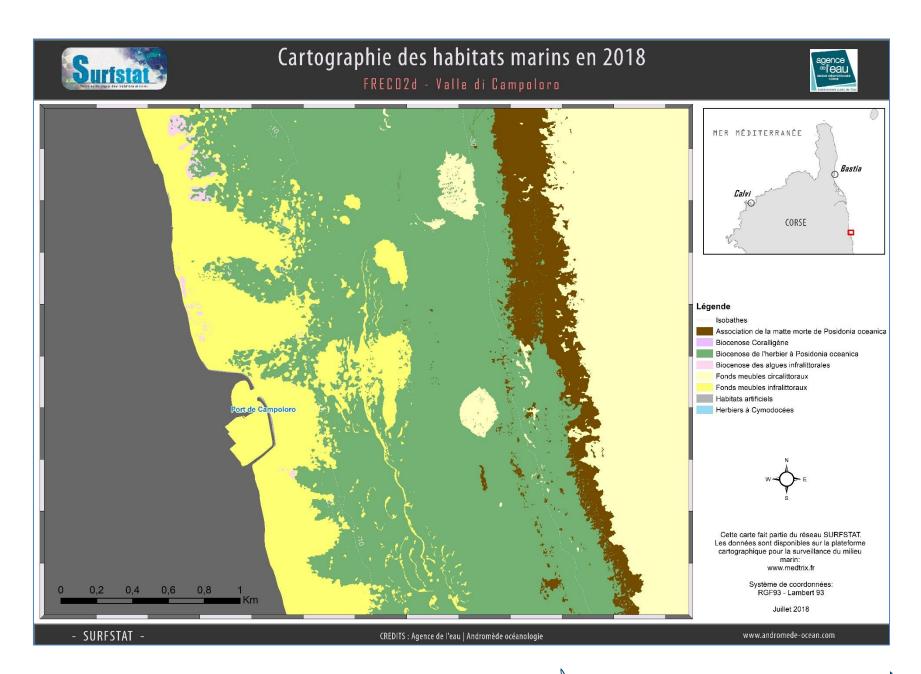
Deux zones ont été choisies, une au niveau du Port de Campoloro, et une seconde zone au Sud de Fautea jusqu'à Olmucciu, afin de visualiser plus clairement les différents habitats et détails cartographiés, notamment les taches de sable et les zones étendues de matte morte dans l'herbier continu en profondeur intermédiaire et en limite inférieure, dans le but de comparer à la cartographie effectuée en 2015 (actualisation en 2015 uniquement des petits fonds visibles par analyse des photographies satellitaires).









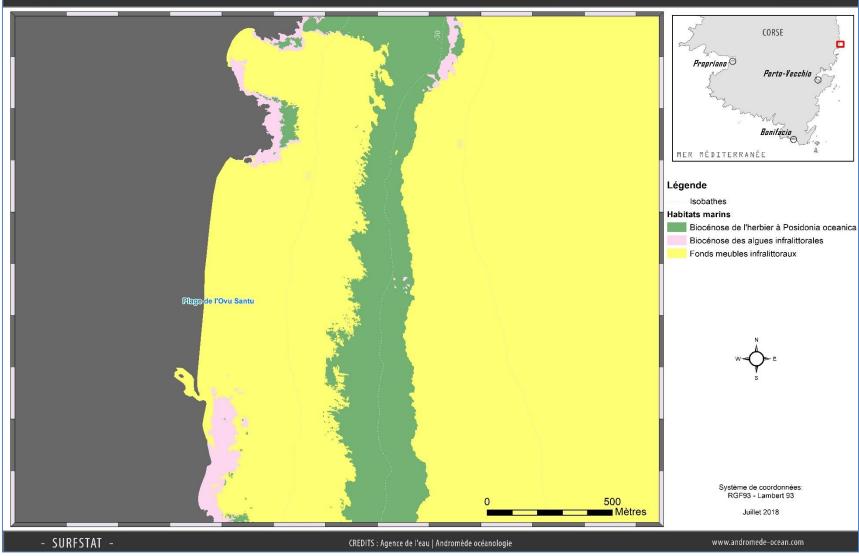




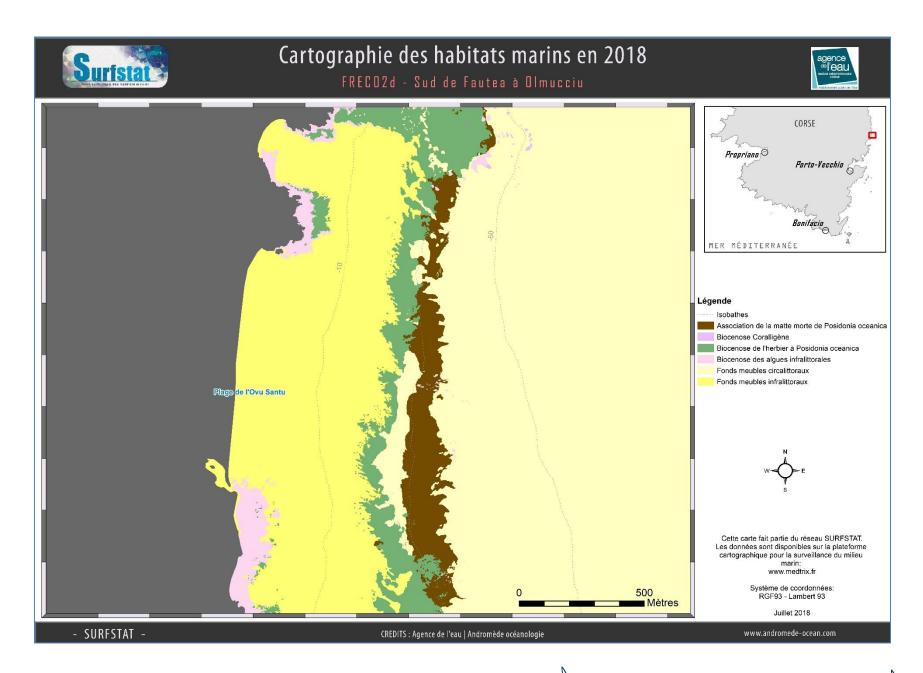




FRECO2d - Sud de Fautea à Olmucciu



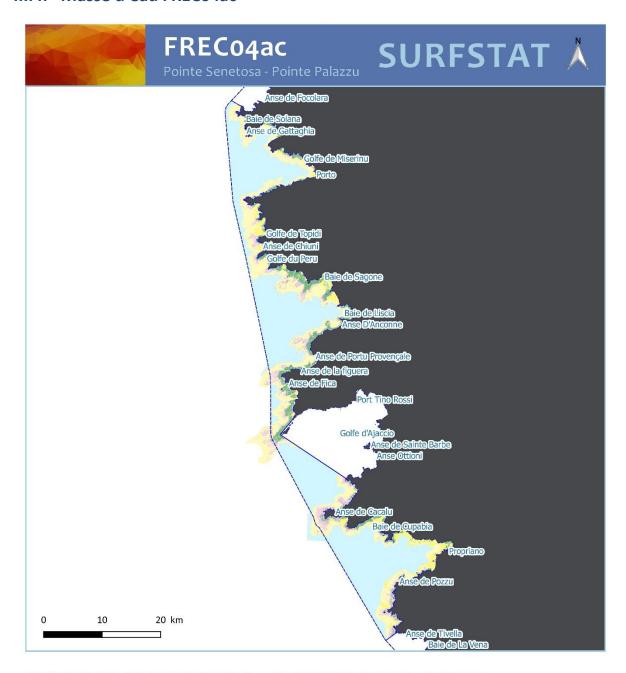




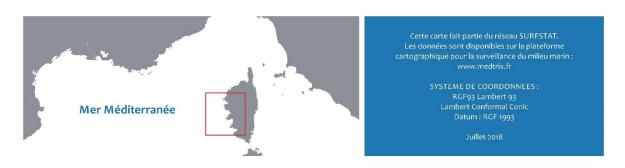




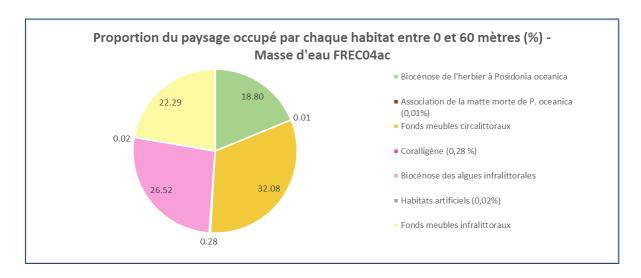
#### III.4. Masse d'eau FREC04ac



### **POINTE SENETOSA - POINTE PALAZZU**







La masse d'eau FREC04ac « Pointe Senetosa – Pointe Palazzu » comprend 7 habitats entre 0 et 60 mètres dont les quatre principaux (>10% de recouvrement du paysage) sont les fonds meubles circalittoraux (32,08%), la biocénose des algues infralittorales (26,52%), les fonds meubles infralittoraux (22,29%) et la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* (18,8%),

Cette masse d'eau présente une diversité paysagère forte. La valeur de l'indice de Simpson (0,84) est très élevée par rapport à la moyenne des valeurs de la région Corse. La paysage se caractérise par une faible densité de taches (50,57 /100ha)

Les indices d'agrégation et de fragmentation mettent en évidence des habitats très fragmentés avec Al<90% pour tous les habitats sauf les fonds meubles infralittoraux et circalittoraux entre 0 et 60 mètres.

Tableau 10 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FREC04ac.

Région	CORSE								
Masse d'eau	FREC04ac	Échelle de comparaison Région CORSE							
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	Légende							
Surface du paysage	00407	32 39550							
(ha)	23137	11156.36							
Nombre d'habitats	9	3 9							
dans le paysage	9	7.21							
Densité de tâches (Nb		4.67 459.96							
tâches /100 ha)	50.57	104.62							
Pourcentage total du		11.39 79.74							
paysage compris par la tâche la plus grande	11.39	43.62							
Densité d'habitats dans		0.02 9.24							
le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.04	0.9							
Diversité des habitats		0.46 0.85							
(Indice d'équitabilité de Simpson)	0.84	0.72							

# Indice de diversité de Simpson agence de l'eau PROVENCE-ALPES CÔTES D'AZUR MER MÉDITERRANÉE Légende Masse d'eau côtière Indice de Simpson sur un pixel de 50 mètres Elevée Faible Port Charles Ornano Port Tino Rossi 10 ⊐ Kilomètres Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin: Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93 Juillet 2018 - SURFSTAT -CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie www.andromede-ocean.com



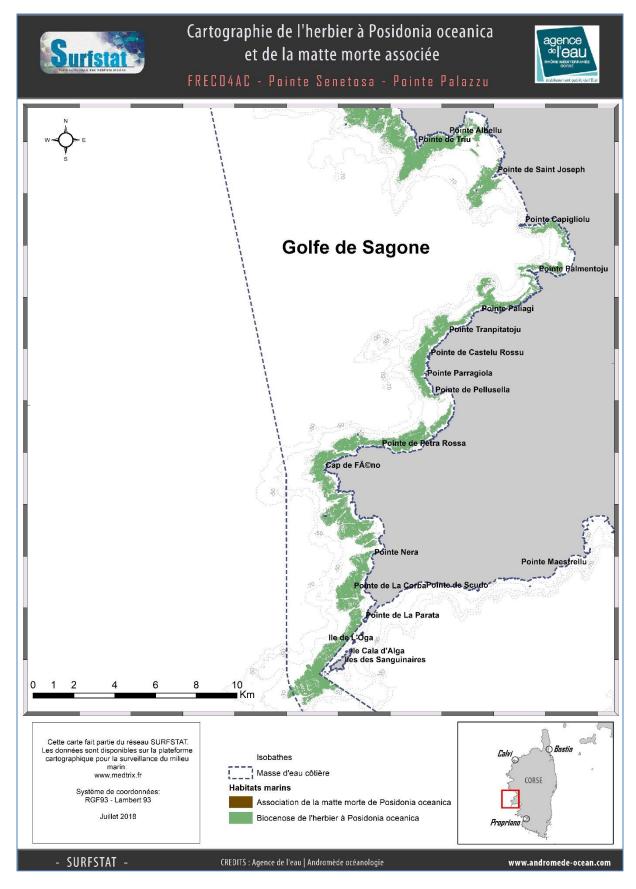


Figure 19 : Cartographie actualisée de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de l'association de la matte morte de *Posidonia oceanica* dans le Golfe de Sagone (FREC04ac), 2018.

63

Le Golfe de Sagone ayant été la seule zone actualisée de la masse d'eau FRECO4ac pour cette étude, les résultats seront décrits seulement pour cette zone (cf. le rapport de 2015 pour plus de détails sur les autres zones).

Le golfe de Sagone (centre de la masse d'eau FREC04ac) est particulièrement marqué par l'impact de nombreuses arrivées d'eau douce, notamment à l'embouchure du Liamone mais l'herbier y est bien développé.

Dans l'ensemble de la masse d'eau FREC04ac l'herbier occupe 29,27% du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. C'est un taux de recouvrement bien en-dessous de la moyenne régionale.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtière de la région Corse, l'herbier à Posidonie de la masse d'eau FREC04ac se caractérise par un nombre très élevé de taches (103,98 taches/100 ha), peu agrégées entre elles (Al=85,93%), de très petite taille (0,28 ha) et relativement proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux tâches les plus proches est de 12,69 mètres entre 0 et 40 mètres).

L'indice de régression indique un excellent état de l'herbier sur la masse d'eau FREC04ac. En effet, la surface de matte morte (0,7 ha) est très faible comparée à la surface de l'herbier (1716 ha).

La majorité des zones de matte morte sont en réalité des tombants de matte. C'est le cas pour plusieurs zones situées dans le golfe de Valinco (Figure20 ci-après).

Tableau 11 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FREC04ac.

Région	CORSE								
Masse d'eau	FREC04ac	Échelle de comparaison Région CORSE Légende							
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40								
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	29.27	13.82 65.66							
Densité de tâches (Nb tâches /100 ha)	103.98	5.65 103.98 30.88							
Pourcentage total du paysage compris par la tâche la plus grande	6.02	6.02 65.44 0 31.95							
Surface moyenne d'une tâche d'herbier (ha)	0.28	0.28 11.63 0 2.78							
Indice de complexité des formes	1.06	1.05 1.12							
Distance moyenne qui sépare deux tâches d'herbier les plus proches (mètres)	12.69	11.76 67.6 0 25.62							
Indice de fragmentation de l'herbier	0.99	0.57 0.99 0.86							
Indice d'aggrégation entre les tâches (%)	85.93	80.83 97.66							
Indice de régression de l'herbier	1	0.66 1 0.94							



Figure 20 : Détail des tombants de matte morte observés le long du littoral du Golfe de Valinco (FREC04ac). Source : Rapport SURFSTAT 2015.

Deux zones ont été choisies, de la Pointe de Puntiglione au Port de Sagone, et une seconde zone entre la Pointe Petra Rossa et le Golfe de Lava, afin de visualiser plus clairement les différents habitats et détails cartographiés, notamment les taches de sable, les reliefs sous-marins composés des roches à algues photophiles et, plus profondément, les assemblages coralligènes, dans le but de comparer à la cartographie effectuée en 2015 (actualisation en 2015 uniquement des petits fonds visibles par analyse des photographies satellitaires).



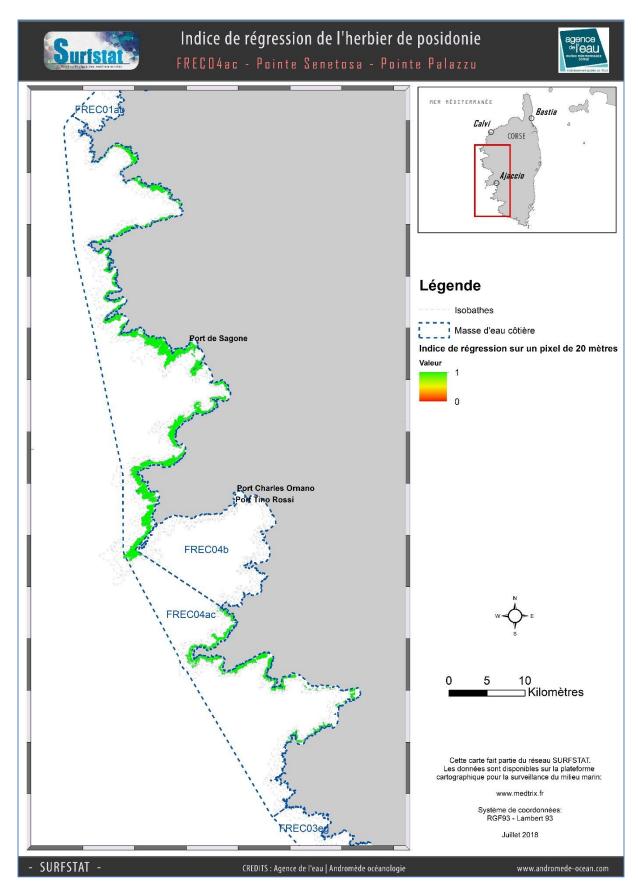
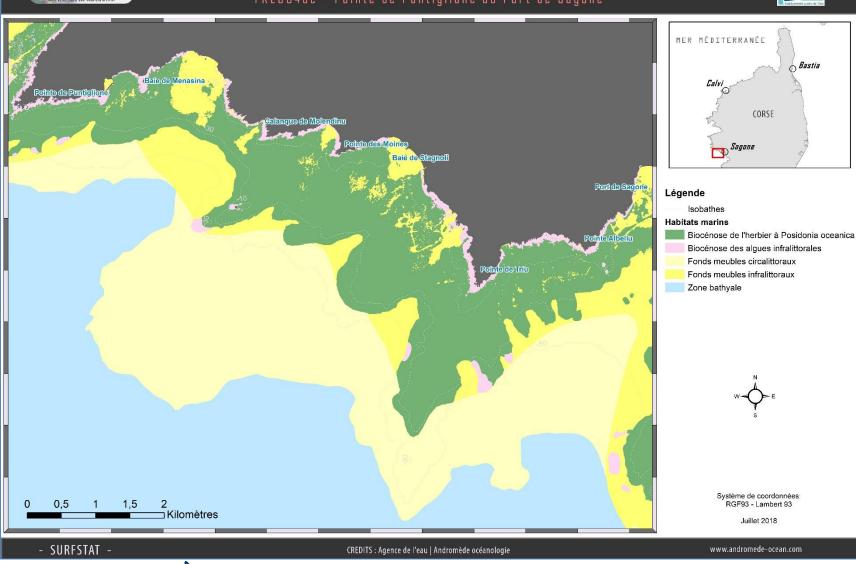


Figure 21 : Cartographie de l'indice de régression calculé sur toute la masse d'eau FREC04ac, 2018





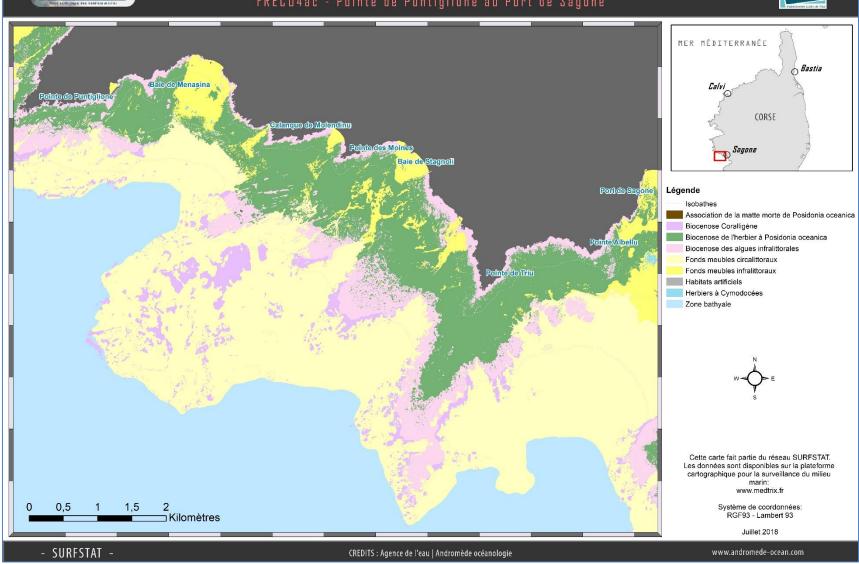
FRECO4ac - Pointe de Puntiglione au Port de Sagone











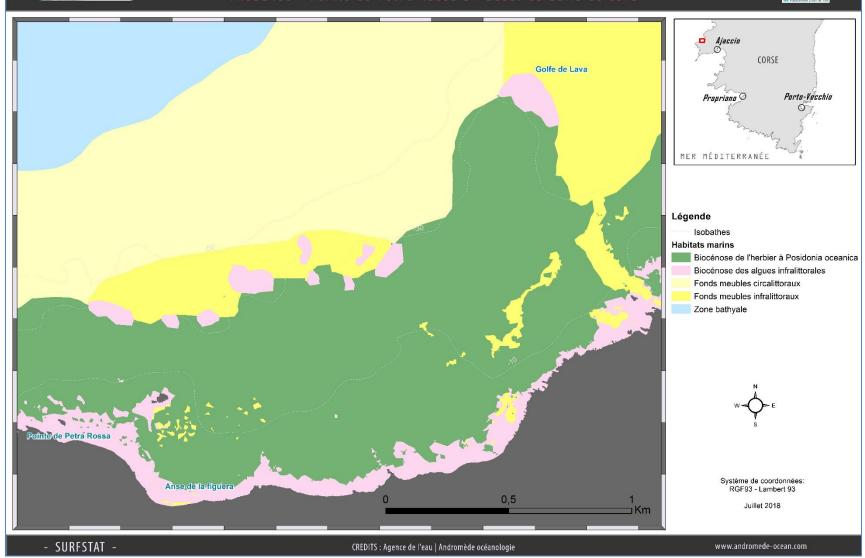








FRECO4ac - Pointe de Petra Rossa à l'Ouest du Golfe de Lava



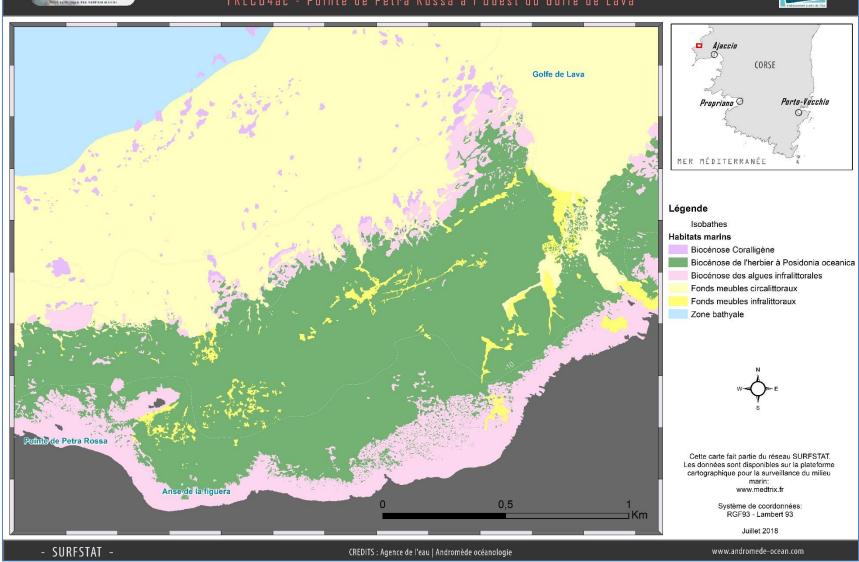


## Surfstat Storing and a storing a storing and a storing a storing and a s

## Cartographie des habitats marins en 2018



FRECO4ac - Pointe de Petra Rossa à l'Ouest du Golfe de Lava







#### IV.Synthèse des résultats

Le travail cartographique réalisé lors de cette présente étude a permis de compléter les cartes des habitats marins effectuées dans le cadre du programme SURFSTAT (Agence de l'eau RMC / Andromède Océanologie ; www.medtrix.com). Ainsi, de nouvelles cartographies plus détaillées des fonds (entre 15/20 mètres et 80 mètres de profondeur environ dans certaines zones) du golfe de Sagone, du nord de Bastia jusqu'aux abords du Golfe de Porto-Vecchio, et de l'Est de Calvi au Désert des Agriates ont été réalisées. Plusieurs campagnes d'acquisition sonar (couvrant plus de 37 000 ha répartis entre ces trois zones), de relevés bathymétriques et d'observations en plongée (vérités terrain) menées entre 2016 et 2018 ont permis de cartographier les habitats au niveau de quatre masses d'eau côtière de la région Corse.

Ces cartographies détaillées permettent de réaliser une nouvelle évaluation du paysage sous-marin de Corse et constituent un moyen de surveillance à large échelle. Différentes variables de composition et de configuration des habitats sont présentées dans ce rapport permettant notamment d'évaluer la surface et l'état de l'herbier à Posidonie, de cibler les zones de matte morte et de lister les principales pressions s'exerçant sur cet écosystème. Un grand nombre de métriques du paysage (indicateurs surfaciques) ont été décrites grâce à une analyse statistique de la cartographie continue des habitats de la Corse effectuée à l'aide du logiciel RStudio v.1.1. © en s'inspirant des indices disponibles dans le logiciel Fragstats v.4.2. © (McGarigal et al. 2009).

Quatre masses d'eau sont traitées dans cette étude ; l'actualisation de la cartographie des biocénoses marines est partielle pour les masses d'eau FREC01ab et FREC04ac et totale sur les deux autres masses d'eau. Les indices surfaciques, qui sont les mêmes que dans l'étude de 2015, ont été recalculés avec le logiciel RStudio v.1.1. à une résolution de 5m x 5m sur toute la Corse afin de pouvoir de nouveau comparer les masses d'eau à une échelle régionale. La synthèse des résultats se base donc sur les valeurs (moyenne, minimum et maximum) obtenues pour l'ensemble de la région Corse et qui ont été affinées depuis la dernière étude.

Les comparaisons des indices surfaciques calculés pour l'analyse du paysage entre 0 et 60 mètres et pour l'analyse de l'herbier entre 0 et 40 mètres sont présentées ci-après dans les Figures 22 et 23 pour les 14 masses d'eau de Corse. Les quatre masses d'eau côtière actualisées pour cette étude sont encadrées en rouge.

Région Masse d'eau	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE FREC02ab	CORSE	CORSE	CORSE	Échelle de comparaison			
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	0-60				0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	Région CORSE Légende
Surface du paysage (ha)	1185	20912	4829	14341	32	328	16411	2535	6787	1891	10514	23137	13737	39550	32 39550 11156.36			
Nombre d'habitats dans le paysage	6	9	8	8	3	5	9	8	8	8	8	9	5	7	7.21			
Densité de tâches (Nb tâches /100 ha)	257.04	80.2	84.62	22.03	197.09	459.96	56.27	76.36	45.22	48.37	8.7	50.57	73.6	4.67	4.67 459.96 104.62			
Pourcentage total du paysage compris par la tâche la plus grande	79.74	43.2	19.96	38.07	48.2	32.19	32.29	44.15	65.04	47.26	53	11.39	51.02	45.15	11.39 79.74 43.62			
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.51	0.04	0.17	0.06	9.24	1.52	0.05	0.32	0.12	0.42	0.08	0.04	0.04	0.02	0.02 9.24   0.9			
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.46	0.7	0.85	0.8	0.77	0.84	0.74	0.71	0.54	0.68	0.66	0.84	0.72	0.76	0.46 0.85			

Figure 22 : Comparaison des indices surfaciques calculés pour l'analyse du paysage pour les 14 masses d'eau de Corse. Les 4 masses d'eau actualisées pour cette étude sont encadrées en rouge.

L'étude du paysage entre 0 et 60 mètres de profondeur montre une hétérogénéité importante entre les masses d'eau côtière de Corse, tant en termes de surface (entre 32 ha – FREC03f (Goulet de Bonifacio) et 39550 ha – FREC02d (Plaine Orientale)), du nombre d'habitats présents (de 3 habitats – FREC03f (Goulet de Bonifacio) à 9



habitats – FREC04ac (Pointe Senetosa – pointe Palazzu)), de densité de tâches (8,7/100 ha – FREC02ab (Cap Est de la Corse) et 459,96/100 ha – FREC03c (golfe de Santa Amanza) et de diversité paysagère (indice de Simpson).

La diversité paysagère est en effet très variable : l'indice de Simpson est compris entre 0,46 (FREC03b- Golfe de Porto-Vecchio) et 0,85 (FREC04b - Golfe d'Ajaccio). Les zones présentant la plus forte diversité paysagère entre 0 et 60 mètres de profondeur en Corse sont le Littoral sud-ouest de la Corse (FREC03eg), la masse d'eau allant de la pointe Senetosa à la pointe Palazzu (FREC04ac) et le golfe d'Ajaccio (FREC04b). Ces trois masses d'eau se situent sur la côte occidentale de la Corse. Elles ont été cartographiées de manière détaillée jusqu'à l'isobathe -60 mètres à l'aide de trois sources d'informations : les photographies aériennes, les données sonar et les données bathymétriques. La diversité paysagère de la Corse est élevée et peut être reliée à la faible anthropisation de son littoral.

	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE FRECO3f	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	CORSE	Échelle de comparaison Région CORSE Légende
	FREC03b	FREC01ab	FREC04b	FREC03eg		FREC03c	FRECO3ad 0-40	FREC01c 0-40	FREC01e 0-40	0-40	FREC02ab 0-40	FRECO4ac 0-40	0-40	FRECO2d 0-40	
	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40										
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	13.82	40.63	42.13	42.5	51.14	36.48	65.5	49.86	40.01	14.52	63.85	29.27	65.66	50.63	13.82 65.66
Densité de tâches (Nb tâches /100 ha)	21.5	14.49	15.12	16.29	26.45	72.07	16.99	8.43	18.28	13.5	31.87	103.98	5.65	67.71	5.65 103.98 30.88
Pourcentage total du paysage compris par la tâche la plus grande	13.19	14.03	26.21	23.08	48.2	32.19	45.53	40.58	13.76	7.72	63.42	6.02	65.44	47.87	6.02 65.44 31.95
Surface moyenne d'une tâche d'herbier (ha)	0.64	2.8	2.79	2.61	1.93	0.51	3.86	5.91	2.19	1.08	2	0.28	11.63	0.75	0.28 11.63
Indice de complexité des formes	1.08	1.08	1.08	1.09	1.08	1/1	1.08	1.1	1.09	1.12	1.05	1.06	1.07	1.05	1.05 1.12 1.08
Distance moyenne qui sépare deux tâches d'herbier les plus proches (mètres)	17.91	18.05	31.15	11.76	67.6	19.72	23.16	31.04	38.02	33.81	24.18	12.69	12.72	16.91	11.76 67.6 25.62
Indice de fragmentation de l'herbier	0.98	0.97	0.93	0.94	0.77	0.9	0.77	0.83	0.96	0.99	0.6	0.99	0.57	0.77	0.57 0.99
Indice d'aggrégation entre les tâches (%)	84.26	89.56	88.84	92.77	89.33	83.63	92.97	91.07	88.98	80.83	95.32	85.93	97.66	92.81	80.83 97.66 89.57
Indice de régression de l'herbier	0.91	0.99	0.98	1	1	0.66	1	0.99	1	1	0.93	1	0.85	0.91	0.66 1

Figure 23 : Comparaison des indices surfaciques calculés pour l'analyse de l'herbier pour les 14 masses d'eau de Corse. Les 4 masses d'eau actualisées pour cette étude sont encadrées en rouge.

L'étude de l'herbier à Posidonie entre 0 et 40 mètres de profondeur montre une présence sur toutes les masses d'eau de Corse. Son pourcentage de recouvrement varie fortement, il occupe dans cette région entre 13,82 % du paysage (masse d'eau FREC03b – Golfe de Porto-Vecchio) et 65,66 % (masse d'eau FREC02c – Littoral Bastiais), la moyenne étant de 43,29%.

Le taux de recouvrement de l'herbier varie principalement du fait de la topographie de la partie immergée de l'île. La limitation de la lumière par la colonne d'eau ne permet pas à l'herbier à Posidonie de se développer après 40 mètres de profondeur. Les zones de plaine caractérisées par une pente douce et présentant de faibles profondeurs permettent le développement de *Posidonia oceanica* sur de grandes surfaces. Ainsi à l'Est l'isobathe -200 mètres est éloigné du rivage et les profondeurs dépassent rarement les -500 mètres. A l'inverse, lorsque le plateau continental est réduit, le développement de l'herbier ne s'étend pas très loin de la côte. C'est le cas à l'Ouest de la Corse où l'isobathe des 500 mètres se situe seulement à une dizaine de kilomètres des côtes. Il s'ensuit des abysses de plus de 2 500 mètres de profondeur, liées à des fosses sous-marines corsoliguro-provençales.

La densité de tâches d'herbier et leur taille est très variable selon les masses d'eau : de 5,65 taches /100 ha (FREC02c – Littoral Bastiais) à 103,98 taches/100 ha (FREC04ac – Pointe Senetosa à Pointe Palazzu) avec une moyenne de 30,88 taches/100 ha et une taille comprise entre 0,28 et 11,63 ha. La distance séparant deux taches d'herbier les plus proches varie entre 11,76 et 67,6 mètres avec une moyenne de 25,62 mètres. Ceci s'explique surtout par la topographie et le type d'herbier associé (par exemple à l'Est de la Corse on observe essentiellement un herbier de plaine sur fonds meubles qui se développe de manière continue).

L'indice d'agrégation (AI) correspond à la fréquence avec laquelle des paires de pixels d'une même classe sont adjacentes. Plus l'indice est élevé et plus l'herbier à Posidonie est connecté. A l'inverse plus l'indice est faible et plus les tâches d'herbiers sont fragmentées. Six des 14 masses d'eau de Corse présentent un herbier dont la continuité et la compacité des pixels est forte (herbier continu, AI>90%) : les masses d'eau FREC03eg – Littoral Sud-Ouest de la Corse, FREC03ad – Littoral Sud Est de la Corse, FREC01c – Golfe de Saint Florent, FREC02d – Plaine Orientale, FREC02c – Littoral Bastiais (AI>95%) et FREC02ab – Cap Est de la Corse (AI>95%).

Sur le littoral Corse, l'indice d'agrégation moyen entre 0 et 40 mètres est de 89,57 % : il varie entre 80,83 % (masse d'eau FREC01d – Canari) et 97,66 % (FREC02c – Littoral Bastiais). Là encore on observe des différences liées aux reliefs sous-marins : les masses d'eau à l'Est de la Corse (FREC02ab, FREC02c, FREC02d) ainsi que le golfe de St Florent (FREC01c) se caractérisent par un herbier continu de type plaine qui s'étend vers le large grâce au large plateau continental. Concernant les masses d'eau dont l'indice d'agrégation est le plus faible (herbier plus fragmenté), différents facteurs peuvent expliquer cette configuration. Tout d'abord la présence de nombreux fleuves côtiers, modifiant la salinité et la turbidité de l'eau et pouvant alors impacter le développement de l'herbier à Posidonie. Ensuite la présence d'une côte rocheuse, substrat qui selon Pasqualini (1997) est moins compatible au développement optimal des herbiers à Posidonie par rapport aux substrats sableux. Enfin, la présence de pressions anthropiques telles que la pêche, l'aquaculture ou bien la plaisance peuvent contribuer à la détérioration de l'herbier à Posidonie.

Pour localiser au mieux les zones de régression de l'herbier à Posidonie, des cartes ont été réalisées à l'échelle d'un pixel de 20 mètres. Du fait de l'absence de cartographies anciennes suffisamment précises des herbiers à Posidonie en Corse, on considère alors les surfaces de matte morte actuelles comme étant des zones de régression de l'herbier à Posidonie. A l'échelle de la région Corse, le taux de recouvrement de la matte morte est très faible : l'habitat occupe 1926 hectares soit 0,006% de tout le littoral Corse (calcul effectué à l'échelle des masses d'eau élargies de Corse). Les principales zones de matte mortes sont souvent les conséquences des pressions anthropiques exercées sur cet écosystème :

- La pêche peut engendrer la destruction d'herbier à Posidonie. La flotte de pêche en Corse regroupe 191 navires composés de petits navires (moins de 12 mètres) (Observatoire du Développement Durable de Corse, DREAL de la Corse, 2016). La pêche impactant directement l'herbier à Posidonie est la pêche au chalut. Des traces de chalut sont surtout visibles au sonar en limite inférieure d'herbier et au-delà sur les masses d'eau de l'Est de la Corse (FREC02c Littoral Bastiais et FREC02d Plaine Orientale) et dans le Golfe de la Revellata et le Golfe de Calvi (FREC01ab Pointe Palazzu Sud Nonza).
- Les fermes aquacoles : des études sur les fermes aquacoles ont démontré leur effet impactant sur l'herbier à Posidonie. Différents paramètres tels que la modification de la luminosité, l'augmentation de la matière organique et d'autres composés sont à l'origine des régressions (Boudouresque et al., 2006). Les cartes des habitats marins, présentées dans le rapport SURFSTAT précédent (Delaruelle et al., 2015), montrent la présence de matte morte à proximité des cages aquacoles et l'absence d'herbier sous les cages au niveau des fermes aquacoles de Campomoro (masse d'eau FRECO4ac Pointe Senetosa Pointe Palazzu).
- Le développement des infrastructures portuaires et des activités de plaisance engendre également de nombreuses dégradations sur le milieu marin. Les zones de mouillage sont souvent situées au niveau des herbiers à Posidonie. Les ancres et chaînes raclent, labourent et détruisent les herbiers (visible dans le Golfe de la Revellata par exemple ou le long de la Côte Est dans l'herbier continu).

Cependant, certaines limites existent. La grande difficulté de ce travail cartographique réside dans la lecture et l'interprétation des données sonar. Il est notamment très difficile de cartographier les anciennes zones de



matte morte car celles-ci sont très souvent recouvertes de sable et donc pratiquement « invisibles », c'est pourquoi il est nécessaire d'avoir des données bathymétriques pour faire ressortir les reliefs créés par les tombants et les plateaux de matte. De plus, les zones de matte morte en limite inférieure contiennent souvent des taches d'herbier de posidonie très clairsemées et nombreuses, donc très ardues à dessiner. C'est pourquoi on considère dans cette étude que les zones de matte morte peuvent inclure entre 0 et 10% d'herbier à *Posidonia oceanica*.

L'herbier à Posidonie est retrouvé tout le long du littoral Corse. Il se développe sur de très grandes zones au niveau de la partie orientale de la Corse. Il est plus fragmenté sur la partie occidentale. Cette différence peut s'expliquer par la topographie de la zone (taille du plateau continental), le type de substrat (rocheux à l'Ouest, sableux à l'Est) et la présence de fleuves côtiers conditionnant le développement de l'herbier à Posidonie. Grâce à la cartographie des habitats marins, les principales zones de matte morte ont été identifiées. La dégradation de l'herbier à Posidonie apparaît surtout liée aux pressions anthropiques telles que les aménagements littoraux, l'aquaculture, la pêche ou bien la plaisance. Cependant, la présence d'une langue de matte morte à la limite inférieure de l'herbier le long de la Côte Est (FREC02c, FREC02d), prouve que les facteurs abiotiques (la luminosité en particulier) sont d'importantes conditions pour la croissance et le maintien des herbiers à posidonie. Il est donc important de continuer à les préserver et à réguler les pressions anthropiques qui s'exercent sur cet écosystème fragile.

## V. Bilan du projet SURFSTAT

Le réseau SURFSTAT clôture avec ce projet, en 2018, un premier cycle de trois années. La majorité des biocénoses marines présentes le long du littoral méditerranéen français a pu être cartographiée de la surface à – 80 mètres de profondeur environ dans les zones comprenant des récifs coralligènes. Afin d'obtenir une cartographie plus fine des habitats marins et de pouvoir mieux appréhender le statut écologique des habitats marins, diverses actualisations ont pu être faites en région PACA et en Corse. Grâce aux données bathymétriques et aux levés sonar, les habitats situés à plus de 15 mètres de profondeur ont pu être cartographiés, permettant ainsi d'avoir une vision plus précise de la répartition géographique et de l'évolution spatiale des herbiers de Posidonie et des récifs coralligènes.

# V.1. Etat d'actualisation des cartographies des biocénoses marines en Méditerranée française

Les cartes suivantes présentent l'état d'actualisation des cartographies des biocénoses marines le long du littoral méditerranéen français pour les trois régions Occitanie, Provence Alpes Côte d'Azur et la Corse.

#### V.1.1. Région Occitanie

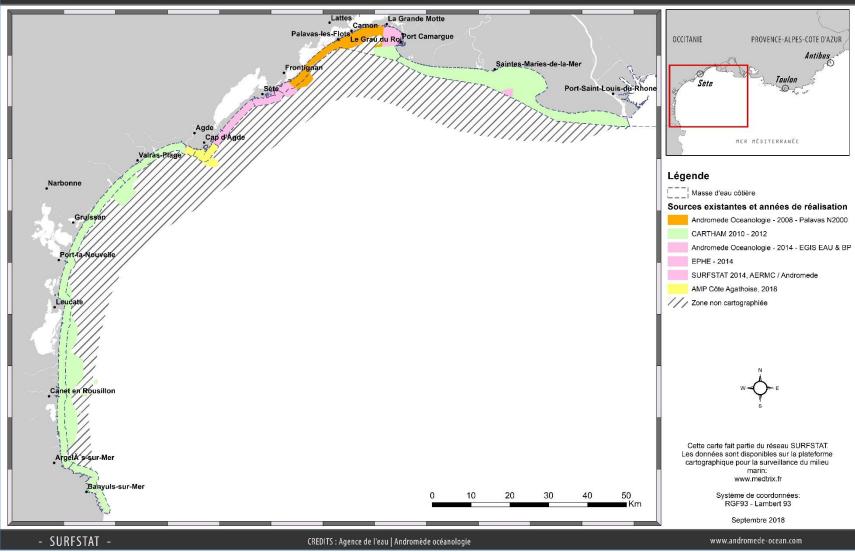
Le littoral de la région Occitanie nécessite une réactualisation globale des cartographies biocénotiques qui sont peu précises et trop anciennes (entre 2008 et 2014 en majorité, sauf au Cap d'Agde dont la zone a été actualisée en 2018).





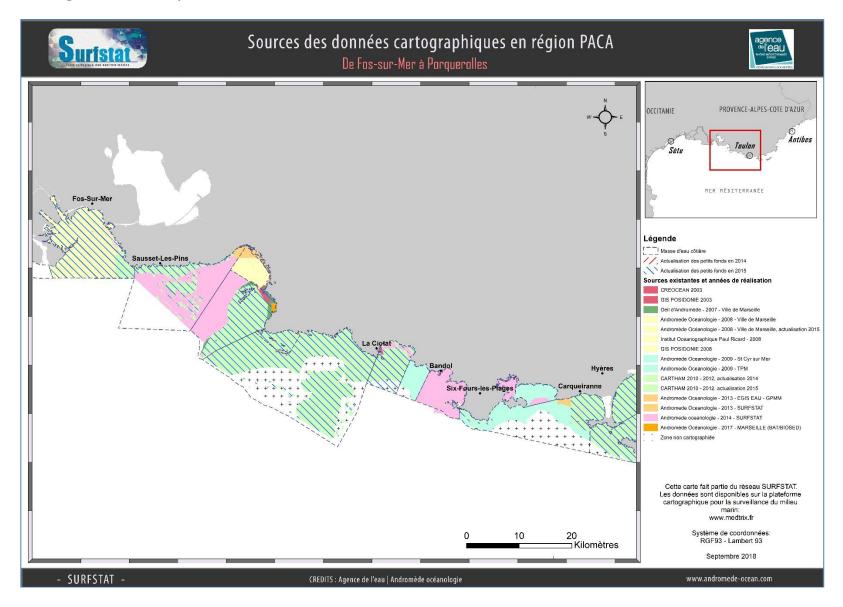
## Sources des données cartographiques en région Occitanie





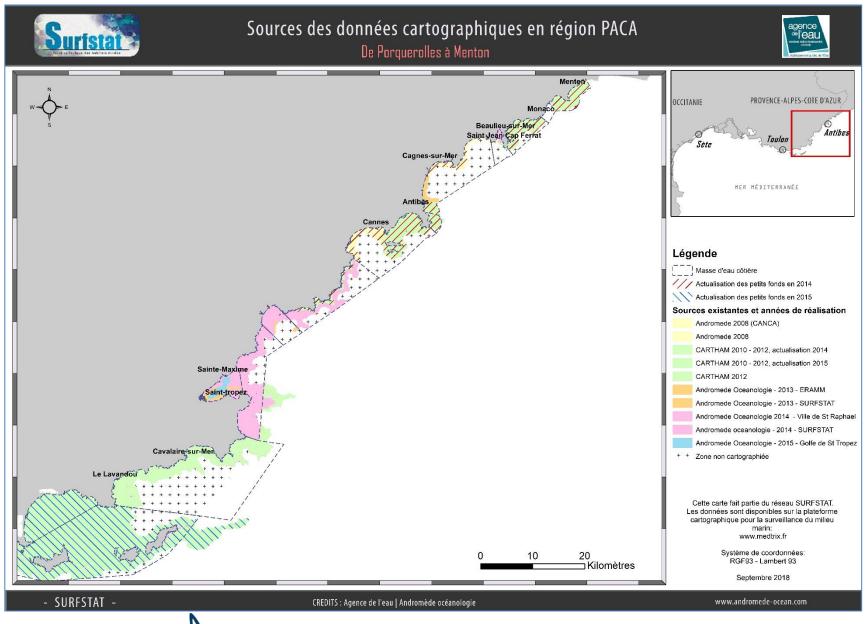


## V.1.2. Région Provence Alpes Côte d'Azur



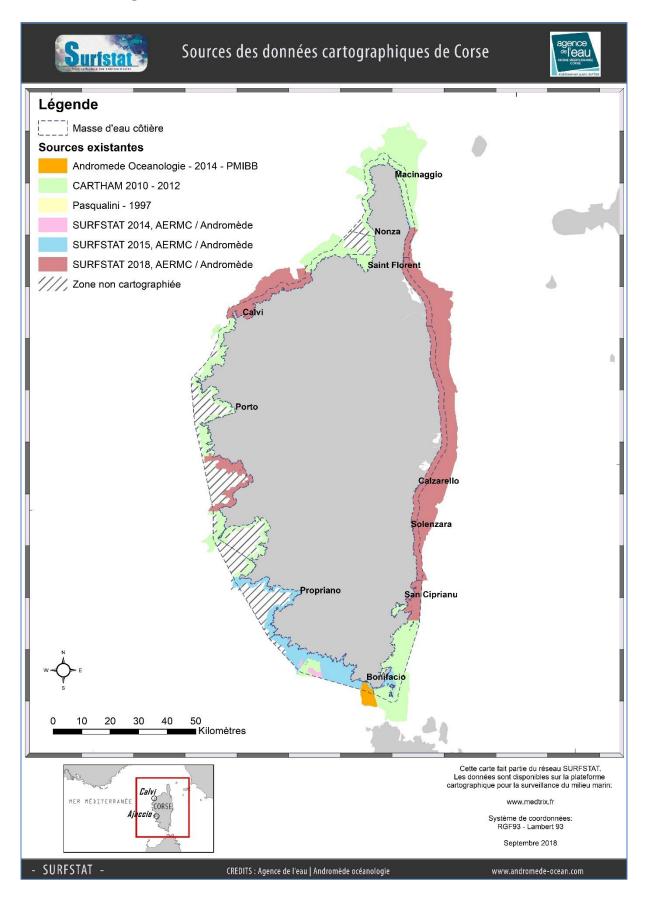








## V.1.3. Région Corse



Les moyens et les méthodes sont différents en fonction des projets et des missions terrain, certaines zones cartographiées en Méditerranée restent peu précises ou trop anciennes. Un échantillon de zones « prioritaires » est listé ci-après :

- Littoral Sud Est de la Corse (FREC03ad) de la Pointe A Chiappa aux Iles Lavezzi (exemples en Fig. 24) : limite inférieure d'herbier approximative, polygones pixellisés peu esthétiques et cartographie ancienne (CARTHAM 2010-2012)
- Golfe de Porto-Vecchio (FREC03b; Fig. 25) : polygones pixellisés peu esthétiques et cartographie ancienne (CARTHAM 2010-2012)
- Goulet de Bonifacio (FRECO3f; Fig. 26): cartographie peu précise et très ancienne (Pasqualini, 1997)
- Littoral des Pyrénées Orientales de Port Argelès au Cap Cerbère (exemples en Fig. 27) : manque de données et de prospections au large (coralligène) et cartographie des petits fonds à compléter

Une actualisation fine de ces cartes nécessite d'acquérir des données sonar et bathymétriques de bonne qualité afin de cartographier au plus près de la réalité les biocénoses marines et de pouvoir étudier leur évolution sur le long terme.

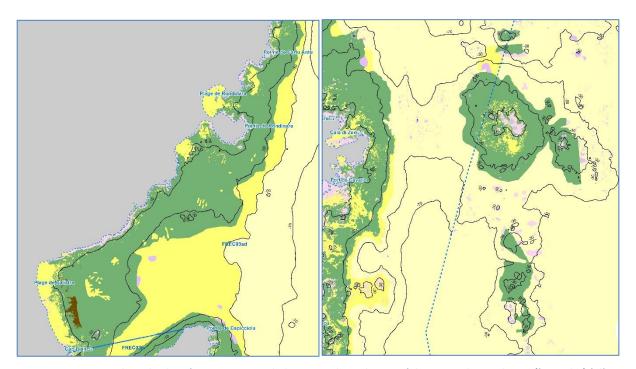


Figure 24 : Cartographies des biocénoses marines de la Pointe de Carlu Antu à la Pointe de Rondinara (à gauche) à l'Est des Iles Lavezzi (à droite ; FREC03ad – Littoral Sud Est de la Corse) réalisée dans le cadre du projet « CARTHAM 2010 – 2012 ». La limite inférieure d'herbier est approximative et les polygones forment des taches pixellisées traduisant une cartographie réalisée à partir d'une photographie aérienne (reconnaissance automatisée de pixels).



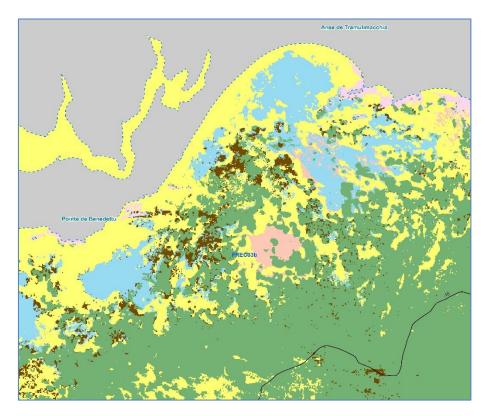


Figure 25 : Cartographie du Nord-Est du Golfe de Porto-Vecchio (FREC03b) réalisée dans le cadre du projet « CARTHAM 2010-2012 ». Les polygones forment des taches pixellisées (reconnaissance automatisée de pixels) et semblent peu proches de la réalité.

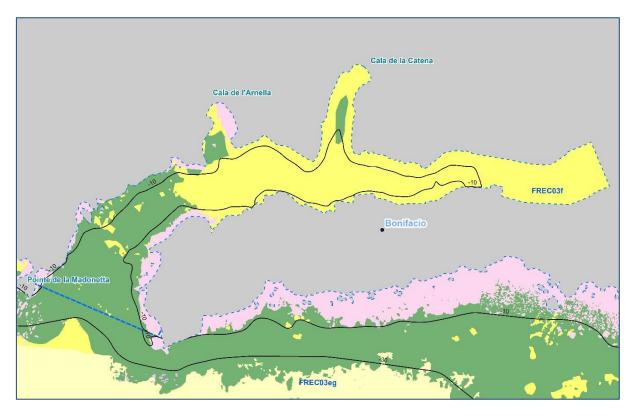


Figure 26 : Cartographie très ancienne et peu détaillée (Pasqualini, 1997) des biocénoses marines dans le Goulet de Bonifacio (FRECO3f). De nouvelles prospections seraient nécessaires afin d'affiner la résolution et de rendre la cartographie plus réaliste et esthétique.

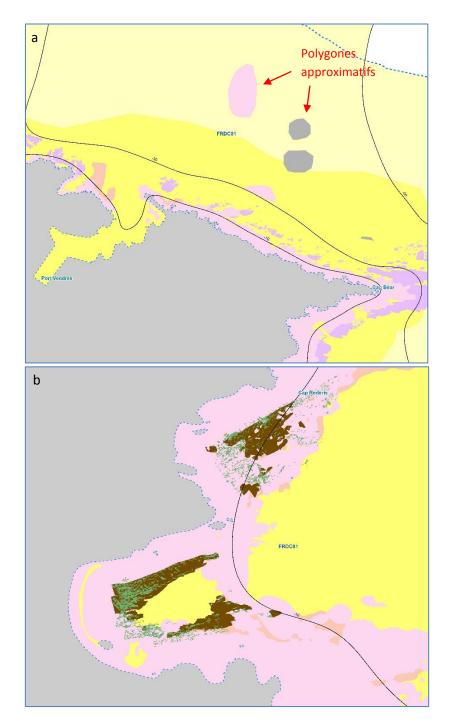


Figure 27 : Cartographies anciennes des biocénoses côtières entre Port Vendres et le Cap Béar (a) et au sud du Cap Rédéris (b) dans les Pyrénées Orientales (FRDC01 – Frontière espagnole – Racou Plage). Réalisées pour le projet « CARTHAM 2010-2012 », ces cartographies ont été en partie actualisées en 2014 mais elles restent incomplètes et peu détaillées au large. De nouvelles prospections sonar et bathymétriques seraient nécessaires afin de cartographier plus en détail les petits fonds (0-15 mètres de profondeur), les limites des herbiers de posidonie et des plateaux de matte morte et enfin le coralligène plus au large.



### V.2. Cartographie et indicateurs surfaciques 3D du coralligène

En mer Méditerranée les systèmes littoraux profonds sont colonisés par des assemblages coralligènes (Fig. 28) qui débutent, selon la transparence de l'eau, entre -12/-50 mètres et s'arrêtent entre -40/-120 mètres (Ballesteros, 2006). Après les herbiers de Posidonie, le coralligène constitue le deuxième écosystème benthique de Méditerranée en termes de biodiversité (Boudouresque, 2004).

Malgré la forte valeur écologique et économique de l'habitat coralligène, les suivis spatio-temporels sont rares. Cela peut s'expliquer en partie par la zone de répartition préférentielle profonde de cet habitat qui rend les observations en plongée plus complexes. Grâce à de nouvelles techniques telles que le sondeur multifaisceaux, il est possible d'avoir des données bathymétriques fines (1 mètre) et donc des informations fiables sur la topographie des fonds marins. En couplant ces informations aux données acoustiques acquises par sonar latéral (acquisition jusqu'à 100 mètres de profondeur), des cartographies détaillées des habitats profonds comme le coralligène peuvent être réalisées.

Entre 2013 et 2015 en région PACA, plus de 28 956 ha ont été cartographiés au sondeur multifaisceaux afin de compléter les données existantes sur les assemblages coralligènes ramenant ainsi à plus de 90% la surface cartographiée comprise entre -25 et -80 mètres de profondeur. La combinaison des données bathymétriques existantes et de celles acquises dans le cadre du réseau SURFSTAT a permis de couvrir plus de 95% des assemblages coralligènes de la région PACA.

Cependant, le coralligène est un habitat qui peut se présenter sous différentes formes et se développer sur des surfaces verticales (ex : tombants de coralligène). La cartographie 2D, qui représente les surfaces « aplaties » des habitats et ne prend donc pas en compte le relief, peut entraîner des mesures erronées de paramètres comme la superficie réelle de l'habitat (Hoechstetter et al. 2008).

Afin de palier à ces erreurs de calculs, il est nécessaire de coupler les données bathymétriques aux données cartographiques représentant l'habitat coralligène. À la suite de cette étape, des indicateurs surfaciques peuvent être extraits et la biomasse peut être déterminée (Ballesteros, 2006). Les données présentées dans l'étude (Guilbert et al., 2016) permettent pour la première fois d'avoir une idée globale de la distribution, de la surface réelle couverte et de la biomasse des assemblages coralligènes à une échelle régionale.



Figure 28 : Récif coralligène

Une grande majorité des cartographies 2D réalisées jusqu'ici sont limitées aux biocénoses marines présentes entre 0 et 80 mètres. De nombreuses zones au large en Occitanie et en Corse n'ont pu être entièrement explorées et cartographiées en détail à l'aide du sonar et nécessitent d'être complétées et/ou actualisées (exemples en Figure 29 et Figure 30 ci-après). Cela permettrait de faire un inventaire cartographique plus complet et détaillé des assemblages coralligènes, de mettre à jour les indicateurs surfaciques calculés à partir des cartographies 3D pour la région PACA et d'étendre nos connaissances aux autres régions du littoral méditerranéen français. L'étape suivante serait ensuite d'affiner ces données avec l'utilisation de nouveaux outils comme la photogrammétrie, précis au centimètre, et de poursuivre les recherches en matière de biomasse des assemblages coralligènes.

L'intégration de ces données au réseau SURFSTAT contribuerait à une réflexion plus large sur l'étude et la compréhension des liens entre l'état du coralligène et les pressions anthropiques rencontrées le long du littoral méditerranéen français.

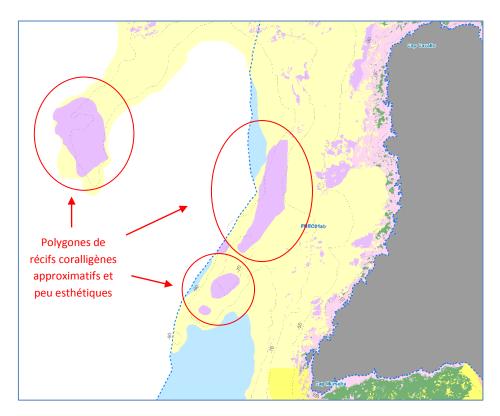


Figure 29 : Cartographie des biocénoses marines entre le Cap Cavallo et le Cap Murselta en Corse (FREC01ab). L'habitat coralligène (violet et encerclé en rouge) représenté au large entre des profondeurs de -50 et -100 mètres est cartographié très approximativement dû au manque de données acoustiques (sonar) dans ces zones.

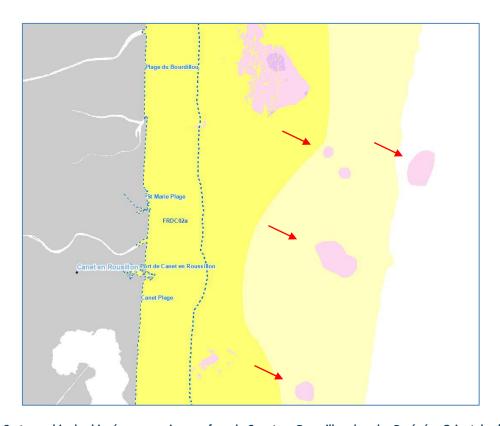


Figure 30 : Cartographie des biocénoses marines en face de Canet-en-Roussillon dans les Pyrénées Orientales (FRDC02a). Les flèches rouges pointent les zones de roche dont la forme et la nature exacte (coralligène ou roche du large) restent inconnues dû au manque de données acoustiques (sonar) et bathymétriques.



## V.3. Pressions anthropiques sur les habitats marins : l'ancrage des bateaux

La navigation mondiale (transport maritime et navigation de plaisance) a une valeur économique importante. Selon une étude récente du transport maritime, «environ 80% du commerce mondial en volume et plus de 70% du commerce mondial en valeur sont transportés par voie maritime et sont traités par les ports du monde entier» (CNUCED, 2015). Entre 2015 et 2016, la croissance du commerce maritime mondial a accéléré à +2,6% et, selon les estimations de la CNUCED, a dû encore augmenter de 2,8% entre 2016 et 2017 (CNUCED, 2017). Ce nombre élevé de bateaux a de nombreux effets négatifs sur l'environnement : collision, pollution, aménagements littoraux (ports) et ancrage (Cappato, 2011). Concentré dans les eaux peu profondes, l'ancrage cause des dommages directs et indirects à certains des écosystèmes marins sensibles (Costanza et al., 1997, Forrester et al., 2015) lors des phases de déploiement et de récupération de l'ancre (Milazzo et al., 2004, Walker et al., 2012). Ainsi, l'ancrage est responsable de la perturbation mécanique d'habitats marins très sensibles comme les herbiers (Short et Wyllie-Echeverria, 1996) et les récifs biogéniques (Ballesteros, 2006; Davis, 1977), dont la régénération est limitée par une repousse lente.

Une récente étude (Deter et al., 2017) a permis d'estimer la pression d'ancrage sur les habitats marins côtiers à l'aide des données AIS (Automatic Identification System). Cette étude s'est principalement focalisée sur la petite plaisance (données MEDOBS) et la grande plaisance (navires > 24m; données AIS). Ainsi, ce sont 12 447 navires qui ont été localisés le long des 1800 km de côte de Méditerranée française entre 2010 et 2015 grâce aux données AIS de Marine Traffic. Un prétraitement a sélectionné les navires ancrés et estimé leur position d'ancrage et l'impact. Par la suite, 60 097 zones d'impact d'ancrage correspondant à 5 868 navires différents ont été analysées pour une zone d'impact cumulé total de 79 215 ha. Une analyse couplée à une carte des fonds marins a montré que près d'un tiers des habitats entre 0 et -80 m étaient soumis à une pression d'ancrage. Les herbiers de *Posidonia oceanica* ont été les plus touchés en termes de durée.

L'ensemble des données de fréquentation et de pression cumulée du mouillage disponibles sur la plateforme MEDTRIX (projets MEDOBS, IMPACT et DONIA Expert) a permis de cibler en région PACA cinq zones identifiées comme très fréquentées par la plaisance et sur lesquelles l'herbier de posidonie semble potentiellement le plus impacté. Ces zones sont les suivantes : : Baie de la Ciotat, Golfe de St Tropez, Rade de Cannes, Golfe Juan, et Rade de Beaulieu. Certaines de ces zones n'ont pas été cartographiées depuis 7 ans et représentent une superficie totale d'environ 2000 ha.

Le prochain cycle pour le réseau SURFSTAT consistera en l'actualisation de ces 5 zones très fréquentées par la plaisance. Une comparaison avec les données plus anciennes pourra ainsi être faite. Des vérités terrains seront également réalisées sur les mêmes transects que lors des précédentes cartographies afin d'évaluer la dynamique évolutive de l'herbier de posidonie.

#### Exemple 1: Golfe Juan, Cap d'Antibes, PACA

Les cartes suivantes montrent (a) les points d'ancrage des navires au mouillage entre 2010 et 2015 (données AIS; Fig. 31), (b) la carte de pression cumulée de mouillage (données AIS et MEDOBS (2010-2017); Fig. 31) et la cartographie biocénotique actualisée en 2011 dans le Golfe Juan en région PACA (Fig. 32).

A partir de ces cartes on peut facilement relier la forte densité de bateaux réellement au mouillage et l'état de dégradation de l'herbier. Il est donc nécessaire, sinon primordial, de réaliser régulièrement et localement une actualisation des cartographies en fond de baie ou aux environs des ports de plaisance afin de suivre l'état de santé des herbiers de posidonie et de proposer des solutions pour réduire l'impact du mouillage.



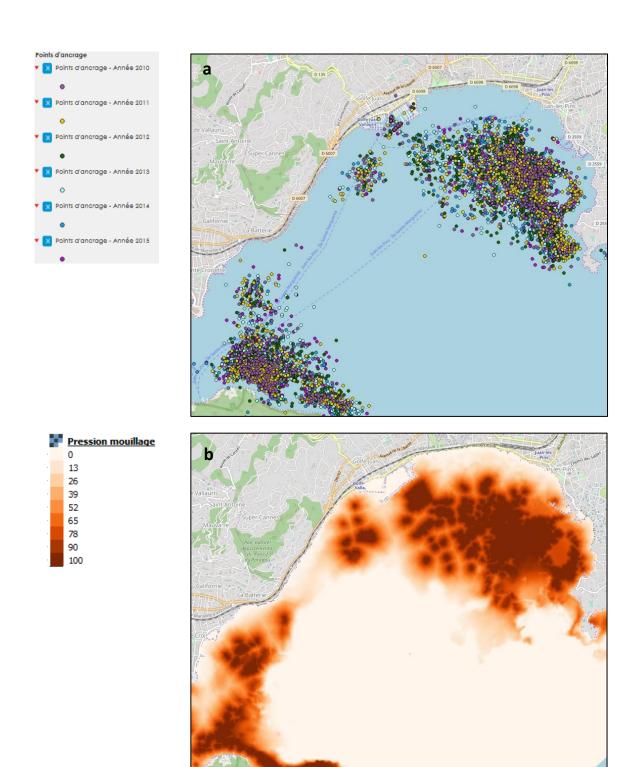


Figure 31 : Baie d'Antibes (FREC08e). (a) Points d'ancrage des navires réellement au mouillage entre 2010 et 2015 (données AIS) ; (b) Carte de pression cumulée de mouillage (données AIS et données MEDOBS (2010-2017)).



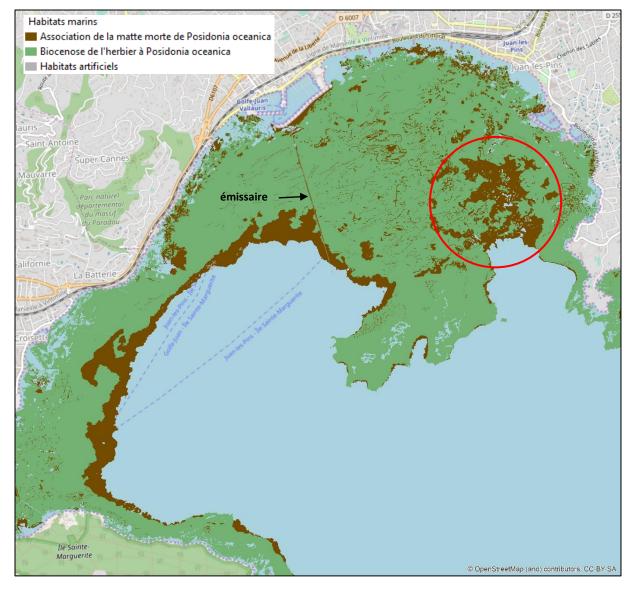


Figure 32 : Cartographie de l'herbier actualisée en 2011 dans le Golfe Juan à l'Ouest du Cap d'Antibes. De nombreuses traces de mouillage sont visibles au centre de l'herbier. La zone de régression de l'herbier à l'Est du Golfe est fortement corrélée avec les points d'ancrage et les valeurs élevées d'impact mouillage illustrés dans la figure 31.

#### Exemple 2 : Golfe de Calvi, Corse

D'après les données AIS disponibles sur Medtrix (<u>www.medtrix.fr</u>) et de nouvelles données de pression du mouillage (disponibles en ligne prochainement), le Golfe de Calvi semble fortement impacté par l'ancrage des bateaux (Figure 33).

Les levés sonar effectués en 2010 dans le cadre du programme CARTHAM (2010-2012) et en 2017 dans le cadre du projet SURFSTAT ont montré une zone de régression de l'herbier local très importante au centre du Golfe de Calvi (Figure 34). Cette zone de matte morte d'une superficie de 26,4 ha a pu être cartographiée avec l'aide de la Stareso et est visible dans la Figure 35.

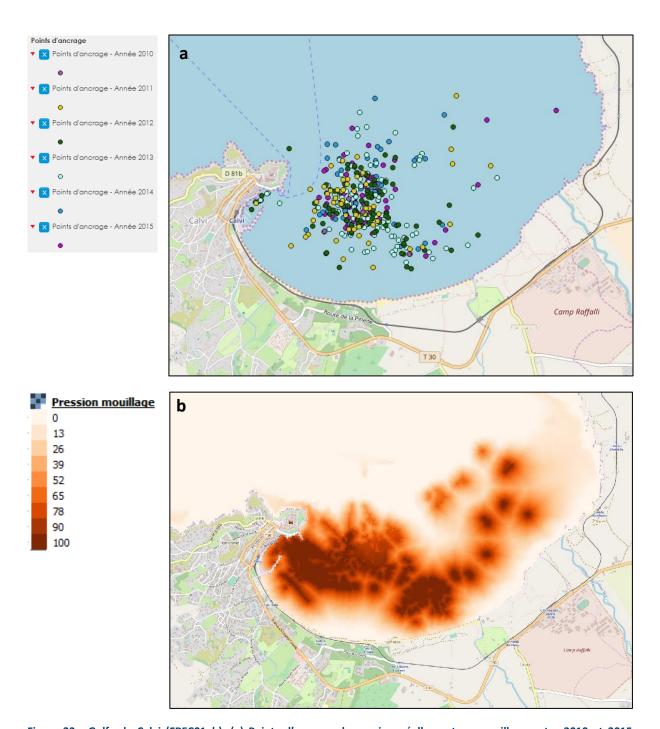
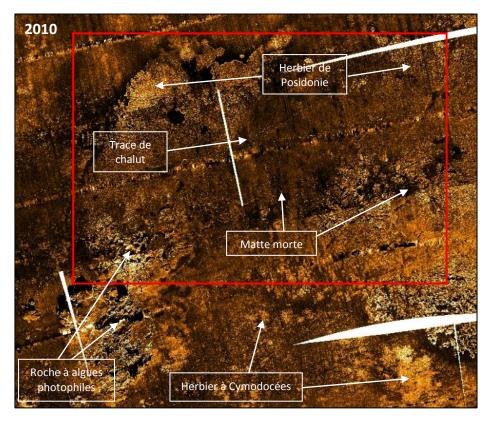


Figure 33 : Golfe de Calvi (FREC01ab). (a) Points d'ancrage des navires réellement au mouillage entre 2010 et 2015 (données AIS) ; (b) Carte de pression cumulée de mouillage (données AIS et données MEDOBS (2010-2017)).





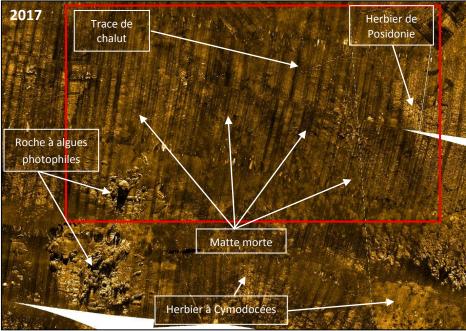


Figure 34 : Levés sonar effectués dans le Golfe de Calvi en 2010 et en 2017. Le carré rouge délimite la zone principale de régression de l'herbier observée et cartographiée grâce au levé sonar de 2017. On observe dans l'herbier des zones clairsemées composée principalement de matte morte.

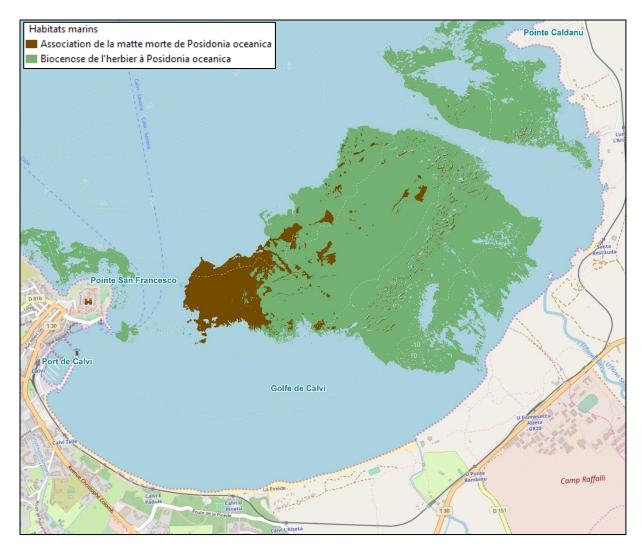


Figure 35 : Cartographie de l'herbier de Posidonie actualisée en 2018 dans le Golfe de Calvi en Corse (FREC01ab). Une zone de matte morte d'une superficie de 26,4 hectares est visible entre 20 et 30 mètres de profondeur au centre de la baie ainsi que de nombreuses traces de mouillage en profondeur intermédiaire et en limite inférieure d'herbier.



#### VI. Valorisation

La réalisation de documents de communication pour le grand public et les institutions rentre dans la démarche de sensibilisation et d'action pour le suivi et la protection du milieu marin qu'Andromède poursuit depuis plusieurs années.

Ainsi, à partir des cartographies des habitats marins, deux projets ont pu voir le jour :

DONIA, une application de cartographie marine, communautaire et gratuite. Elle est téléchargeable sur les stores Android et Apple et permet ainsi aux plaisanciers ou capitaines de yacht de se positionner par rapport à la nature des fonds et d'éviter d'ancrer dans les herbiers sous-marins. Cette application, développée en 2013, est également destinée aux pêcheurs, aux



plongeurs et à tous les usagers de la mer souhaitant bénéficier de cartes marines enrichies et d'informations en temps réels. Les cartes, précises au 1/10 000ème, intègrent également la bathymétrie et des alarmes prévenant collisions, dérapage et emmêlage afin de permettre aux utilisateurs d'être plus en sécurité à bord et d'avoir plus de choix de sites de mouillage. La méthodologie concernant la cartographie des habitats marins peut être également retrouvée dans la publication scientifique écrite par Holon et al. (2015). Depuis 2016, les cartes marines sont enrichies avec des données sur des sites particuliers (localisation des ports, sites de plongée, sentiers sous-marins, récifs artificiels...) et des zones de réglementation (zones où la plongée, la pêche et le mouillage sont interdits, cantonnements de pêche).



DONIA EXPERT, projet de cartographie détaillée des habitats marins disponible sur la plateforme MEDTRIX. Grâce à 30 années de données provenant de multiples travaux compilés et de campagnes de terrain en Méditerranée française, de nombreuses lacunes ont pu être comblées. Ainsi, (1) la cartographie des petits fonds le long de la façade



méditerranéenne française a pu être actualisée à l'aide de photographies aériennes, et les fonds plus profonds (en-dessous de 15 mètres) ont été analysés grâce à (2) des campagnes d'acquisition bathymétrique et (3) des campagnes de vérités-terrain (plongées ponctuelles et transects plongeur audio). Au total, 11 classes d'habitats sont cartographiées (similaires à SURFSTAT en excluant la zone bathyale et la biocénose des roches bathyales). Ce projet permet aux utilisateurs de Medtrix de s'informer sur l'hétérogénéité des fonds marins sur 1700 km de côte française (47 masses d'eau côtières) et avec une précision de 1/10 000ème entre 0 et 80 mètres. Des données sur les aires marines protégées de Tavolara (Sardaigne), Galite et Zembra (Tunisie) sont également disponibles.

L'ensemble de la cartographie continue des habitats marins est mis à disposition et intégré à la **plateforme** cartographique MEDTRIX (<u>www.medtrix.fr</u>).



## VII. Conclusion générale

La réalisation pressante d'un état des lieux précis de ces zones se fait ressentir le long du littoral méditerranéen français où l'urbanisation, l'érosion côtière et l'artificialisation du littoral font partie des pressions anthropiques ayant le plus d'impact sur l'environnement marin (Deter et al. 2017). A une échelle plus locale, les pressions de mouillage et de pêche sont aussi responsables de la dégradation des herbiers de Posidonie et des récifs coralligènes (Holon et al., 2015d) aussi bien en région PACA qu'en Corse. La localisation, la qualification et la quantification des zones de pression d'ancrage des bateaux de petite et grande plaisance constituent une étape essentielle et fondamentale pour mettre en œuvre des moyens afin de limiter les impacts sur les herbiers de Posidonie.

L'actualisation régulière des données cartographiques permettra de suivre l'évolution de l'état de santé des herbiers de Posidonie dans des zones fortement impactées par l'ancrage des bateaux et de mettre à jour les valeurs des indicateurs macro-surfaciques en lien avec le projet SURFSTAT. La collecte de nouvelles données d'impact du mouillage obtenues à partir des données AIS permettra également de mettre à jour régulièrement le programme IMPACT sur MEDTRIX et d'établir un lien « état-pressions » pour les herbiers de Posidonie en Méditerranée. Il en découle ainsi le développement d'outils AIS (site internet, application sur smartphone) qui serviraient à suivre en direct l'état de pression subit par les herbiers et in fine d'aider les pouvoirs publics à gérer plus facilement cette problématique de mouillage et de stopper la destruction des herbiers par ancrage. Bien que cet habitat sensible soit protégé, il doit faire face à de nombreuses pressions comme celle des ancrages et, à une échelle plus large, le changement climatique. De plus, bien qu'étudié depuis les années 1980, avec un effort accru depuis une quinzaine d'années (Abadie et al., 2018), plusieurs aspects de son écologie restent encore mal connus. Il est donc difficile de savoir quelles seront réellement les conséquences de la combinaison des multiples pressions que subissent les herbiers de P. oceanica. Une équipe de chercheurs a cependant récemment publié une étude (Chefaoui et al., 2018) dont le but était de prédire l'effet de l'augmentation des températures de surface en Mer Méditerranée sur la distribution et la diversité génétique de Posidonia oceanica et Cymodocea nodosa. En se basant sur le scenario climatique le plus extrême (RCP 8,5) établi par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), i.e. une augmentation des températures de surface comprise entre 2,6°C et 4,8°C d'ici 2100, Chefaoui et al. (2018) ont prédit une baisse de la surface totale de distribution de 70-75 % des herbiers de Posidonie d'ici 2050 et une disparition totale d'ici 2100. Pour C. nodosa, la perte d'habitat est comprise entre 20,8% d'ici 2050 et 46,5% d'ici 2100 sous le même scénario, une meilleure résistance principalement expliquée par l'origine tropicale de cette espèce (Olsen et al., 2012).

Les nouvelles données qui seront également obtenues sur la distribution spatiale des assemblages coralligènes nous permettront d'élargir nos connaissances sur l'écologie de cet habitat remarquable et d'orienter la surveillance biologique en fonction de sa distribution et de son importance dans chaque masse d'eau. En couplant ces données cartographiques aux données descriptives de l'état du fonctionnement de cet habitat disponibles grâce au réseau RECOR sur MEDTRIX, un état des lieux plus précis de l'état de santé des récifs coralligènes pourra être fait. Cela permettra de mieux estimer la qualité écologique des masses d'eau côtières comme demandé par la DSCMM, mais aussi de développer de nouveaux plans de gestion et de renforcer la conservation de l'habitat coralligène.

Toutes les cartographies réalisées seront visibles dans l'application DONIA et dans le projet DONIA Expert sur MEDTRIX (<u>www.medtrix.fr</u>) afin de communiquer au public, à la communauté scientifique et aux gestionnaires.



## VIII. Bibliographie

- Abadie, A., Pace, M., Gobert, S., & Borg, J. A., 2018. Seascape ecology in *Posidonia oceanica* seagrass meadows: Linking structure and ecological processes for management. *Ecological Indicators*, 87, 1-13.
- Andromède, 2013. Cartographie évolutive des herbiers de Posidonie en Région PACA sur la période 1922 2011 : Étude sur le département des Alpes Maritimes, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, France, 151 p.
- Andromède, 2012a. Cartographie évolutive des herbiers de Posidonie en Région PACA sur la période 1922 2011 : Étude sur le département des Alpes Maritimes, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, France, 172 p.
- Andromède, 2012b. Cartographie évolutive des herbiers de Posidonie en Région PACA depuis 1927 : Étude sur le département des Bouches-du-Rhône, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, France, 184 p.
- Andromède, 2012c. Cartographie évolutive des herbiers de Posidonie en Région PACA depuis 1924 : Étude sur le département du Var, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, France, 387p
- Andréfouët, S., 2008. Coral reef habitat mapping using remote sensing: A user vs producer perspective implications for research, management and capacity building. *Journal of Spatial Science*, 53(1), pp.113–129.
- Andromède Océanologie, 2013. Cartographie évolutive des herbiers de Posidonie en Région PACA depuis 1922. Document de synthèse, contrat Œil d'Andromede/Agence de l'eau.
- Andromède Océanologie, 2014. La Méditerranée dévoile ses dessous Cartographie continue des habitats marins. Partenariat Agence de l'eau RMC Andromède
- Ballesteros, E.,2006. Mediterranean coralligenous assemblages: A synthesis of present knowledge (in *Oceanography and marine biology: An annual review-*Volume 48, pp. 123-195).
- Bay, Daniel. Etude" in situ" de la production primaire d'un herbier de posidonies (Posidonia oceanica (L.) Delile) de la Baie de Calvi-Corse. 1978. Thèse de doctorat.
- Bédhomme, A. L., Thélin, I., & Boudouresque, C. F.,1983. Mesure de la production primaire des feuilles de Posidonia oceanica: modifications de la méthode de Zieman. *Botanica Marina*, 26(1), 35-43.
- Bellan-Santini, D. & Ruitton, S., 2008. ZNIEFF N° 83-008-005. Presqu'ile de Gien-récif barrière. Zone marine de type I. In Inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (actualisées) de Provence Alpes Côte d'Azur. Ministère chargé de l'Environnement, Muséum National d'Histoire Naturelle.
- Bensettiti F., Bioret F., Roland J. & Lacoste J.-P. (coord.), 2004. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 Habitats côtiers. MEDD/MAAPAR/MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 399 p.
- Bianchi, C.N., 2001. La biocostruzione negli ecosistemi marini e la biologia marina italiana. *Biol. Mar. Medit.* 8, 112–130.
- Blanc, J. J., & Jeudy de Grissac, A.,1984. Erosions sous-marines des herbiers à Posidonia oceanica (Méditerranée). In International Workshop on Posidonia oceanica Beds. GIS Posidonie, France (pp. 23-28).



- Boudouresque, C. F., & Meinesz, A.,1982. Discovery of the posidonia herbarium. *Cahier du Parc Naturel Regional de la Corse*, *4*, 1-79.
- Boudouresque, C.-F., 1996. Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2ème éditi., Marseille: GIS Posidonie publ.
- Boudouresque, C. F.,2004. Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, 20, 97-146.
- Boudouresque, C.-F. et al., 2006. Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica, Monaco: Ramoge.
- Boudouresque, C.-F. et al., 2009. Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina* 52, 395-418. *Botanica Marina*, 52, pp.395-418.
- Boudouresque, C.-F. et al., 2012. Protection and conservation of Posidonia oceanica meadow, Tunis: Ramoge and RAC/SPA publisher.
- Burel, F., Baudry, J., 2000. Ecologie du paysage. Concepts, Méthodes et Applications, Technique & Documentation. Paris.
- Cappato, A.,2011. Croisières et plaisance en Méditerranée. Rapport final. Sophia Antipolis: Plan Bleu.
- Caye, G. Sur la morphogenèse et le cycle végétatif de Posidonia oceanica (L. Delile). 1980. Thèse de doctorat.
- Chefaoui, R. M., Duarte, C. M., & Serrão, E. A.,2018. Dramatic loss of seagrass habitat under projected climate change in the Mediterranean Sea. *Global Change Biology*. DOI: 10.1111/gcb.14401
- Cinelli, F., & Codomier, L.,1974. Note floristique et repartition de Rhodophycées rares (Kallymeniacées et Sebdeniacées) de la Méditerranée occidentale. *Plant Biosystem*, 108(1-2), 13-18.
- Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement, 2015. Etude sur les transports maritimes. UNCTAD/RMT/2015. eISBN:978-92-1-057411-2
- Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement, 2017. Etude sur les transports maritimes. UNCTAD/RMT/2017. eISBN:978-92-1-362809-6
- Costanza, R. et al., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, pp.253–260.
- Davis, G. E.,1977. Anchor damage to a coral reef on the coast of Florida. *Biological Conservation*, 11(1), 29-34.
- Delaruelle G., Foucher M., Boissery P., Holon F. 2015. SURFSTAT, réseau d'analyse surfacique des habitats marins. Cartographie et développement d'indicateurs macro-surfaciques en région Corse Application à l'habitat Herbier à Posidonie. Convention Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 139p.
- Delaruelle G., Deter J., Descamp P., Boissery P., Holon F. 2014. SURFSTAT, réseau d'analyse surfacique des habitats marins. Cartographie et développement d'indicateurs macrosurfaciques en région Provence-Alpes-Côte d'Azur Application à l'habitat Herbier à Posidonie. Convention Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 233p.



- Deter J., Lozupone X., Inacio A., Boissery P., Holon F. 2017. Boat anchoring pressure on coastal seabed: Quantification and bias estimation using AIS data. *Marine Pollution Bulletin*. 123 (1-2): 175-181.
- Deter, J., Descamp, P., Ballesta, L., Boissery, P., & Holon, F.,2012. A preliminary study toward an index based on coralligenous assemblages for the ecological status assessment of Mediterranean French coastal waters. *Ecological indicators*, 20, 345-352.
- DIRM Méditerranée, 2013. Plan d'action pour le milieu marin sous-région Méditerranée occidentale juillet 2013
- Drew, E. A., & Jupp, B. P.,1976. Some aspects of the growth of Posidonia oceanica in Malta. In *Underwater research*,pp. 357-367.
- Forrester, G. E., Flynn, R. L., Forrester, L. M., & Jarecki, L. L. (2015). Episodic Disturbance from Boat Anchoring Is a Major Contributor to, but Does Not Alter the Trajectory of, Long-Term Coral Reef Decline. *PloS one*, 10(12), e0144498.
- Gobert, S., Sartoretto, S., Rico-Raimondino, V., Andral, B., Chery, A., Lejeune, P., & Boissery, P., 2009. Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the Posidonia oceanica Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin*, 58(11), 1727-1733.
- Guilbert A., Pavy T., Labussière F., Delaruelle G., Holon F, 2016. Cartographie des habitats marins et développement d'indicateurs macro-surfaciques en région Provence-Alpes-Côte d'Azur Application à l'habitat Coralligène. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 84p
- Haase, D., Walz, U., Neubert, M., & Rosenberg, M. (2007). Changes to Central European landscapes—analysing historical maps to approach current environmental issues, examples from Saxony, Central Germany. *Land Use Policy*, *24*(1), 248-263.
- Hoechstetter, S. et al., 2008. Effects of topography and surface roughness in analyses of landscape structure A proposal to modify the existing set of landscape metrics. *Landscape Online*, 3(1), pp.1–14.
- Holon, F., Boissery, P., Guilbert, A., Freschet, E., Deter, J., 2015a. The impact of 85 years of coastal development on shallow seagrass beds (Posidonia oceanica L. (Delile)) in South Eastern France: A slow but steady loss without recovery. Estuar. Coast. Shelf Sci. 1–9.
- Holon, F., Delaruelle, G., Boissery, P., Deter, J., 2015b. Medtrix: a cartographic database concerning marine ecology and anthropogenic pressures along the Mediterranean coast. Mar. Pollut. Bull.
- Holon, F., Delaruelle, G., Guilbert, A., Deter, J., Boissery, P., Descamp, P., 2015c. First continuous seabed map in France used for the creation of a management tool protecting Posidonia oceanica.
- Holon, F., Mouquet, N., Boissery, P., Bouchoucha, M., Delaruelle, G., Tribot, A.-S., Deter, J., 2015d. Fine-Scale Cartography of Human Impacts along French Mediterranean Coasts: A Relevant Map for the Management of Marine Ecosystems. PLoS One 10, 20p.
- McGarigal, K., Tagil, S. & Cushman, S. a., 2009. Surface metrics: An alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*, 24(3), pp.433–450.
- McGarigal, K., & Cushman, S. A., 2002. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological applications*, 12(2), 335-345.



- McGarigal, K., & Marks, B. J., 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 122 p.*
- MEDAM, 2014. Medam French Mediterranean Coasts. Inventory and Impact of Reclamations from the Sea. Medam French Mediterranean Coasts. Inventory and Impact of Reclamations from the Sea.
- Milazzo, M., Badalamenti, F., Ceccherelli, G., & Chemello, R.,2004. Boat anchoring on Posidonia oceanica beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean): effect of anchor types in different anchoring stages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299(1), 51-62.
- Ministere de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2012. Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Objectifs environnementaux et indicateurs associés. Sous région Méditerranée occidentale. , p.13.
- Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et de L'Energie, 2012. *Directive Cadre stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Évaluation initiale des eaux marines. Sous-région marine Méditerranée occidentale. Résumé à l'attention du public.*
- Molinier, R., & Picard, J.,1952. Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français. Masson.
- Observatoire du milieu marin Méditerranéen, 2014. Observatoire du milieu marin Méditerranéen. Observatoire du milieu marin Méditerranéen.
- Olsen, Y.S., Sánchez-Camacho, M., Marbà, N. et al. Estuaries and Coasts (2012) 35: 1205. https://doi.org/10.1007/s12237-012-9521-z
- Pasqualini, V. et al., 2001. Integration of aerial remote sensing, aphotogrammetry and GIS technologies in seagrass mapping. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 67(1), pp.99–105.
- Pasqualini, V. et al., 1997. The use of airborne remote sensing for benthic cartography: Advantages and reliability. *International Journal of Remote Sensing*, 18(5), pp.1167–1177.
- Pérès, J. M., & Picard, J.,1964. *Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée*. Station Marine d'Endoume.
- Pergent, G. et al., 2015. Dynamic of Posidonia oceanica seagrass meadows in the northwestern Mediterranean: Could climate change be to blame? *Comptes Rendus Biologies*, 338(7), pp.484–493. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1631069115001225.
- Pergent, G. et al., 2014. Climate change and Mediterranean seagrass meadows: a synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science*, 15(2), pp.462–473.
- Pergent, G. et al., 2010. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1.
- Pergent-Martini, C., 2006. Elément de qualité biologique : Posidonie Compte-rendu de l'exercice d'intercalibration. Contrat Ifremer / Université de Corse EqEL, Corte.
- Pergent-Martini, C. & Pasqualini, V., 2000. Seagrass population dynamics before and after the setting up of a wastewater treatment plant. *Biologia Marina Mediterranea*, 7(2), pp.405–408.
- PNUE/PAM-Plan Bleu, 2009. Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée, Athènes: PNUE/PAM-Plan Bleu.



- Rico-Raimondino, V. Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à Posidonia oceanica. 1995. Thèse de doctorat. Aix-Marseille 2.
- Short, F. T., & Wyllie-Echeverria, S.,1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation*, 23(1), 17-27.
- Tribot, A. S., Mouquet, N., Villéger, S., Raymond, M., Hoff, F., Boissery, P., Holon F. & Deter, J.,2016. Taxonomic and functional diversity increase the aesthetic value of coralligenous reefs. *Scientific reports*, *6*, 34229. DOI: 10.1038/srep34229
- VanDerWal, J. et al., 2014. Species Distribution Modelling Tools: Tools for processing data associated with species distribution modelling exercises. Disponible sur https://cran.r-project.org/web/packages/SDMTools/SDMTools.pdf
- Velimirov, B. (1984). Grazing of *Sarpa salpa* L. on Posidonia oceanica and utilization of soluble compounds. In *International Workshop on Posidonia oceanica beds* (Vol. 1, pp. 381-387). GIS Posidonie Publ Marseille.
- Walker, B. K., Gilliam, D. S., Dodge, R. E., & Walczak, J. Dredging and shipping impacts on southeast Florida coral reefs. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium* Cairns, Australia, 9-13 July 2012, 5p.

## **Contact**

7, place Cassan - Quai des pêcheurs 34 280 Carnon - France

Tél.: 04.67.66.32.48 - contact@andromede-ocean.com

# www.andromede-ocean.com

