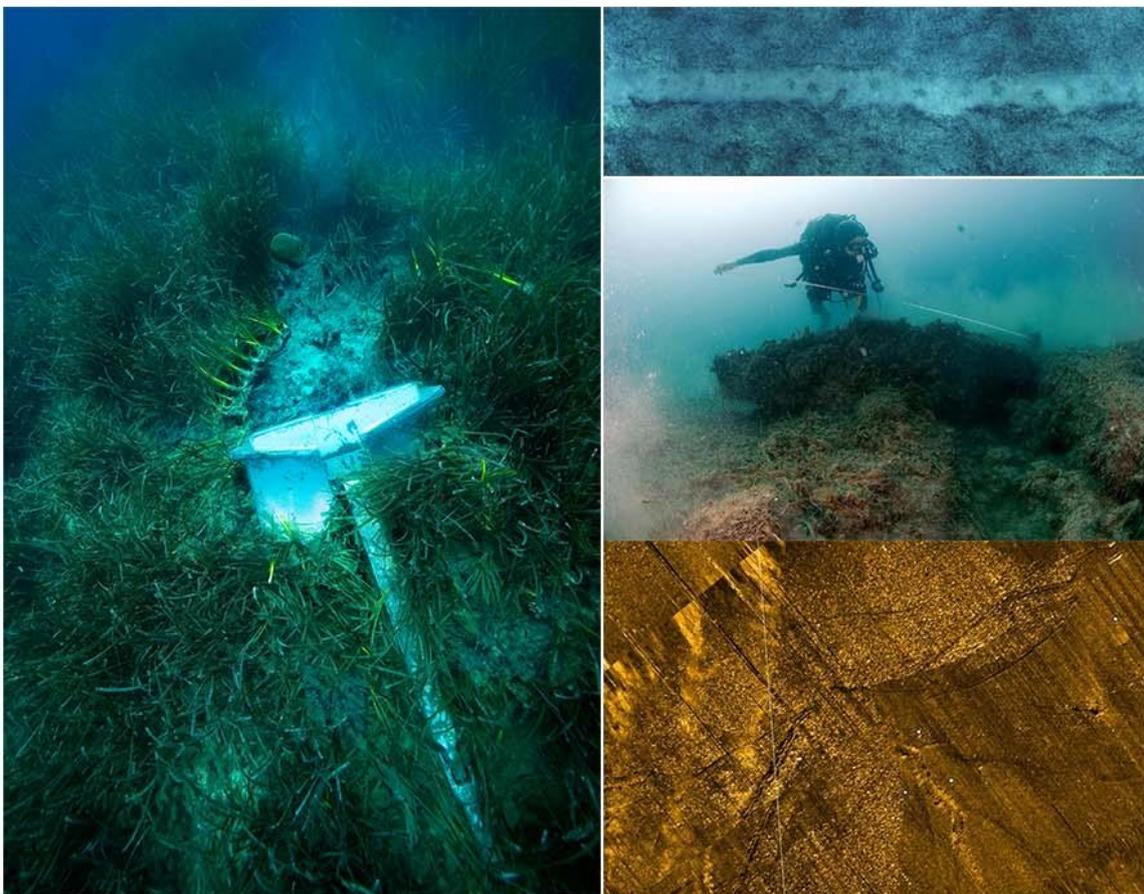


SurfStat : Mise à jour de la cartographie et des indicateurs surfaciques sur des zones impactées par le mouillage en région Sud



Janvier 2020

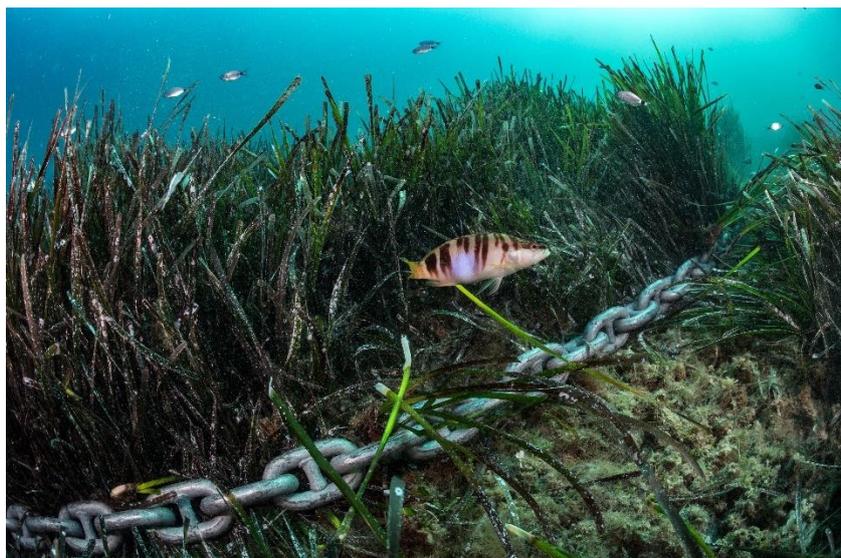
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

7, place Cassan - Carnon Plage

34 130 Manguio - 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 :

AGEL Noémie, DESCAMP Pierre, GUILBERT Antonin, HOLON Florian, MAURON Stephen, PAVY Thomas

Traitement des données et rédaction :

BLANDIN Agathe, BOCKEL Thomas, DELARUELLE Gwenaëlle, DETER Julie, HOLON Florian

Mise en page des cartographies, structuration du SIG :

BLANDIN Agathe, GUILBERT Antonin

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

ANDROMEDE, 2020. SurfStat : Mise à jour de la cartographie et des indicateurs surfaciques sur des zones impactées par le mouillage en région Sud. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 91 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, des réseaux de surveillance axés sur des thématiques variées tels que TEMPO (herbier de posidonie), RECOR (récifs coralligènes), CALME (bruit acoustique) avec la société Chorus, CALOR (température de fond), PISCIS (assemblages ichtyologiques) et 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 et d'observations en plongée lors de campagnes de terrain menées en octobre et novembre 2018 dans le cadre du réseau SURFSTAT, la cartographie des biocénoses marines a été actualisée sur cinq zones retenues comme fortement impactées par la pression de mouillage en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Ces cinq zones appartiennent à quatre masses d'eau côtières différentes. Ce rapport présente les résultats de ces nouvelles cartographies et une analyse de la composition et de la configuration de la biocénose des herbiers à *Posidonia oceanica* entre 0 et 40 mètres de profondeur, ainsi que des paysages entre 0 et 60 mètres de profondeur sur les quatre masses d'eau côtières actualisées. Cette analyse, effectuée à partir du calcul d'indicateurs surfaciques, permet aussi de renseigner sur la qualité des eaux côtières. De plus, des cartes de régression sont présentées afin d'illustrer l'évolution de l'état des herbiers de posidonie sur différentes périodes entre 2006 et 2018.

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



SOMMAIRE

I.	CONTEXTE.....	1
I.1.	<i>Biodiversité en mer Méditerranée.....</i>	<i>1</i>
I.2.	<i>L'herbier à posidonie, un habitat remarquable.....</i>	<i>2</i>
I.3.	<i>Les récifs coralligènes, un habitat complexe.....</i>	<i>3</i>
I.4.	<i>L'impact de l'ancrage des bateaux sur les habitats sensibles.....</i>	<i>5</i>
I.4.1.	<i>Réseaux de surveillance pour étudier la pression Mouillage.....</i>	<i>6</i>
I.5.	<i>Objectifs de l'étude.....</i>	<i>10</i>
II.	METHODOLOGIE.....	10
II.1.	<i>Cartographie continue des habitats marins.....</i>	<i>10</i>
II.1.1.	<i>Synthèse des données cartographiques existantes.....</i>	<i>10</i>
II.1.2.	<i>Acquisition et analyse de données sonar.....</i>	<i>12</i>
II.1.3.	<i>Acquisition et analyse de données de terrain.....</i>	<i>12</i>
II.1.4.	<i>Actualisation de la cartographie.....</i>	<i>13</i>
II.1.5.	<i>Nomenclature des habitats : la typologie SURFSTAT.....</i>	<i>14</i>
II.2.	<i>Outils et méthode d'analyse du paysage.....</i>	<i>16</i>
II.2.1.	<i>Spatialisation et quantification du paysage.....</i>	<i>16</i>
II.2.2.	<i>Métriques utilisées dans le cadre de l'analyse du paysage.....</i>	<i>18</i>
III.	RESULTATS.....	20
III.1.	<i>Masse d'eau FRDC07c.....</i>	<i>22</i>
III.1.1.	<i>Sonar latéral.....</i>	<i>23</i>
III.1.2.	<i>Vérités-terrain : Observations en plongée tractée.....</i>	<i>24</i>
III.1.3.	<i>Cartographie des habitats marins : Baie de La Ciotat et Baie des Lecques.....</i>	<i>25</i>
III.1.4.	<i>Analyse du paysage.....</i>	<i>27</i>
III.2.	<i>Masse d'eau FRDC08b.....</i>	<i>33</i>
III.2.1.	<i>Sonar latéral.....</i>	<i>34</i>
III.2.2.	<i>Cartographie des habitats marins : Golfe de Saint-Tropez.....</i>	<i>35</i>
III.2.3.	<i>Analyse du paysage.....</i>	<i>36</i>
III.3.	<i>Masse d'eau FRDC08e.....</i>	<i>43</i>
III.3.1.	<i>Sonar latéral.....</i>	<i>44</i>
III.3.2.	<i>Vérités-terrain : Observations en plongée tractée.....</i>	<i>46</i>
III.3.3.	<i>Cartographie des habitats marins : Rade de Cannes.....</i>	<i>47</i>
III.3.4.	<i>Cartographie des habitats marins : Golfe Juan.....</i>	<i>48</i>
III.4.	<i>Masse d'eau FRDC10a.....</i>	<i>55</i>
III.4.1.	<i>Sonar latéral.....</i>	<i>56</i>
III.4.2.	<i>Vérités-terrain : observations en plongée tractée.....</i>	<i>57</i>
III.4.3.	<i>Cartographie des habitats marins : Rade de Beaulieu-sur-Mer.....</i>	<i>58</i>
IV.	SYNTHESE DES RESULTATS.....	65
V.	BILAN.....	71
V.1.	<i>Simplification des indices surfaciques.....</i>	<i>71</i>
V.2.	<i>SurfStat 2020 : Actualisation de la cartographie des habitats marins le long du littoral méditerranéen français.....</i>	<i>74</i>
VI.	BANCARISATION ET VALORISATION.....	79
VI.1.	<i>Plateforme Medtrix et l'application Donia.....</i>	<i>79</i>
VI.2.	<i>Plaquette de communication.....</i>	<i>80</i>
VII.	CONCLUSION GENERALE.....	80
VIII.	BIBLIOGRAPHIE.....	81

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.

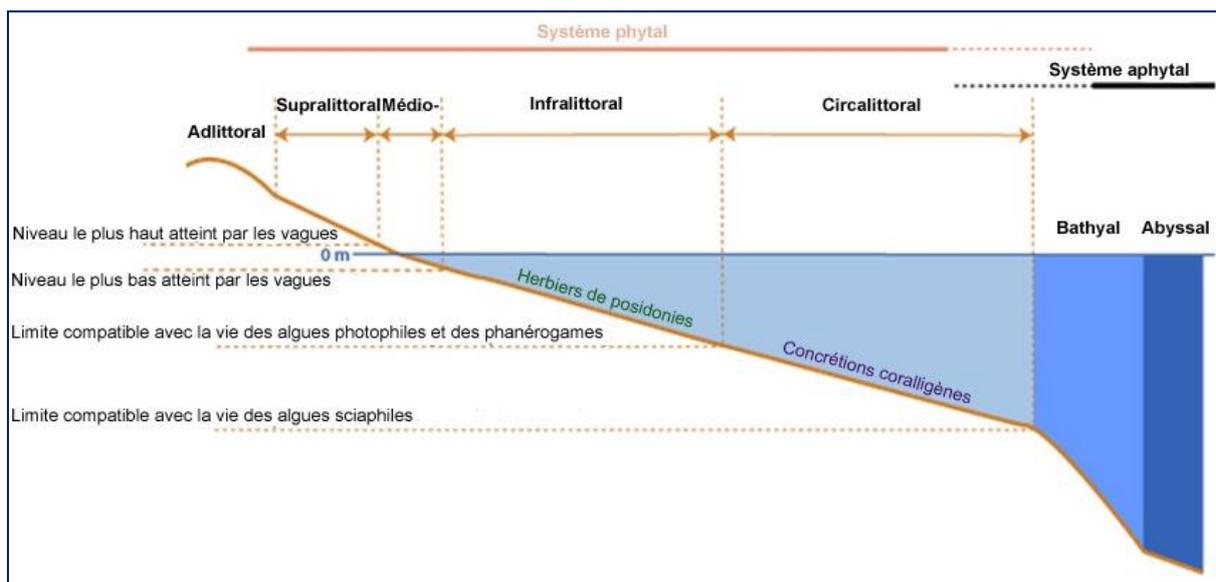


Figure 1 : Les étagements benthiques en Méditerranée. Modifié d'après Bellan-Santini, 1994.

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).

1.2. 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 « matre » l'ensemble constitué par les rhizomes, les écailles (gainnes 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 matre (Boudouresque et al., 2006). La matre 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 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.



Herbier à *Posidonia oceanica*



Figure 3 : Panorama d'un herbier de posidonie (*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 physiologiques 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).

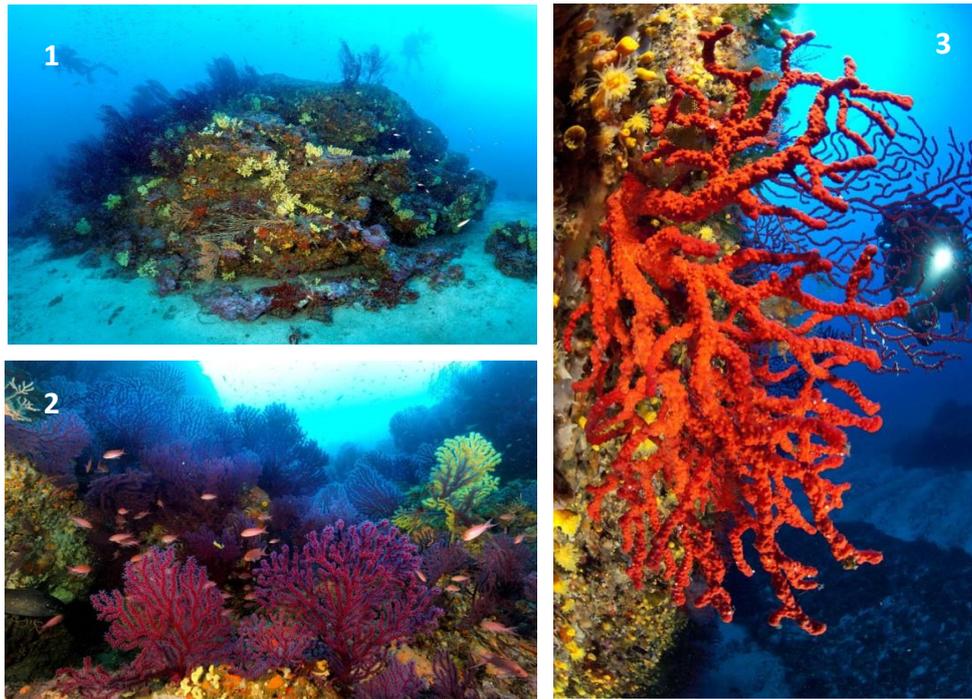


Figure 4 : Assemblages coralligènes. 1 : Massif coralligène ; 2 : Gorgones et barbières (*Anthias anthias*); 3 : Corail rouge (*Corallium rubrum*) sur du coralligène de paroi.

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 2500 cm² 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).



I.4. L'impact de l'ancrage des bateaux sur les habitats sensibles

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'accroître avec le changement climatique en cours (le Sud-Ouest de l'Europe s'est réchauffé de 2°C depuis 1970) (PNUE/PAM 2009).

Une des pressions anthropiques ayant un fort impact sur l'état des herbiers de posidonie actuellement est la pression de mouillage de la petite (bateaux < 24 m de longueur) et de la grande plaisance (> 24 m et jusqu'à 80 m et plus). Depuis début 2018, Andromède Océanologie étudie l'impact de l'ancrage des bateaux (données de 2010 à 2019) sur les habitats prioritaires méditerranéens grâce aux données AIS (Automatic Identification System) disponibles (Marine Traffic).

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). Ce nombre élevé de bateaux a de nombreux effets négatifs sur l'environnement : collision, pollution, aménagements littoraux (ports) et ancrage (Cappato, 2011).

L'ancrage est défini comme le déploiement à court terme d'un dispositif physique pour retenir rapidement le substrat par un navire (Kininmonth et *al.*, 2014). Concentré dans les eaux peu profondes, l'ancrage cause des dommages directs et indirects aux écosystèmes marins 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 (Figure 6).

Une étude récente (Deter et *al.*, 2017) a permis d'estimer la pression d'ancrage sur les habitats marins côtiers à l'aide des données AIS. 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 Sud (Provence-Alpes-Côte d'Azur) **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 sept ans et représentent une superficie totale d'environ 2000 ha.

Le mouillage des bateaux fait partie des pressions anthropiques qui impacte fortement *Posidonia oceanica* malgré son statut d'espèce protégée. La localisation, la qualification et la quantification des zones de pression d'ancrage constituent une étape essentielle et fondamentale pour mettre en œuvre des moyens afin de limiter les impacts sur les herbiers.

Le 03 juin 2019, un grand pas a été franchi par la Préfecture maritime de la Méditerranée puisqu'un arrêté préfectoral (n°123/2019) est sorti afin de fixer « le cadre général du mouillage et l'arrêt des navires dans les eaux intérieures et territoriales françaises de Méditerranée ». L'article 6 de cet arrêté stipule que :

« 6.1 Le mouillage des navires ne doit ni porter atteinte à la conservation, ni conduire à la destruction, à l'altération ou à la dégradation d'habitats d'espèces végétales marines protégées.

6.2 Il est ainsi interdit de mouiller dans une zone correspondant à un habitat d'espèces végétales marines protégées lorsque cette action est susceptible de lui porter atteinte. »

Les zones de réglementation de mouillage et la longueur des navires concernés sont cependant fixées par arrêté du préfet maritime de chaque département.



Figure 6 : Ancre de bateau à la remontée dans un herbier de *Posidonia* et traces de mouillage dans l'herbier probablement provoquées par la récupération d'une ancre (© Laurent Ballesta).

1.4.1. Réseaux de surveillance pour étudier la pression Mouillage

Afin de suivre l'état des écosystèmes marins et mesurer les impacts liés aux pressions anthropiques telles que l'ancrage des bateaux, Andromède Océanologie et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse ont mis en place en 2010 un ensemble de réseaux de surveillance dont certaines thématiques portent sur l'analyse des paysages

sous-marins, l'étude de la fréquentation des bateaux de plaisance et la modélisation de l'impact de leur ancrage sur les habitats sensibles.

- **SURFSTAT, un réseau d'analyse surfacique des habitats marins**



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.

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

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...).

Les données surfaciques ainsi que la cartographie des indices et des habitats prioritaires sont disponibles sur la plateforme MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr/>) dans le projet « SURFSTAT ».

- **MEDOBS, Observatoire Aérien de la Méditerranée**



L'observatoire MEDOBS a été initié en 2011 au travers d'un partenariat entre l'association MEDOBS et l'Agence de l'eau. A l'aide d'une caméra numérique sophistiquée embarquée dans un avion dédié à l'acquisition de données, les données relatives aux pressions des usages en mer, des mouillages forains, à la présence de pollutions, de détection de panaches fluviaux et de cétacés sont référencées et géolocalisées.

L'objectif du réseau est d'apprécier les phénomènes d'occurrences de pressions sur le territoire. Il n'a pas vocation de suivre de manière exhaustive et très fine l'ensemble des usages qui s'exercent sur le milieu au cours du temps. Le suivi est réalisé sur la bordure côtière du littoral des bassins Rhône-Méditerranée et Corse (zone des 3 milles nautiques) depuis 2011 et s'étend depuis 2014 au large du bassin (Pelagos et têtes de canyon). La période d'acquisition des données porte de mai à octobre.

Les données mouillage issues de ce réseau MEDOBS sont disponibles sur la plateforme MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr/>) dans le projet « MEDOBS ». Les zones de mouillage entre 2012 et 2016 sont visibles dans ce projet.

- **IMPACT, modélisation des pressions anthropiques côtières**



Les activités humaines induisent des pressions importantes sur le milieu marin, et en particulier sur les écosystèmes côtiers. Les modèles spatiaux disponibles dans le projet IMPACT ont pour objectif d'améliorer la connaissance des liens entre pressions humaines et statut des écosystèmes côtiers. En corrélant spatialement ces données, il devient envisageable de réaliser une modélisation à grande échelle (Méditerranée française) de l'étendue et de l'interaction des pressions anthropiques sur le milieu marin. IMPACT constitue un outil d'aide à la décision aux gestionnaires et décideurs permettant notamment la priorisation des zones d'actions et le développement d'indicateurs pertinents.

Treize pressions anthropiques sont considérées pour leur origine et leur intensité : l'urbanisation, l'agriculture, l'érosion côtière, les aménagements côtiers, le mouillage, la population, les effluents industriels, l'aquaculture, la pêche professionnelle hors chalut, la population côtière, le tourisme balnéaire, la pollution par les cours d'eau et les rejets en mer. Leur spatialisation est construite selon une grille de cellules de 20 x 20 m en appliquant une courbe exponentielle négative selon la distance (horizontale et profondeur) à la source variant de 100 % (origine) à 0 % (plus aucune pression). Ce travail a été publié en open access dans le journal PlosOne (Holon et *al.*, 2015a) puis mis à jour en 2018 (rapport téléchargeable sur <https://plateforme.medtrix.fr/> dans le projet IMPACT).

La modélisation de la pression anthropique « Petite plaisance » a été réalisée à partir des données MEDOBS. Ces données sont disponibles sur la plateforme MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr/>) dans le projet « IMPACT ».

- **Suivi du mouillage de la grande plaisance par données AIS**

Une étude récente (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). 12 447 navires 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. Cette méthodologie est efficace pour estimer spatialement et temporellement la pression d'ancrage, quels que soient les objectifs économiques et / ou écologiques finaux, et devrait intéresser les zones marines protégées autant que les gestionnaires côtiers.

La modélisation de la pression anthropique « Grande plaisance » a été réalisée à partir des données AIS. Les données issues de cette étude sont disponibles sur la plateforme MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr/>) dans le projet « Suivi impact du mouillage ». On peut visualiser la localisation des 7223 navires au mouillage entre 2010 et 2018 issues des données AIS de Marine Traffic, comptabilisant ainsi 75 928 mouillages au total (75 379 mouillages pour des bateaux de taille supérieure à 24m).

- **Cartes de pression cumulée de mouillage**

La superposition des données de fréquentation (AIS et MEDOBS) aux cartes des habitats marins disponibles dans le projet DONIA Expert sur MEDTRIX permettent de réaliser des **cartes de pression cumulée de mouillage** et donc de mettre en évidence des **zones d'impact probables des ancrages sur les herbiers de posidonie**.

Sur la plateforme MEDTRIX on peut visualiser deux cartes de pression mouillage :

 Carte de pression cumulée du mouillage d'après les **données AIS (2010-2018)** disponible dans le projet « Suivi impact du mouillage » ;

 Carte de pression cumulée du mouillage petite plaisance d'après les **données MEDOBS** disponible dans le projet « IMPACT ».

Ces réseaux de surveillance ont été créés afin de répondre aux objectifs de la **Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin** (2008/56/CE, DCSMM). C'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.**

L'atteinte d'un bon état écologique¹ 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 écosystèmes² 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 entraîner des mesures erronées de paramètres surfaciques (Hoechstetter et al., 2008).

¹ 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.

² 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).

Lancé en 2013, 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). 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.

D'un point de vue réglementaire, tous les réseaux de surveillance sont inscrits au sein de la DCE puisque leur champ d'application est principalement situé au sein des masses d'eau côtières. D'un point de vue écologique, ils sont inscrits 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).

I.5. Objectifs de l'étude

Le premier objectif de cette étude est de réaliser une cartographie continue fine et actualisée des habitats marins, en particulier des herbiers de posidonie, de **cinq zones fortement impactées par le mouillage** localisées en région Sud (PACA) : **Baie de La Ciotat, Rade de Cannes, Golfe Juan, Golfe de Saint-Tropez et la Rade de Beaulieu-sur-Mer** (Fig. 7). Le second objectif est d'analyser le paysage pour extraire des indicateurs surfaciques (spatiaux) de la qualité des eaux côtières pour les **quatre masses d'eau côtières actualisées en région Sud**.

Ce travail constitue une mise à jour de l'étude SURFSTAT réalisée en 2014 (Delaruelle *et al.*, 2014), en partenariat avec l'AERMC qui s'est intéressée aux 25 masses d'eau côtière de la région Sud. La région Corse a également fait l'objet de deux études similaires en 2015² et 2018³, le but étant de disposer d'un panel d'indicateurs mesurables sur tout le littoral méditerranéen français.

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 de posidonie.

II. Méthodologie

Dans cette partie sont décrites les méthodes utilisées pour la sélection des cinq zones ciblées par cette étude, 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.* 2015b). Uniquement les données les plus précises et les plus récentes ont été conservées.

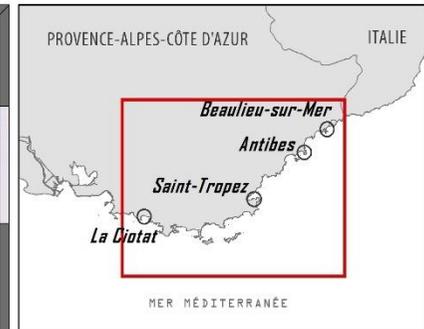
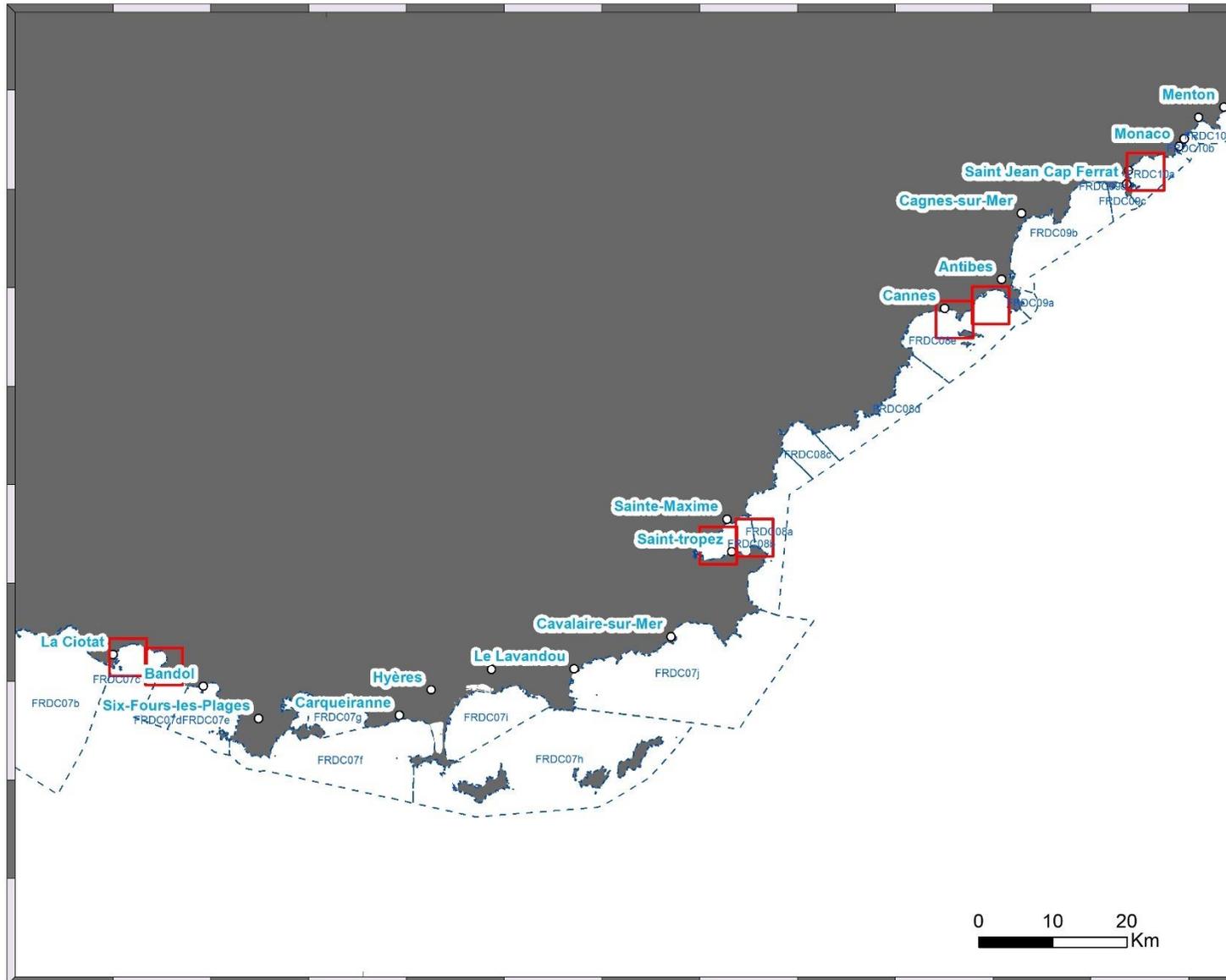
En région Sud, les cartographies récentes et disponibles à ce jour proviennent de trois principaux projets : base de données MEDBENTH (Agence de l'Eau RMC/IFREMER), le programme CARTHAM - Cartographie et études des biocénoses des sites Natura 2000 (AAMP/MEEDTL) et le réseau SURFSTAT (Andromède Océanologie/Agence de l'Eau RMC).

Au total, ces cartographies existantes représentent **environ 70 % du littoral de la région Sud**, et s'étendent généralement jusqu'à 60 mètres de fond. Afin de mettre à jour la cartographie des biocénoses marines des cinq zones ciblées en région Sud, des campagnes d'acquisition de données acoustiques sonar ainsi que des observations en plongée sous-marines (vérités-terrain) ont été menées en septembre, octobre et novembre 2018 et en mars 2019. Au total, ce sont **environ 3199 hectares de données acoustiques sonar** qui ont été acquises puis traitées pour actualiser la cartographie des habitats marins de ces zones.

L'ensemble de la cartographie continue des habitats est consultable sur la plateforme cartographique MEDTRIX (Holon *et al.*, 2015c) dans les projets DONIA, DONIA Expert et SURFSTAT (<https://plateforme.medtrix.fr/>) et via l'application DONIA (<http://www.donia.fr/>).

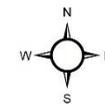
²Delaruelle G., Foucher M., Boissery P., Holon F. 2015. SURFSTAT, réseau d'analyse surfacique des habitats marins. Cartographie et développement d'indicateurs macro-surfaciques en région Corse – Application à l'habitat Herbier à Posidonie. Convention Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 139p.

³ Andromède, 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 p.



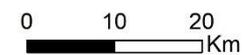
Légende

- Zones ciblées
- Masse d'eau côtière



Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020



II.1.2. 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 matre. 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.

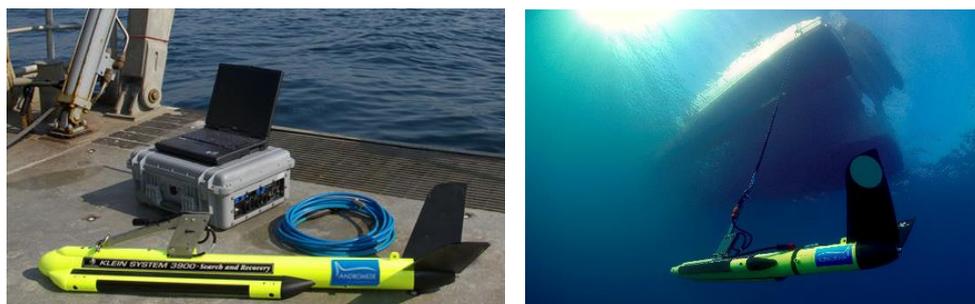


Figure 7 : Sonar Klein 3900. A gauche : micro-ordinateur avec logiciel SonarPro et enregistreur numérique ; à droite : poisson relié au bateau par le câble électroporteur. Source : Andromède

II.1.3. 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 8 : 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.

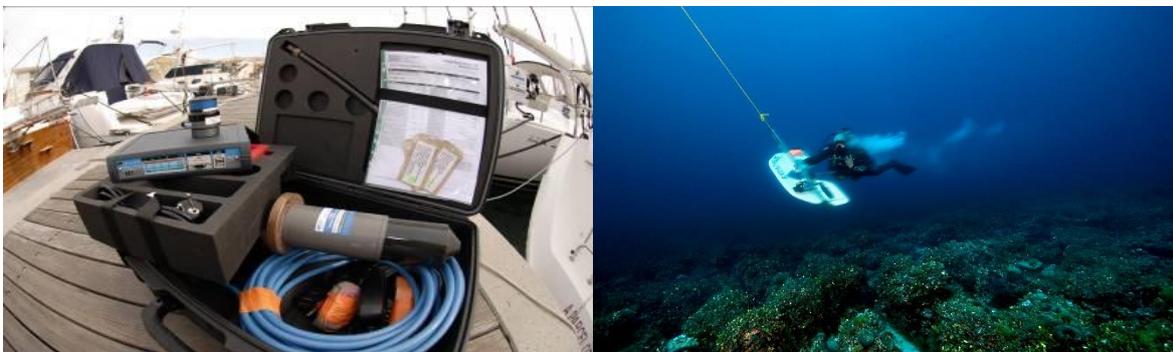


Figure 9 : Le système de GPS sous-marin Tritech est composé d'un pinger emporté par le plongeur et d'une antenne acoustique fixée sous le bateau. Il permet de géoréférencer toutes les observations.

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.

II.1.4. Actualisation de la cartographie

Différents outils et matériels ont été utilisés pour réaliser la cartographie. Ils sont présentés dans le Tableau 1 ci-après. Les relevés sonar ont été acquis lors des campagnes effectuées par Andromède Océanologie entre octobre et novembre 2018 en vue de réactualiser et d'affiner la cartographie de 2014-2015. Des observations terrain (plongeur tracté et plongées ponctuelles) ont également été réalisées en octobre et novembre 2018.

La cartographie est réalisée sous Photoshop puis ArcGIS v.10.6. 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 des 5 zones impactées par le mouillage.

	Photographie aérienne	Logiciels	Données terrain
Outils	Photographies aériennes Google Earth	Photoshop C5 ArcGIS for Desktop v.10.6 Google Earth QGIS 3.4	Points biologiques et relevés sonar réalisés par Andromède

II.1.5. 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 *Cymodocea* (*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 sous-marine 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 matre morte affleurante sous le nom « Association de la matre 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 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 : FRECO1ab ; FRECO2c ; FRECO2d et FRECO4ac) 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 biocénétiques (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 v10.6) 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 biocénétiques) 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.

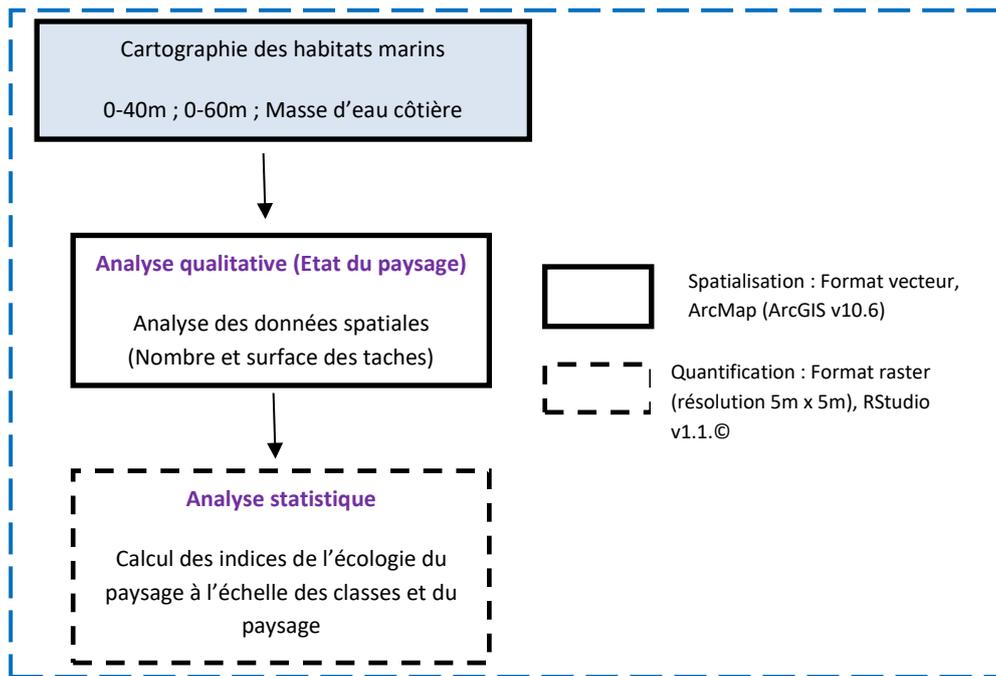


Figure 10 : Chaîne de traitement pour l'analyse du paysage



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 (les 4 masses d'eau côtière en région PACA actualisées dans le cadre de cette étude) 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 une partie de 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 cartographiques devenaient trop anciennes. Les zones et masses d'eau actualisées sont résumées dans le tableau ci-après (Tableau 2).

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

Masses d'eau	FRDC07c	FRDC08b	FRDC08e	FRDC10a
Zone actualisée	Baie de La Ciotat	Golfe de Saint-Tropez	Cannes et Golfe Juan	Beaulieu-sur-Mer
Profondeur maximum (sonar)	40 m	30 m	40 m	45 m





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	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
Agrégation	Classe	ENN_MN (Euclidean Nearest Neighbor Distance Distribution)	Distance euclidienne (distance qui sépare les deux taches les plus proches) - Moyenne	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)	$0 \leq \text{DIVISION} < 1$ (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 tâches d'une même classe et AI=100 (La classe est formée par une seule tâche).
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	$0 < \text{SIDI} < 1$ (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 pour chacune **des quatre masses d'eau de la région PACA contenant les cinq zones actualisées** grâce aux nouvelles données sonar et vérités-terrain.

Cartographies des données sonar et observations terrain

Les levés au sonar latéral (données de 2018) et les observations en plongée tractée (données historiques et de 2018) sont présentés sur deux cartes pour chacune des quatre masses d'eau côtière.

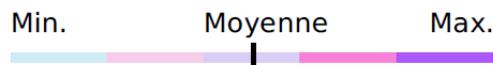
Cartographie des habitats marins

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. Une seconde carte présentant **l'herbier de posidonie et la matte morte associée** est également fournie pour chaque masse d'eau.

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 ci-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 région PACA (toutes tranches bathymétriques confondues). Chaque couleur correspond à un cinquième de l'étendue des valeurs observées pour la métrique concernée.

Analyse du paysage : indice de diversité de Simpson

Pour chaque masse d'eau, la diversité paysagère a été calculée grâce à l'indice de diversité de Simpson et est représentée sur une carte sur un pixel de 20 mètres. L'indice de Simpson a été calculé de la manière suivante :

$$D = \sum Ni(Ni-1)/N(N-1)$$

D : Indice de Simpson ; Ni : surface d'un habitat donné sur un pixel de 50m² ; N : surface totale des habitats.

L'indice varie entre 0 et 1. Plus il se rapproche de 0, plus les chances d'obtenir des individus d'espèces différentes sont élevées.

Cartographie de l'évolution de l'herbier à Posidonie

Pour chaque masse d'eau, **une carte de l'évolution globale de l'herbier à Posidonie** a été réalisée en comparant les nouvelles données aux données historiques dont nous disposons (Tableau 4), et l' **indice de régression** a été calculé. 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 :

$$\text{Indice de Régression} = \text{Surface de la matte morte}^* / (\text{Surface de la matte morte}^* + \text{Surface de l'herbier}^*)$$

*Surface issue de la cartographie continue des habitats marins réalisée dans le cadre de SURFSTAT.

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 2018 étaient auparavant des zones d'herbier.

 Evolution des limites de l'herbier de Posidonie

Pour chaque zone actualisée dans le cadre de cette étude, une carte de l'évolution des limites de l'herbier de Posidonie est réalisée. Le tableau ci-dessous liste les différentes sources de données à disposition pour calculer les différences de surface d'herbier et de matte morte entre la dernière actualisation et cette étude.

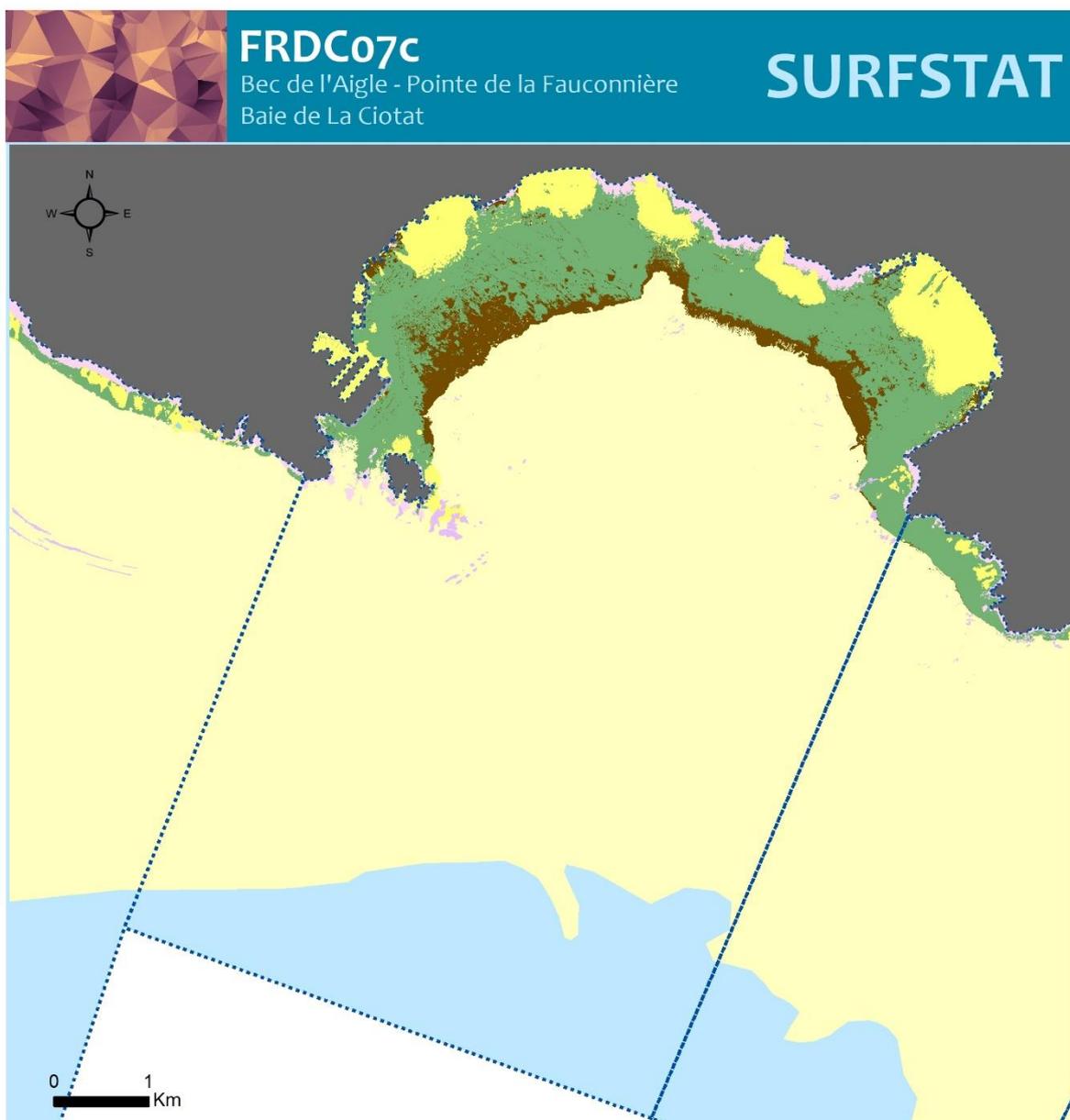
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des données utilisées pour l'étude de l'évolution de l'herbier de Posidonie.

Zone d'étude	Années de comparaison	Source des données
Baie de La Ciotat	2010 - 2018	- CARTHAM, AAMP 2010-2012 - SURFSTAT 2014 - SURFSTAT 2018
Golfe de Saint-Tropez	2010 – 2015 2015 - 2018	- Schéma Départemental de la Mer et du Littoral (2009-2010) - SURFSTAT 2013, 2014 et 2018
Golfe Juan	2011 - 2018	- CARTHAM, AAMP, 2010-2012 - SURFSTAT 2014 et 2018
Rade de Beaulieu-sur-Mer	2010 - 2018	- CARTHAM, AAMP, 2010-2012 - SURFSTAT 2014 et 2018

NB : la rade de Cannes n'est pas référencée dans le tableau à cause du manque de données fiables pour effectuer la comparaison dans cette zone (voir page 52).



III.1. Masse d'eau FRDC07c



BEC DE L'AIGLE - POINTE DE LA FAUCONNIERE



Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme
cartographique pour la surveillance du milieu marin :

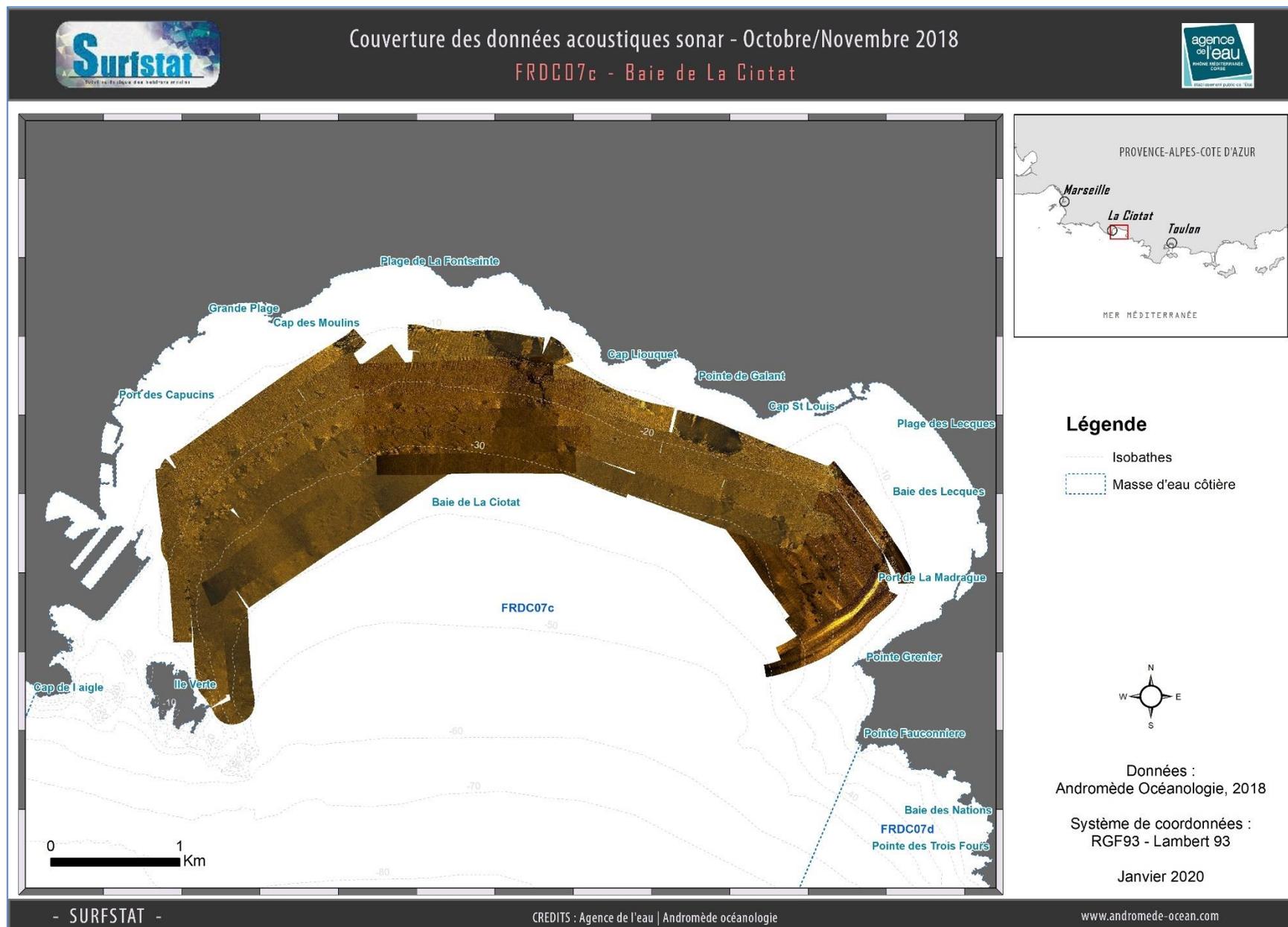
<https://plateforme.medtrix.fr>

SYSTEME DE COORDONNEES:
RGF93 Lambert 93
Lambert Conformal Conic
Datum : RGF 1993

Janvier 2020

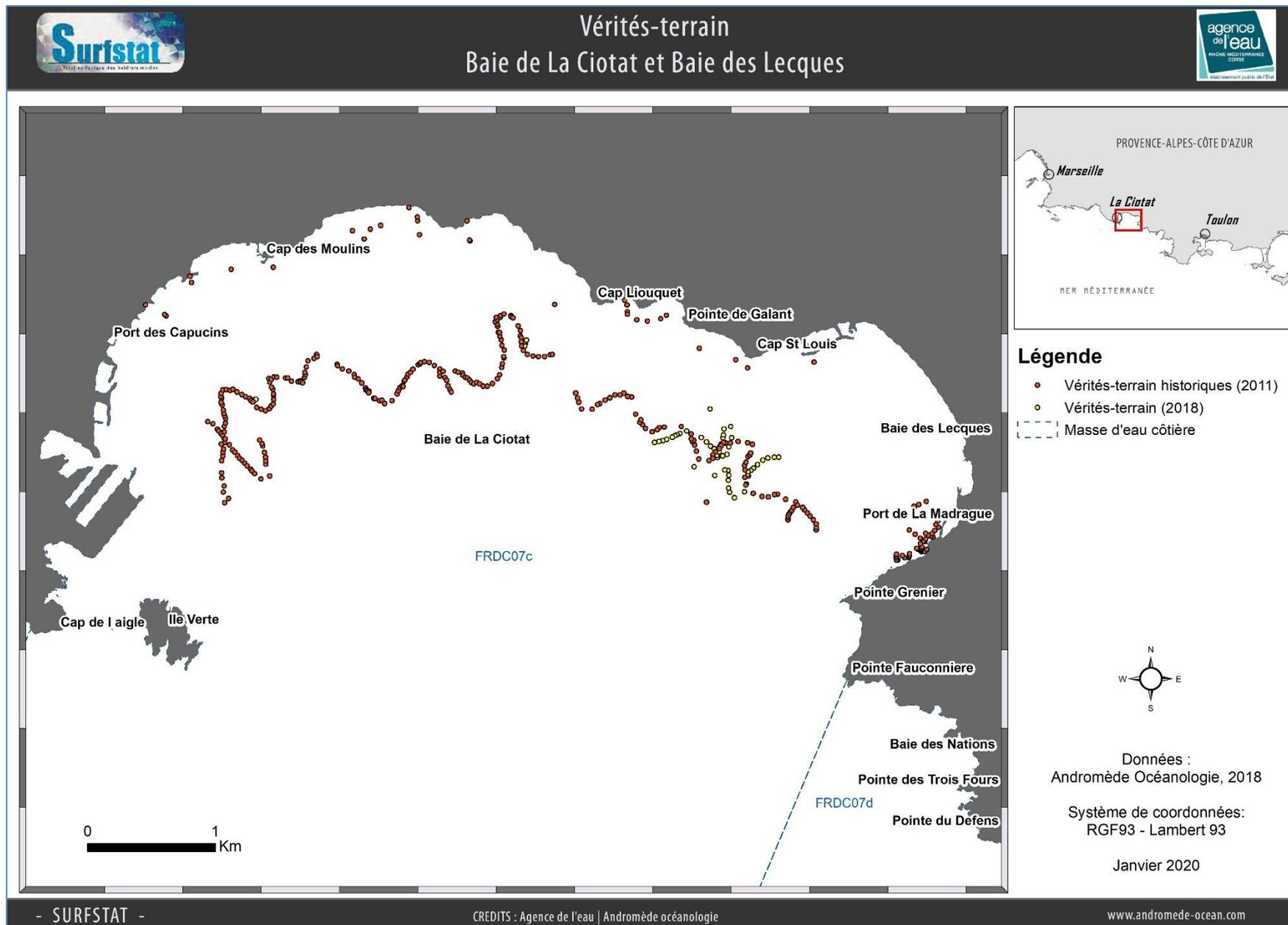
III.1.1. Sonar latéral

Au total, **762 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises puis traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses de la Baie de La Ciotat.

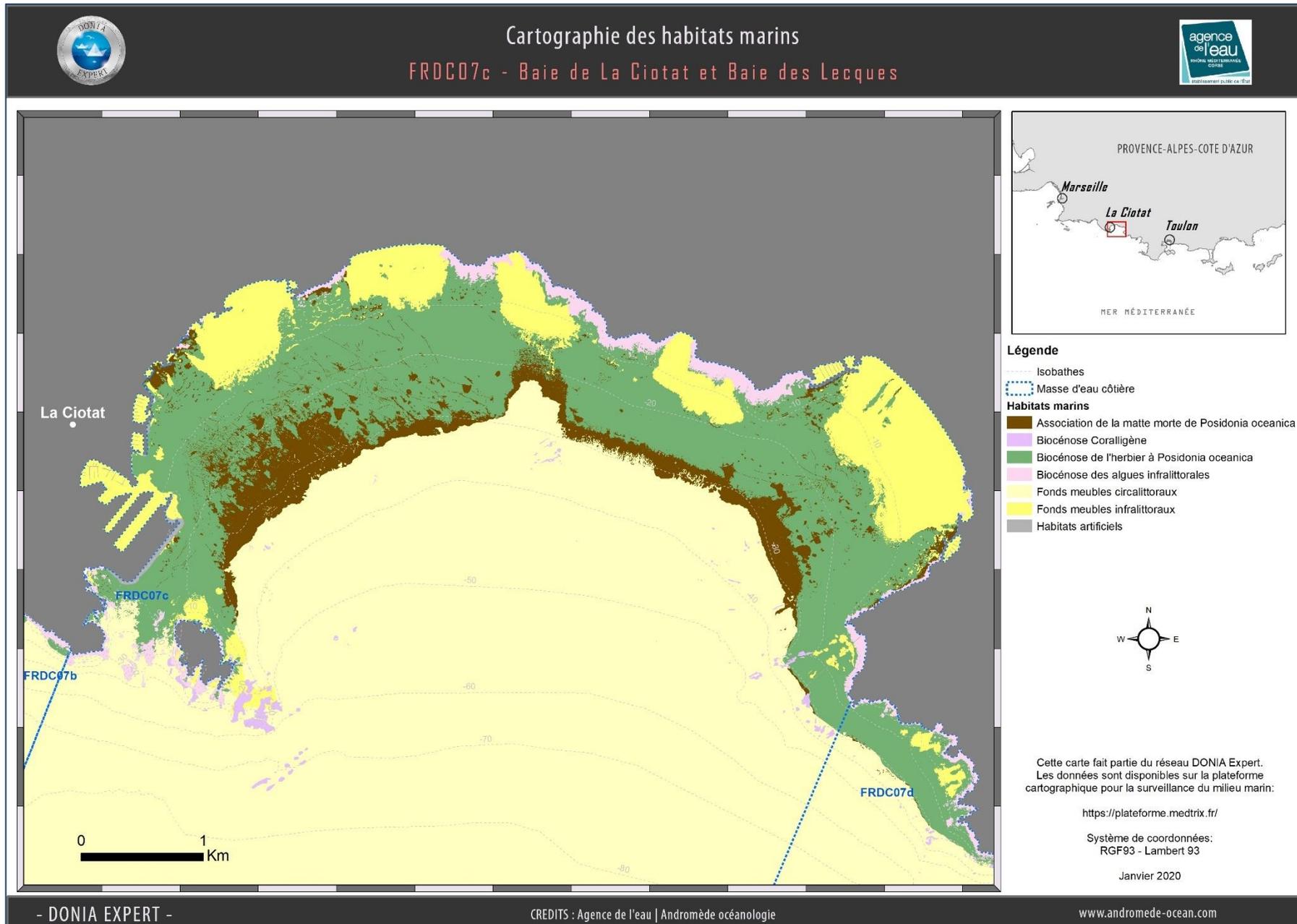


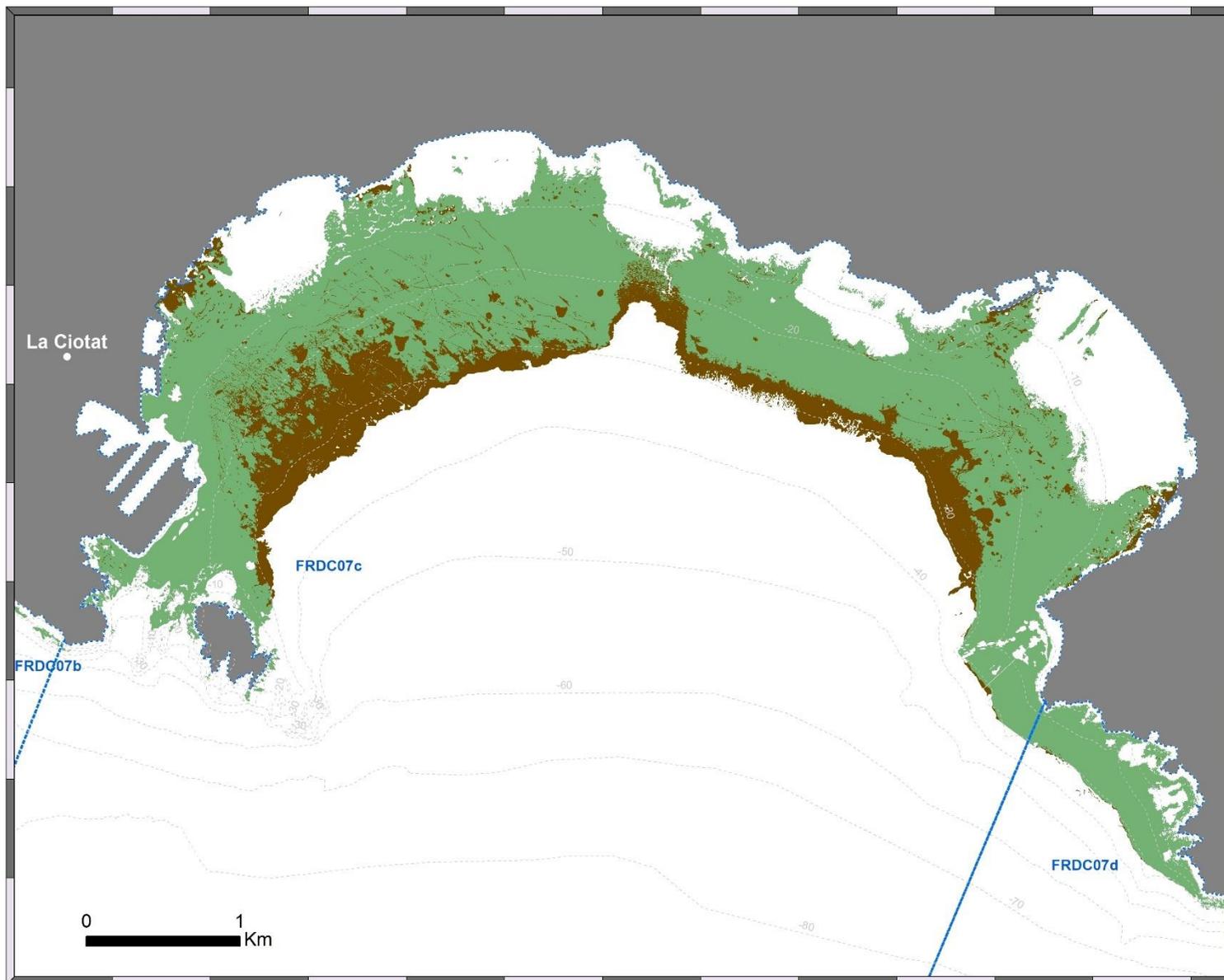
III.1.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée

Une cinquantaine d'observations ont été faites dans la Baie de La Ciotat en 2018. Les données historiques datent de 2011 et proviennent de l'analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site Natura 2000 « Baie de La Ciotat ».



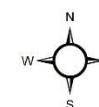
III.1.3. Cartographie des habitats marins : Baie de La Ciotat et Baie des Lecques





Légende

-  Isobathes
-  Masse d'eau côtière
- Habitats marins**
-  Association de la matte morte de *Posidonia oceanica*
-  Biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*



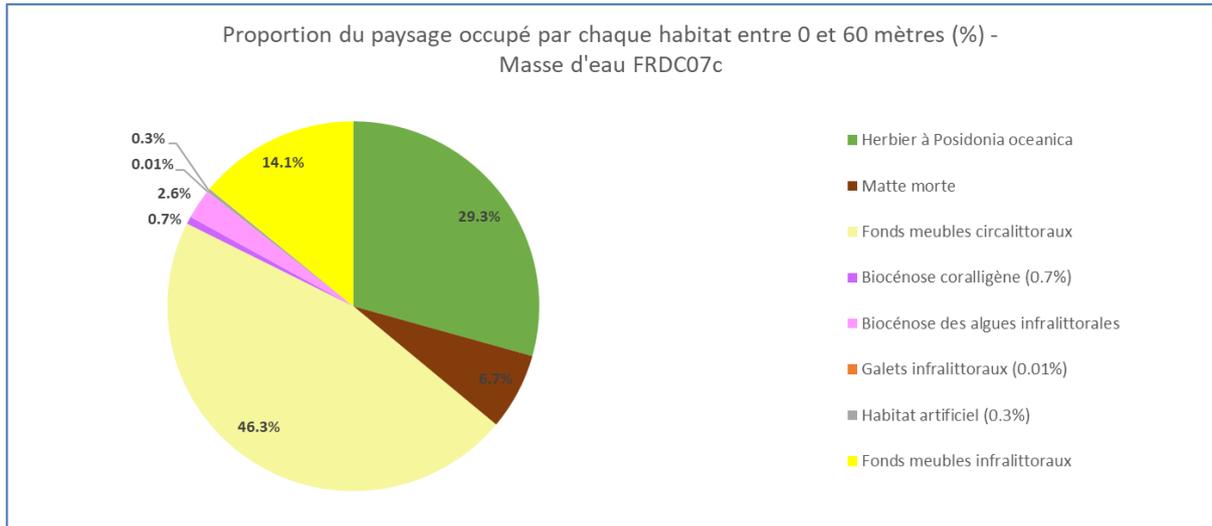
Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme
cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020

III.1.4. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC07c « Bec de l'Aigle – Pointe de la Fauconnière » comprend **huit habitats** entre 0 et 60 mètres dont les **trois principaux** (>10% de recouvrement du paysage) sont les **fonds meubles infralittoraux** (14,1 %) et **circalittoraux** (46,3 %) et **l'herbier à Posidonie** (29,3 %). 46,2 % du paysage est dominé par une tache unique de fonds meubles circalittoraux.

Cette masse d'eau présente une **diversité paysagère très forte**. En effet, l'indice de Simpson (0,78) est très proche de la valeur maximale pour la région (0,84). Le nombre d'habitats par 100 ha (0,37) est faible et le nombre de taches par 100 ha (98,6) est moyen comparativement aux valeurs de la région PACA. L'indice de Simpson est représenté sur un pixel de 20 mètres sur la carte suivante.

L'indice d'agrégation entre les taches entre 0 et 60 mètres met en évidence cinq habitats fragmentés (AI<90%). Pour trois d'entre eux ceci s'explique par leur taux de recouvrement inférieur à 1% : les habitats artificiels, les galets infralittoraux et la biocénose coralligène.

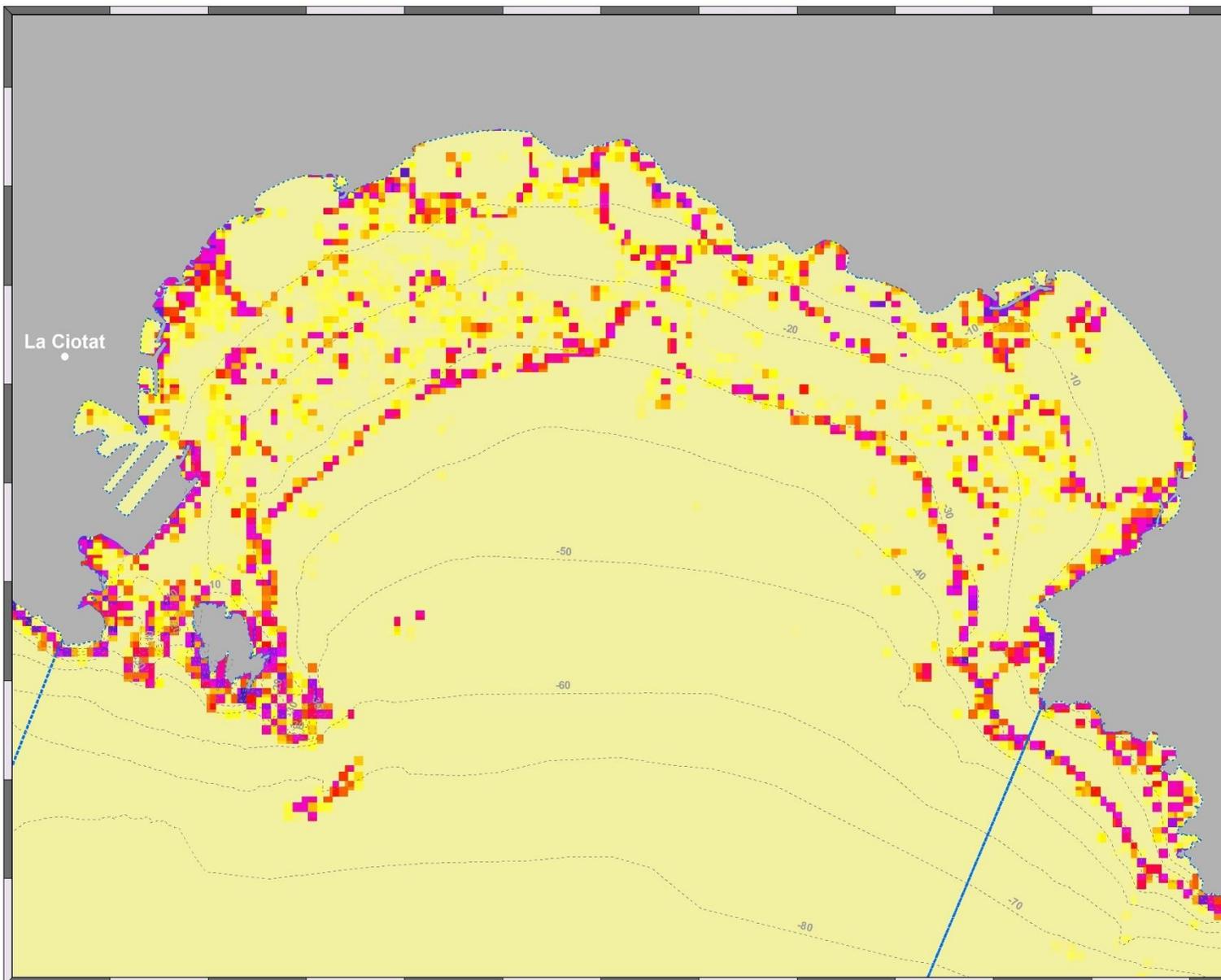
Les habitats les moins fragmentés (donc qui présentent une continuité et compacité des pixels forte) et les plus connectés entre eux (AI>90% et DIVISION<0,95) sont les herbiers à Posidonie et les fonds meubles circalittoraux. Cela peut notamment s'expliquer par une continuité horizontale traduisant un taux de recouvrement élevé sur la masse d'eau.

Cependant, les pixels formant les fonds meubles infralittoraux sont fortement agrégés voire connectés entre eux (AI>90%) mais l'indice de fragmentation montre un habitat très fragmenté (DIVISION>0,95). Cela s'explique par une distribution localisée mais dense des pixels (assez grandes taches éloignées entre elles de 0 à -15m généralement).

Tableau 5 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07c.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07c	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	2139.09	86.85 16846.75 0 4009.48
Nombre d'habitats dans le paysage	8	7 10 0 8.36
Densité des taches (Nb taches / 100 ha)	98.64	5.16 359.25 0 83.36
Pourcentage total du paysage compris par la plus grande tache	46.24	26.36 79.08 0 51.46
Densité d'habitats dans le paysage (Nb d'habitats / 100 ha)	0.37	0.05 8.06 0 0.92
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.78	0.47 0.84 0.66





Légende

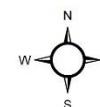
--- Isobathes

--- Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 20 mètres

Élevé

Faible



0 1 Km

Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme
cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020

L'herbier occupe **43,6% du paysage entre 0 et 40 mètres de fond**. Ce taux de recouvrement est légèrement au-dessus de la moyenne relevée sur l'ensemble des masses d'eau côtières en région PACA.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières en PACA, l'herbier de Posidonie de la masse d'eau FRDC07c se caractérise par un nombre très élevé de taches (34,1 taches/100 ha), de faible taille (1,28 ha) et une distance moyenne entre deux taches les plus proches de 10 mètres.

On note la présence d'une tache unique d'herbier couvrant 42,9% du paysage. L'indice d'agrégation (93,4%) est au-dessus de la moyenne des masses d'eau en région PACA et l'indice de fragmentation de l'herbier (0,82) est proche de la moyenne régionale. Cet herbier est moyennement fragmenté à cause de la présence de petites taches isolées ainsi que de nombreuses traces de mouillage et d'arts trainants en profondeur intermédiaire et en limite inférieure.

En effet, l'association de la matre morte de posidonie est l'habitat qui comprend le nombre le plus élevé de tâches entre 0 et 40 mètres pour cette masse d'eau (649 polygones). Ces taches sont peu agrégées entre elles (AI=80,5%) et l'habitat est très fragmenté (DIVISION>0,99), ce qui confirme la présence de traces de mouillage et d'arts trainants dans l'herbier.

Sur l'ensemble de la masse d'eau, l'évolution de l'herbier à posidonie montre une stabilité de 81,4 % et une concordance négative de 18,6%. L'indice de régression pour la masse d'eau FRDC07c (0,19) est presque identique à la moyenne régionale et indique une régression moyenne de l'herbier par rapport aux autres masses d'eau (carte page suivante).

Une **zone de progression d'herbier en atoll** située à l'Est de la Baie de La Ciotat a été observée en plongée-tractée (Figure 12)

Une carte de régression pour la masse d'eau FRDC07c a également été effectuée après actualisation de la cartographie des biocénoses afin d'observer l'évolution de l'herbier entre 2010 et 2018 (p.37) : **25,5 ha d'herbier de posidonie ont régressé à l'ouest de la baie et principalement en limite inférieure d'herbier.**

Les données historiques qui ont été utilisées pour l'évolution de l'herbier entre 2010 et 2018 proviennent de l'analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site N2000 « Baie de La Ciotat » (Andromède Océanologie, 2013) pour laquelle des levés au sonar latéral et des vérités-terrain ont été effectués respectivement en 2010 et 2011.

Tableau 6 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07c.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07c	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	43.63	1.15 — 0 — 79.23 38.29
Densité de taches (Nb taches / 100 ha)	34.07	1.01 — 0 — 42.89 14.11
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	42.9	0.56 — 0 — 79.08 30.24
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	1.28	0.81 — 0 — 26.6 4.75
Indice de complexité des formes	1.06	1.05 — 0 — 1.14 1.09
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	10.26	7.49 — 0 — 122.03 32.66
Indice de fragmentation de l'herbier	0.82	0.37 — 0 — 1 0.86
Indice d'agrégation entre les taches (%)	93.38	77.88 — 0 — 99.19 91.89
Indice de régression	0.19	0 — 0 — 0.56 0.17



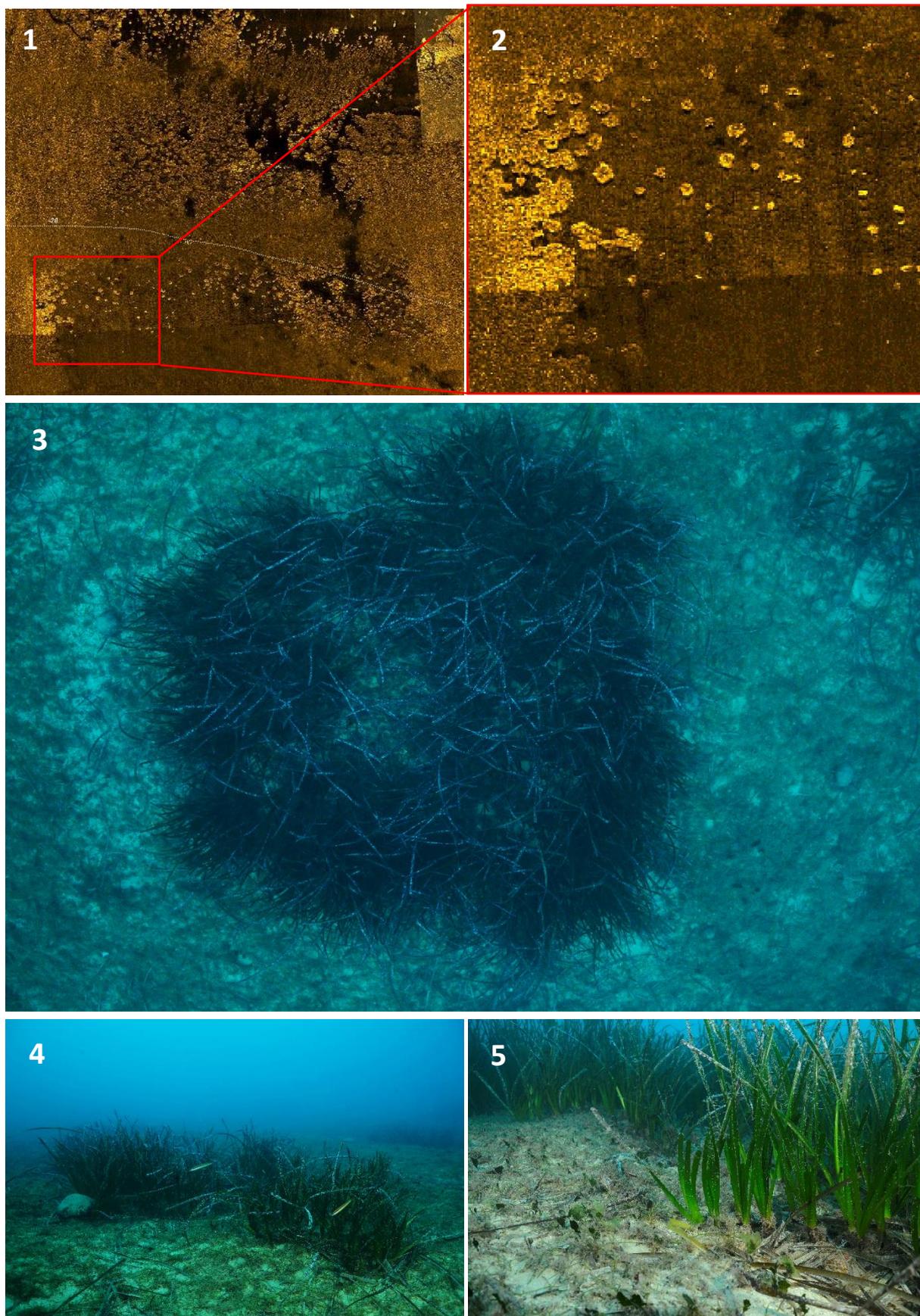
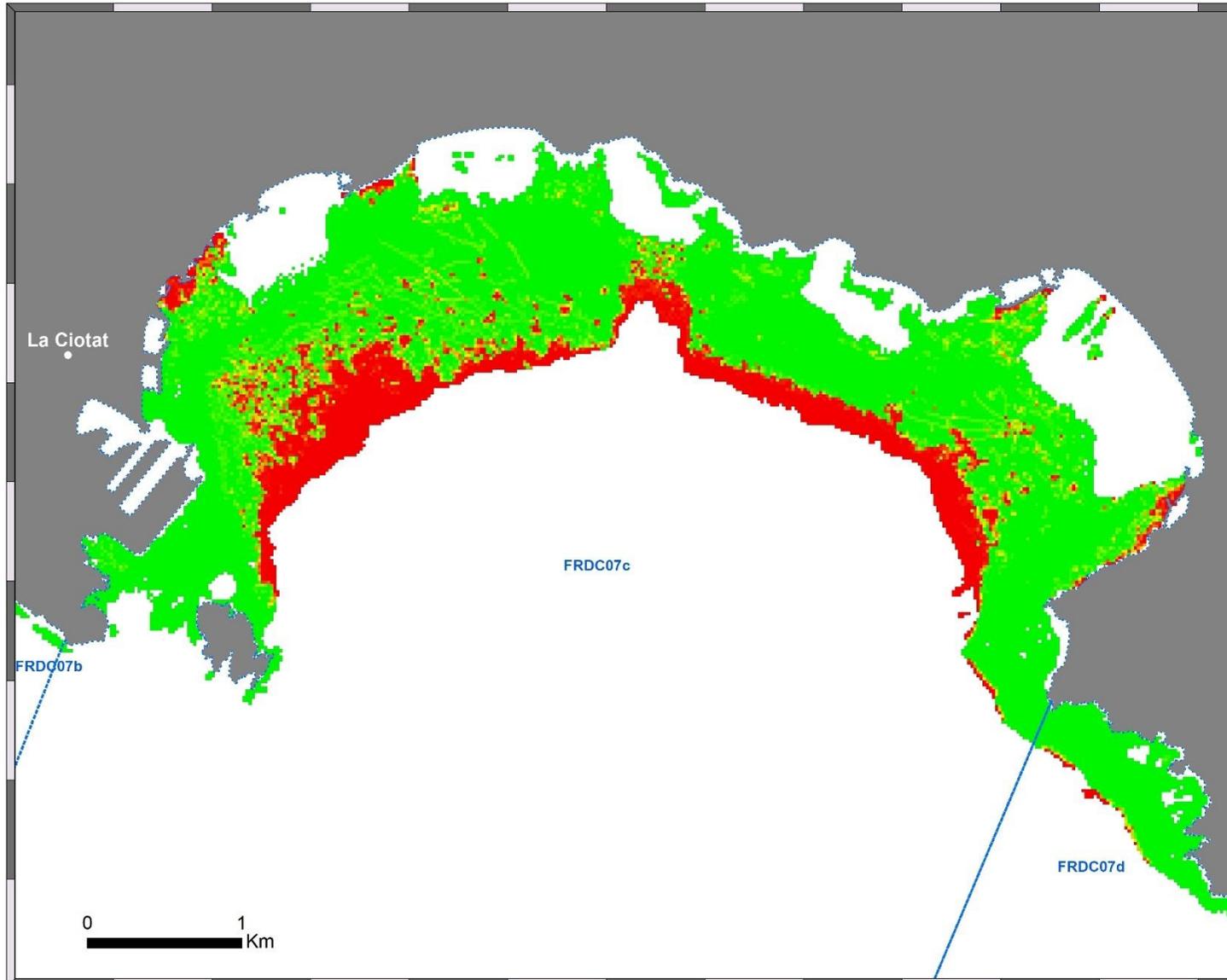
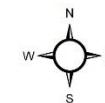


Figure 11 : (1) Levé sonar de la zone de reprise d'herbier en « atoll » à l'est de la Baie de La Ciotat avec (2) zoom sur quelques patchs et photographies (3) d'un patch d'herbier, (4) d'une touffe d'herbier en formation et (5) d'un rhizome plagiotrope en pleine expansion horizontale (signe que l'herbier continue de s'étendre).



Légende

- Masse d'eau côtière
- Indice de régression sur un pixel de 20 mètres
- Valeur
- 1
- 0



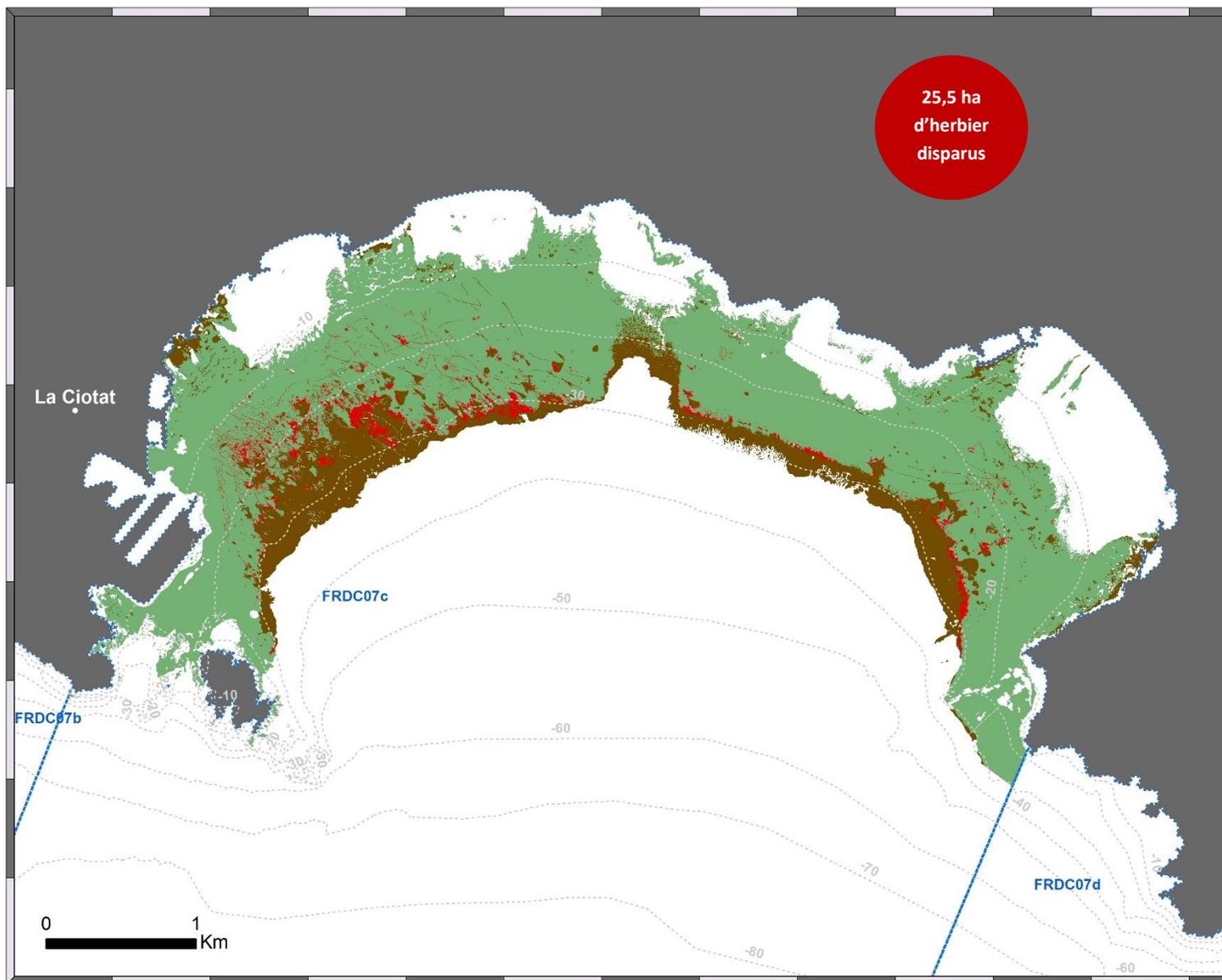
Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

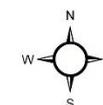
Janvier 2020





Légende

- Isobathes
- ▭ Masse d'eau côtière
- Evolution des limites de l'herbier entre 2010 et 2018**
- Concordance 2010-2018 (Herbier stable)
- Discordance négative 2010-2018
- Matte morte stable 2010-2018



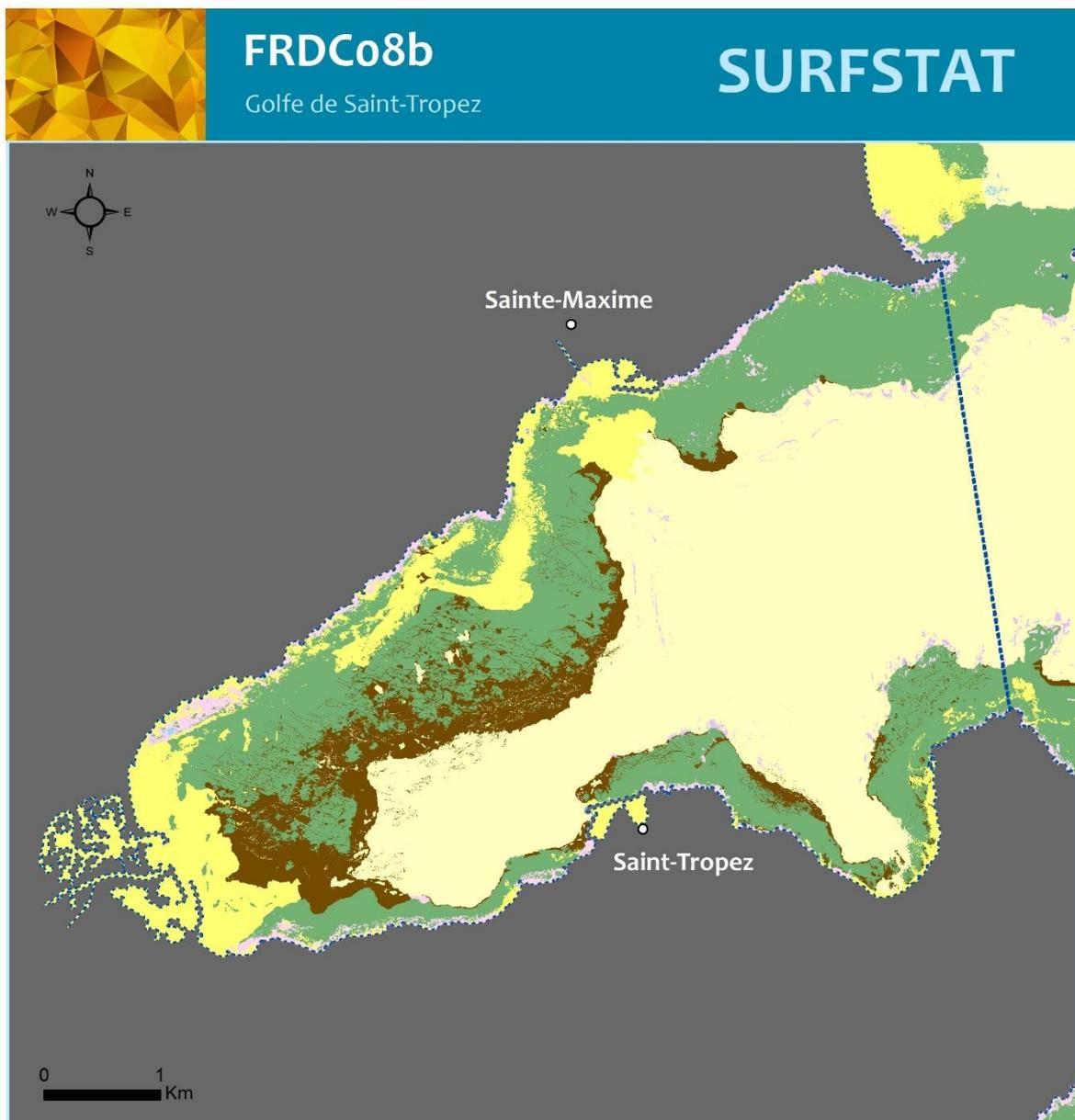
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et Suivi de l'impact du mouillage. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020

III.2. Masse d'eau FRDC08b



GOLFE DE SAINT-TROPEZ



Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme
cartographique pour la surveillance du milieu marin :

<https://plateforme.medtrix.fr>

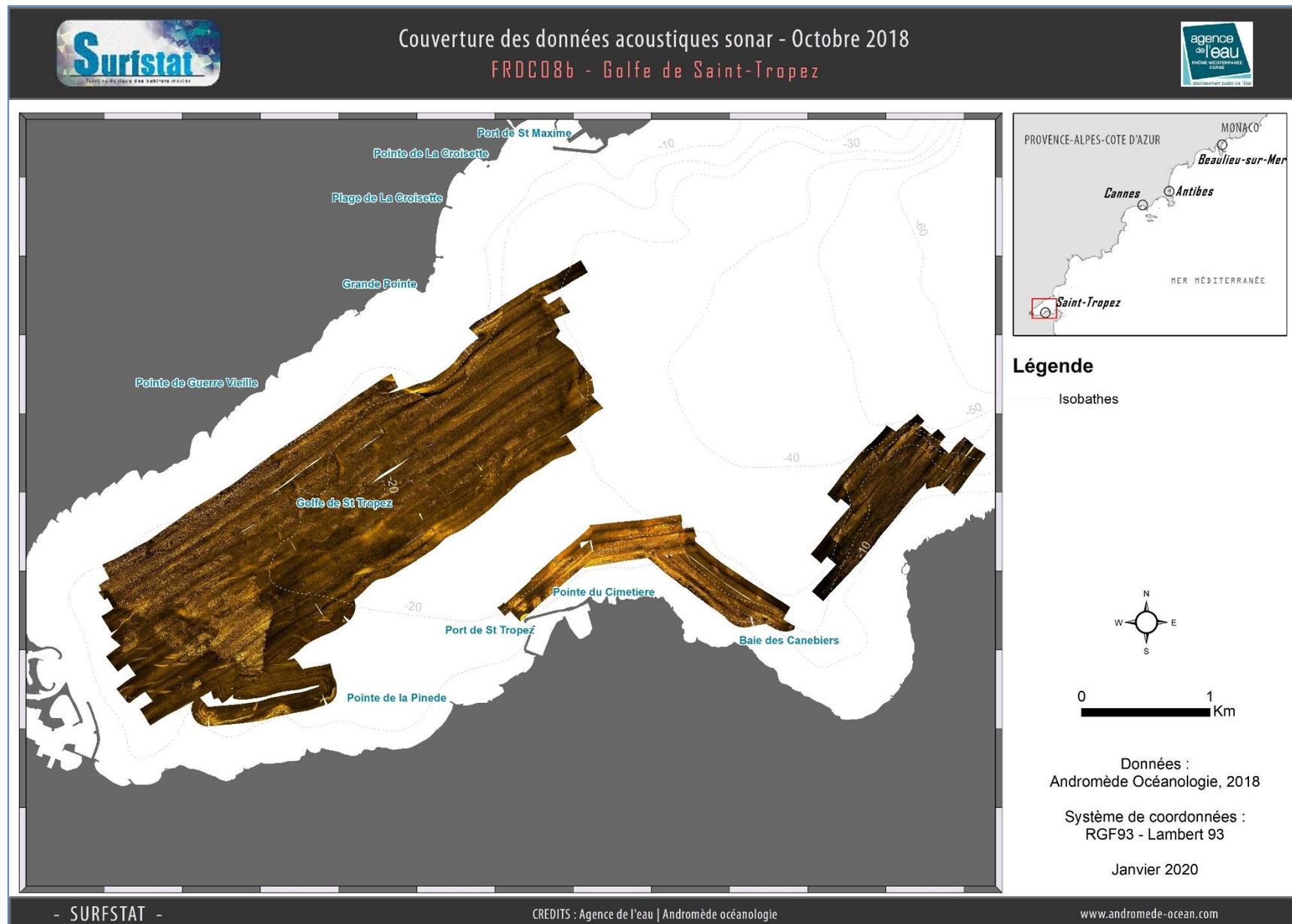
SYSTEME DE COORDONNEES:
RGF93 Lambert 93
Lambert Conformal Conic
Datum : RGF 1993

Janvier 2020

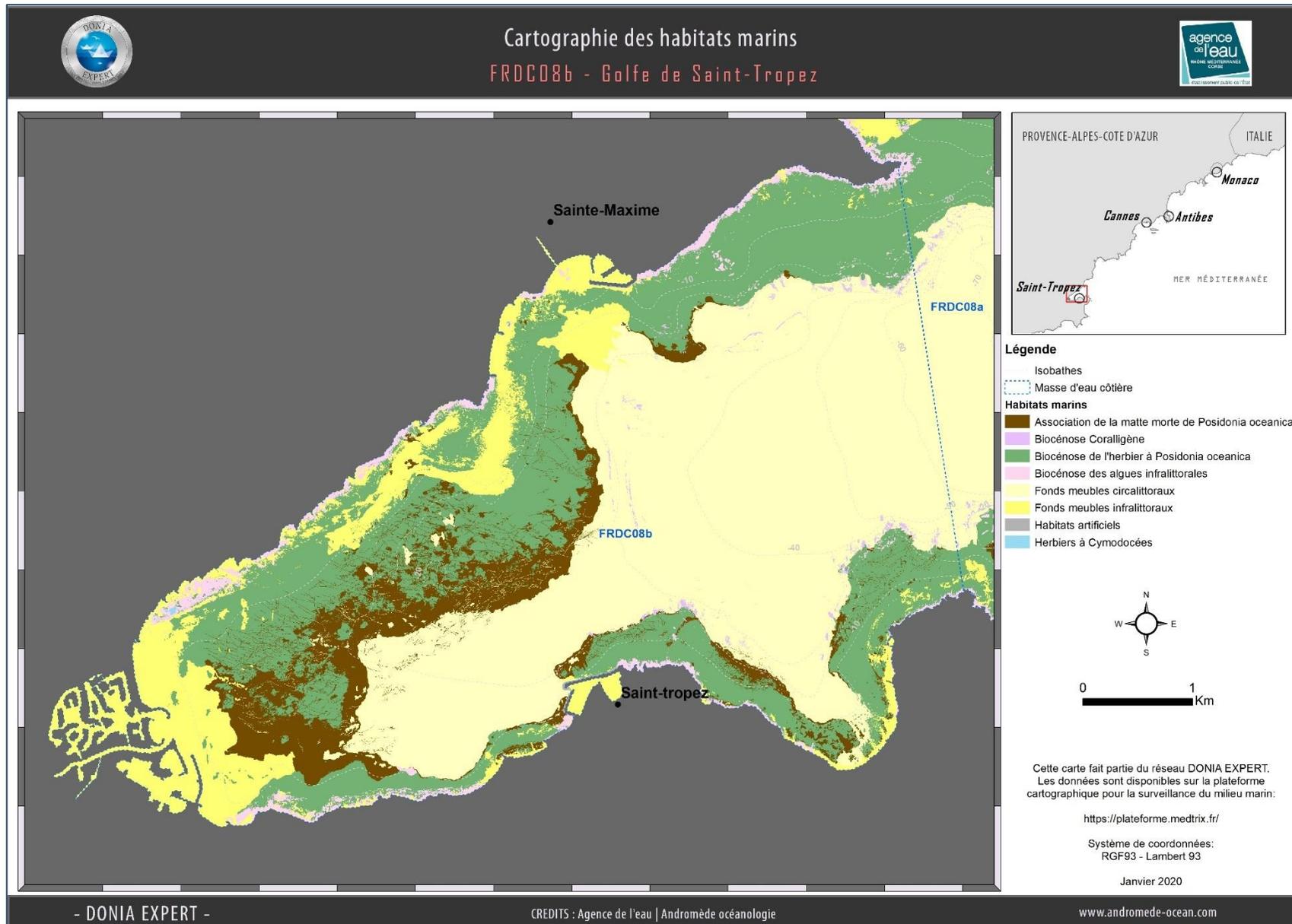


III.2.1. Sonar latéral

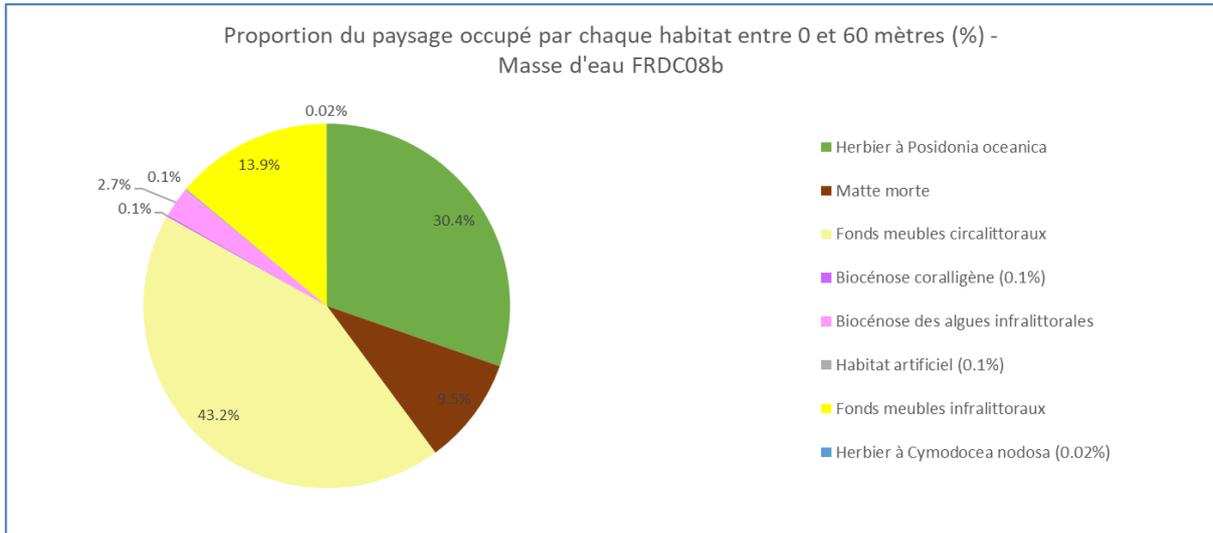
Au total, **760 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses du Golfe de Saint-Tropez.



III.2.2. Cartographie des habitats marins : Golfe de Saint-Tropez



III.2.3. Analyse du paysage



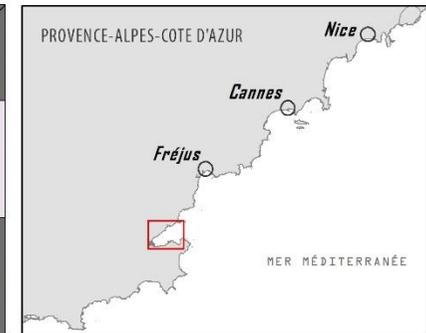
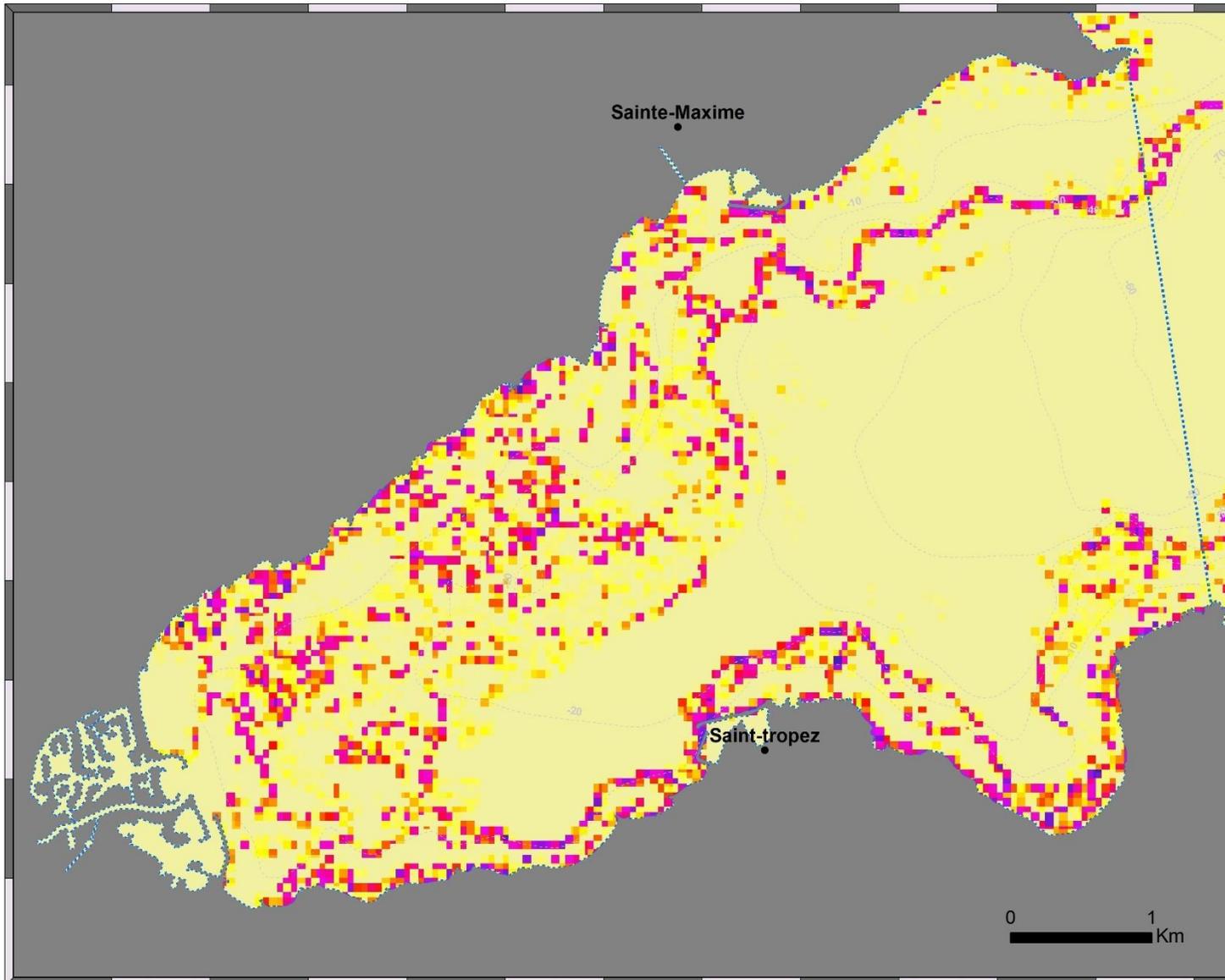
La masse d'eau FRDC08b « Golfe de Saint-Tropez » comprend huit habitats entre 0 et -60 mètres dont les trois principaux (>10% de recouvrement du paysage) sont les fonds meubles infralittoraux (13,9%) et circalittoraux (43,2%) et l'herbier à Posidonie (30,4%). Il est important de noter que 9,5% du paysage est occupé par de la matte morte. 30,4% du paysage est dominé par une tache unique d'herbier à Posidonie.

Cette masse d'eau présente une **diversité paysagère très forte**. En effet, la valeur de l'indice de Simpson (0,79) est proche de la valeur maximale régionale. Le nombre d'habitats pour 100 ha (0,3) est cependant faible comparativement aux valeurs observées sur toute la région PACA. Il est représenté sur un pixel de 20 mètres sur la carte page suivante.

Les indices d'agrégation entre les taches et de fragmentation entre 0 et 60 mètres mettent en évidence un paysage sous-marin particulièrement fragmenté. Sept habitats sur huit ont un indice d'agrégation inférieur à 90% et un indice de fragmentation supérieur à 0,95. La densité de taches est en effet assez élevée (241/100ha) en comparaison aux autres valeurs obtenues sur la région avec une taille moyenne assez faible (0,2 ha). Seuls les fonds meubles circalittoraux sont considérés comme étant continus (AI>98% ; DIVISION=0,82). Cependant, les habitats « herbier de Posidonie » et « fonds meubles infralittoraux » ont un indice d'agrégation très proche de 90% (AI=88,5 et AI=89,2 respectivement), ce qui sous-entend tout de même une assez forte connectivité des pixels entre eux et donc un assez fort taux de recouvrement pour cette masse d'eau.

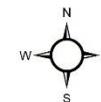
Tableau 7 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC08b

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC08b	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	2658.06	86.85 16846.75 4009.48
Nombre d'habitats dans le paysage	8	7 10 8.36
Densité des taches (Nb taches / 100 ha)	240.59	5.16 359.25 83.36
Pourcentage total du paysage compris par la plus grande tache	42.78	26.36 79.08 51.46
Densité d'habitats dans le paysage (Nb d'habitats / 100 ha)	0.3	0.05 8.06 0.92
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.79	0.47 0.84 0.66



Légende

- Isobathes
- Masse d'eau côtière
- Indice de Simpson sur un pixel de 20 mètres
- Elevé
- Faible



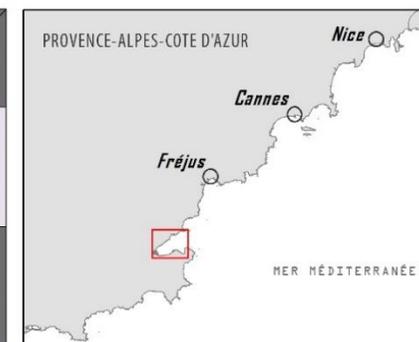
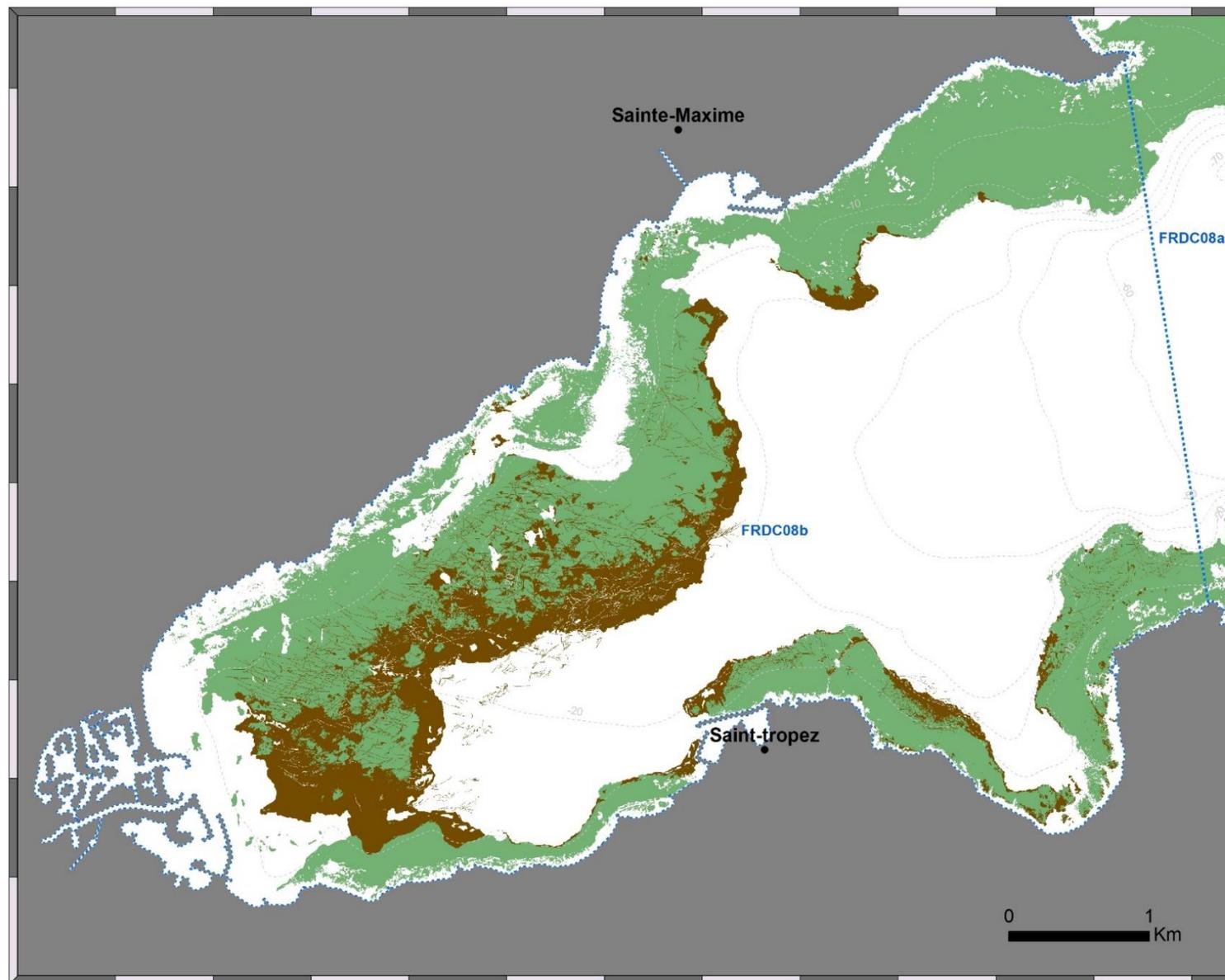
Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme
cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

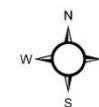
Janvier 2020





Légende

- Isobathes
- Masse d'eau côtière
- Habitats marins**
 - Association de la matte morte de *Posidonia oceanica*
 - Biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*



Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme
cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020

L'herbier occupe 35,3% du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce taux de recouvrement est moyen sur l'ensemble des masses d'eau côtières en région PACA.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières, l'herbier à Posidonie de la masse d'eau FRDC08b est continu. 23,3% du paysage est occupé par une tache unique d'herbier. Il se caractérise ainsi par un nombre de taches élevé (35,7 taches/100 ha) et de très petite taille (1 ha ; proche de la minimale régionale). Les taches sont proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux taches les plus proches est de 10,2 mètres entre 0 et 40 mètres).

L'herbier de la masse d'eau FRDC08b a un indice de fragmentation très élevé (DIVISION=0,94) et un indice d'agrégation élevé mais légèrement en-dessous de la moyenne (AI=88,6%). Cela montre donc que l'herbier de posidonie est très fragmenté (probabilité élevée que deux pixels appartiennent à deux taches différentes) et que le taux de recouvrement est moyennement dense (connexion des pixels moyennement forte) pour la tranche bathymétrique 0-40m.

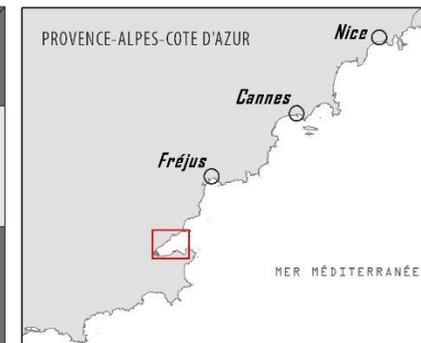
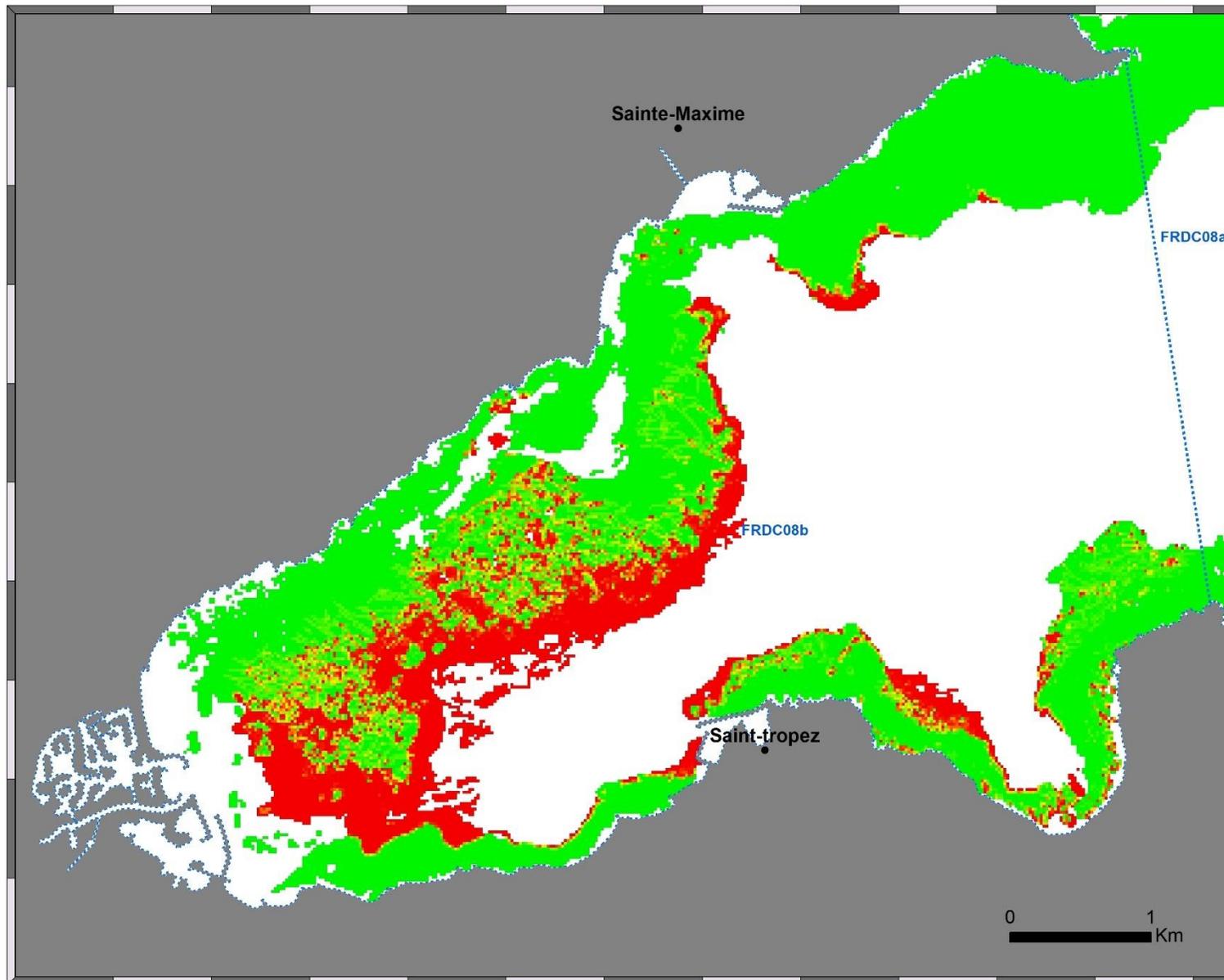
Sur l'ensemble de la masse d'eau, l'évolution de l'herbier à posidonie montre une stabilité de 76,1 % et une concordance négative de 23,9%. L'indice de régression pour la masse d'eau FRDC08b (0,24) est au-dessus de la moyenne régionale, ce qui indique une régression de l'herbier légèrement plus élevée par rapport aux autres masses d'eau. L'indice de régression est représenté sur un pixel de 20 mètres sur la carte page suivante.

Tableau 8 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC08b.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC08b	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	35.31	1.15 — 0 — 79.23 38.29
Densité de taches (Nb taches / 100 ha)	35.69	1.01 — 0 — 42.89 14.11
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	23.33	0.56 — 0 — 79.08 30.24
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.99	0.81 — 0 — 26.6 4.75
Indice de complexité des formes	1.06	1.05 — 0 — 1.14 1.09
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	10.21	7.49 — 0 — 122.03 32.66
Indice de fragmentation de l'herbier	0.94	0.37 — 0 — 1 0.86
Indice d'agrégation entre les taches (%)	88.55	77.88 — 0 — 99.19 91.89
Indice de régression	0.24	0 — 0 — 0.56 0.17

Deux cartes de régression pour la masse d'eau FRDC07c ont été produites après actualisation de la cartographie des biocénoses afin d'observer l'évolution de l'herbier entre 2010 et 2015 (p. 44) puis entre 2015 et 2018 (p.45). Ainsi, **107,6 ha d'herbier de posidonie ont régressé entre 2010 et 2015** et **38,1 ha entre 2015 et 2018, pour un total de 145,7 ha en 8 ans.**



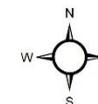


Légende

 Masse d'eau côtière

 Indice de régression sur un pixel de 20 mètres

Valeur

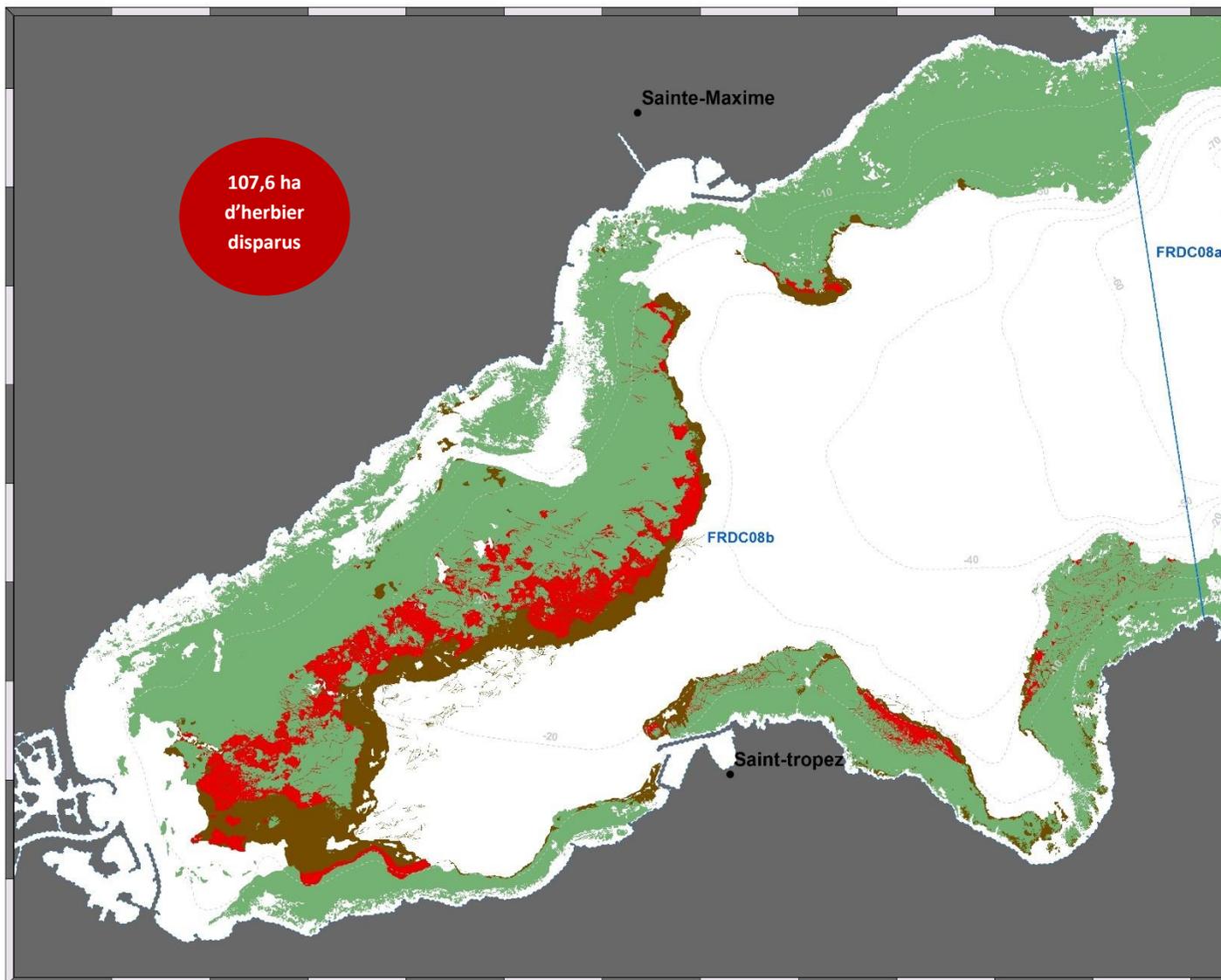


Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme
cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020



107,6 ha
d'herbier
disparus



Légende

- Isobathes
- - - Masse d'eau côtière

Evolution des limites de l'herbier entre 2010 et 2015

- Concordance 2010-2015 (Herbier stable)
- Discordance négative 2010-2015
- Matte morte stable 2010-2015



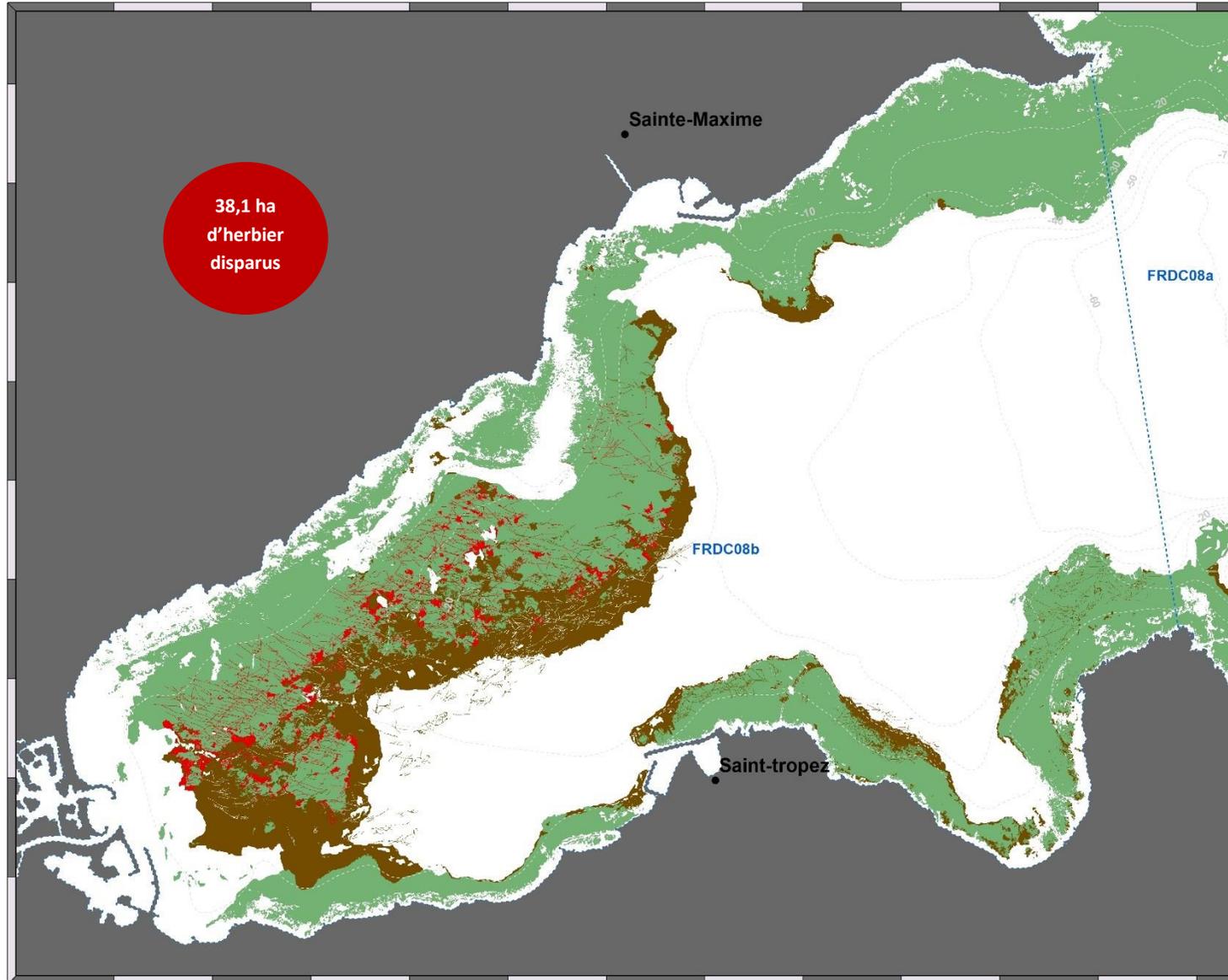
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et Suivi de l'impact mouillage. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

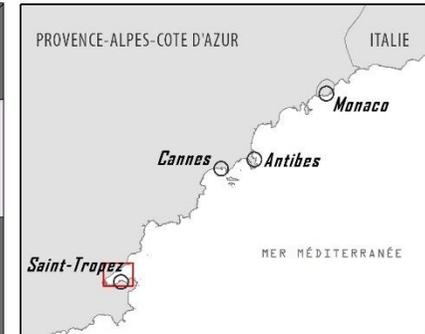
Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020



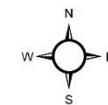


38,1 ha
d'herbier
disparus



Légende

- Isobathes
- Masse d'eau côtière
- Evolution des limites de l'herbier entre 2015 et 2018**
- Concordance 2015-2018 (Herbier stable)
- Discordance négative 2015-2018
- Matte morte stable 2015-2018



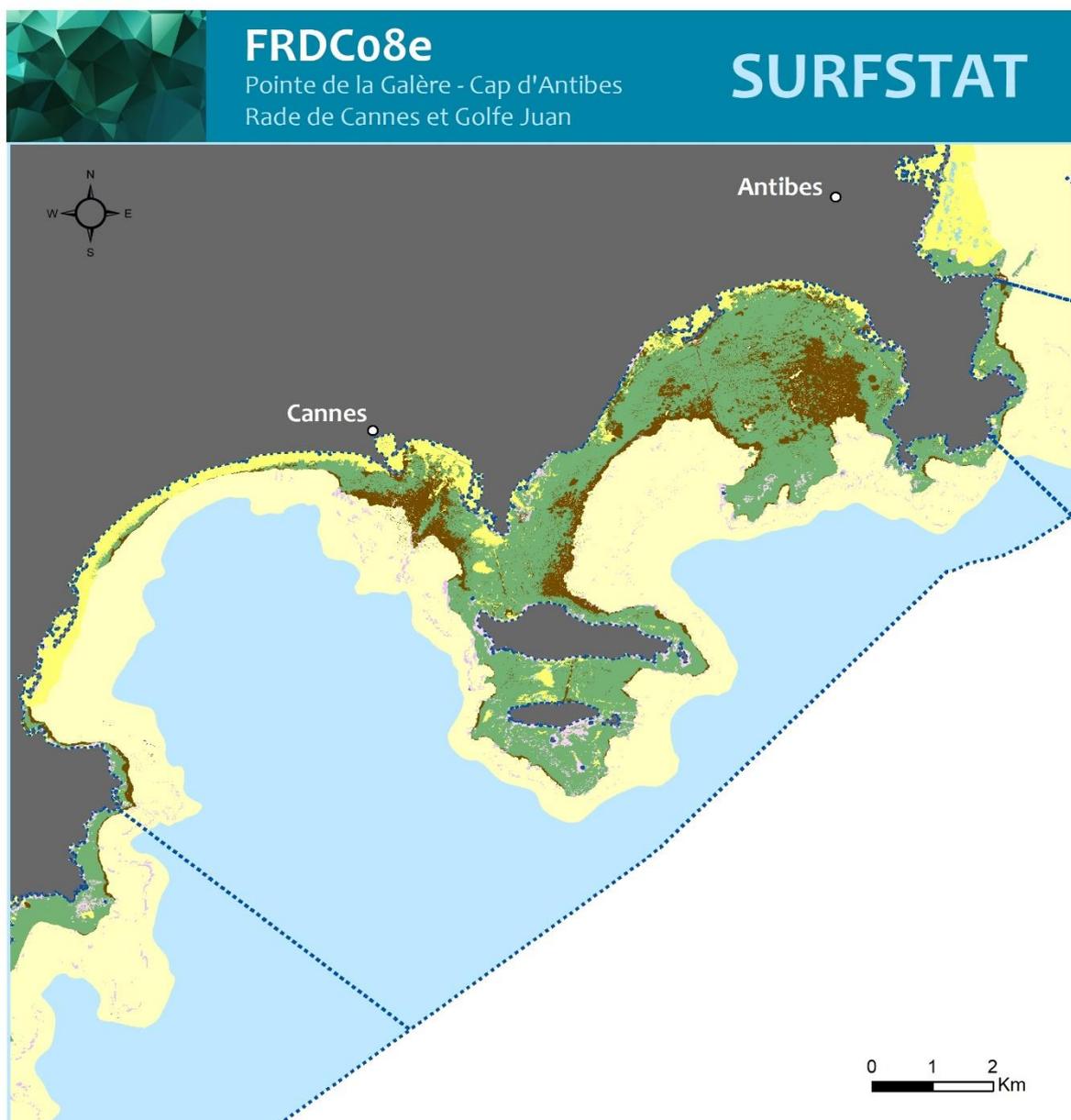
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et Suivi de l'impact du mouillage. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020

III.3. Masse d'eau FRDC08e



POINTE DE LA GALERE - CAP D'ANTIBES



Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme
cartographique pour la surveillance du milieu marin :

<https://plateforme.medtrix.fr>

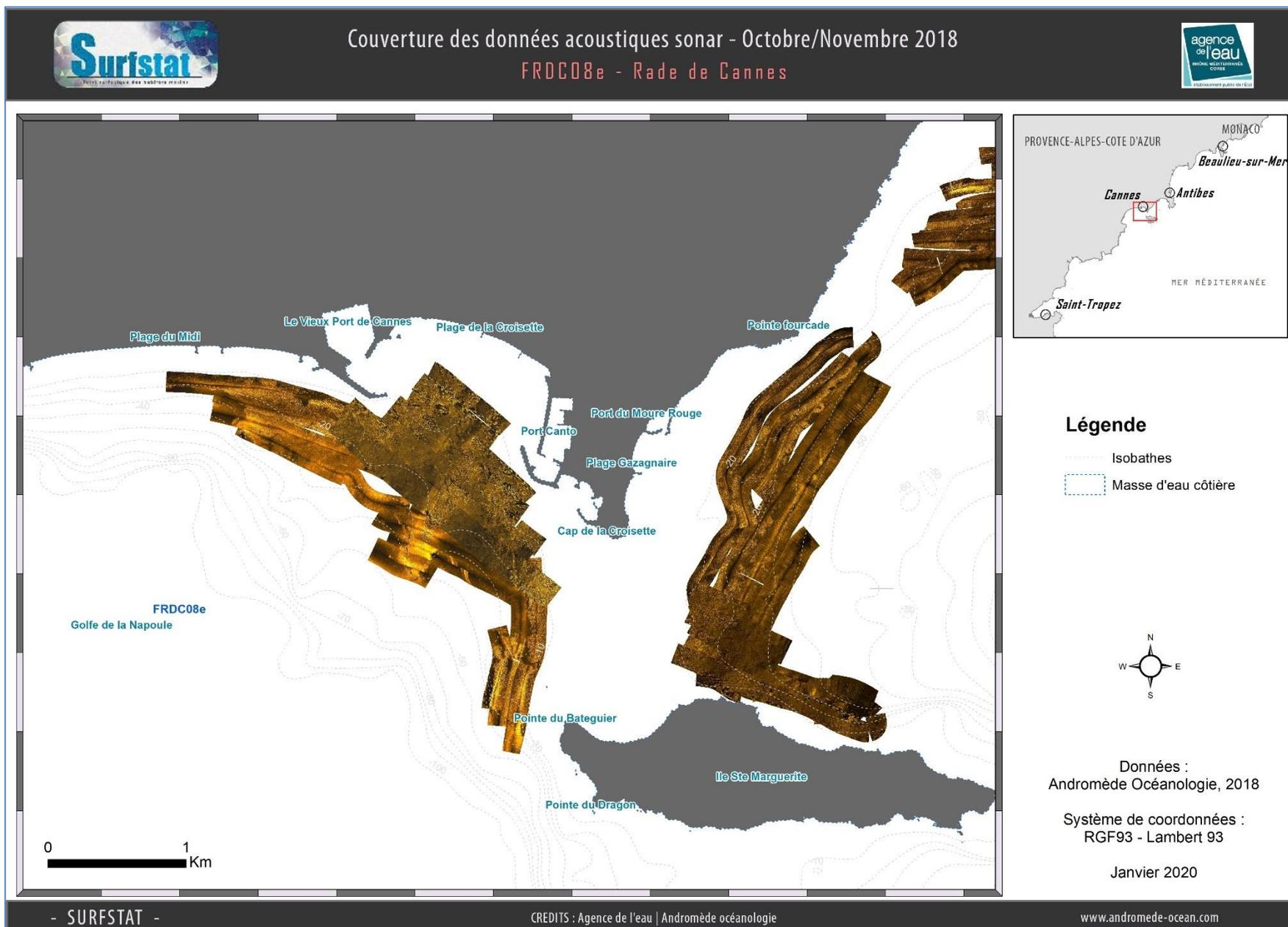
SYSTEME DE COORDONNEES:
RGF93 Lambert 93
Lambert Conformal Conic
Datum : RGF 1993

Janvier 2020

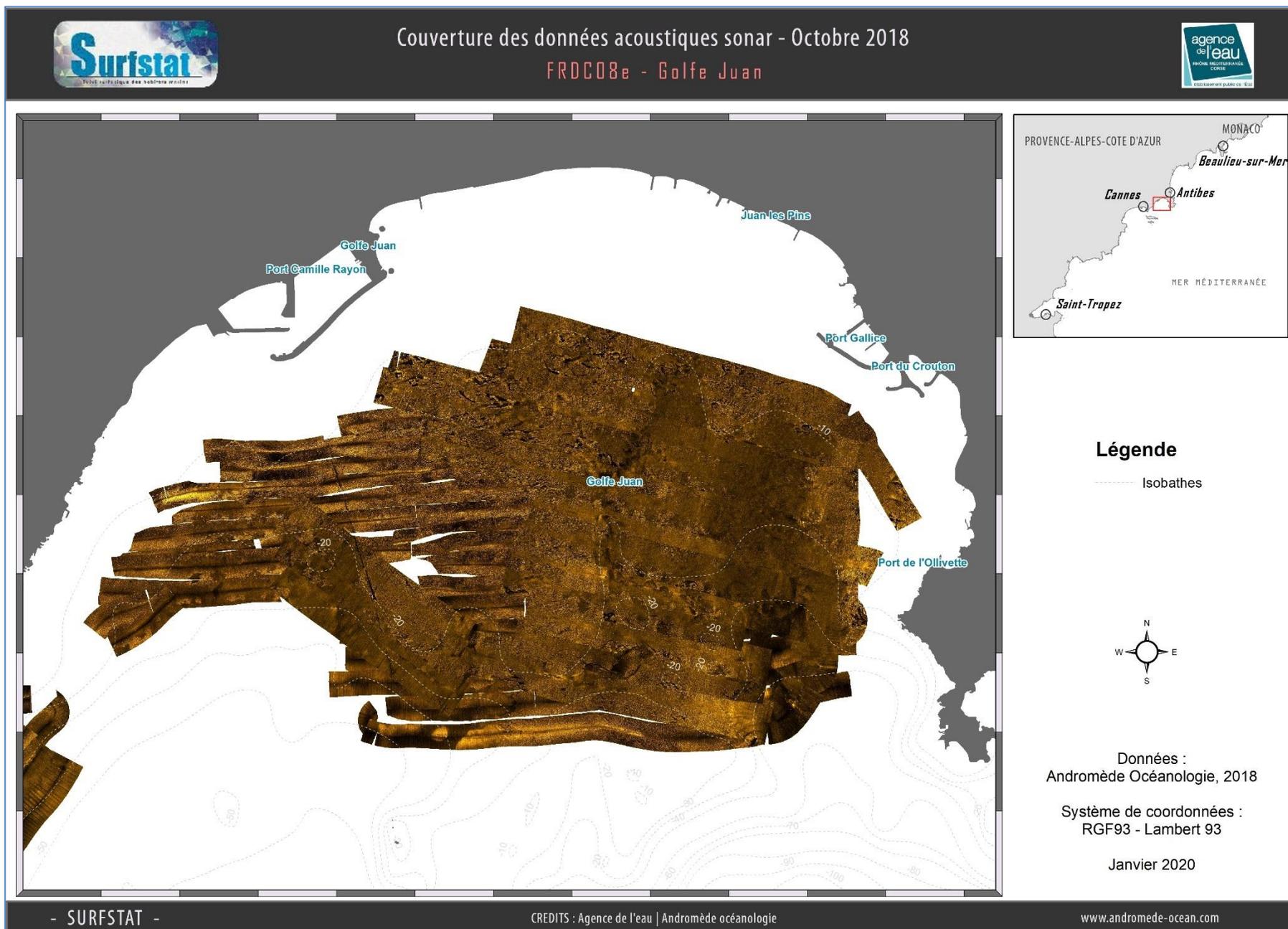


III.3.1. Sonar latéral

Au total, **470 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses de la Rade de Cannes.

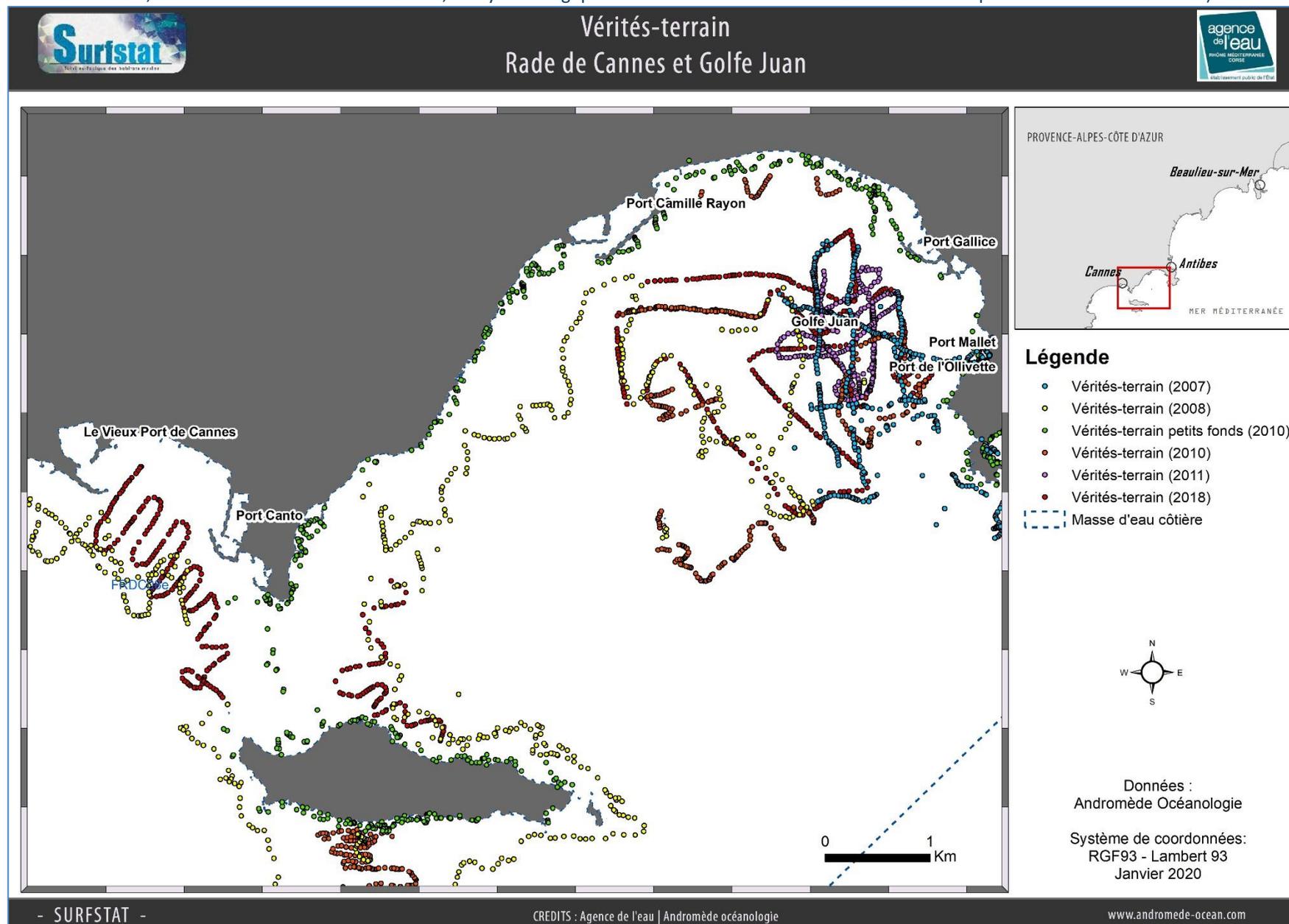


Au total, **675 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses du Golfe Juan.

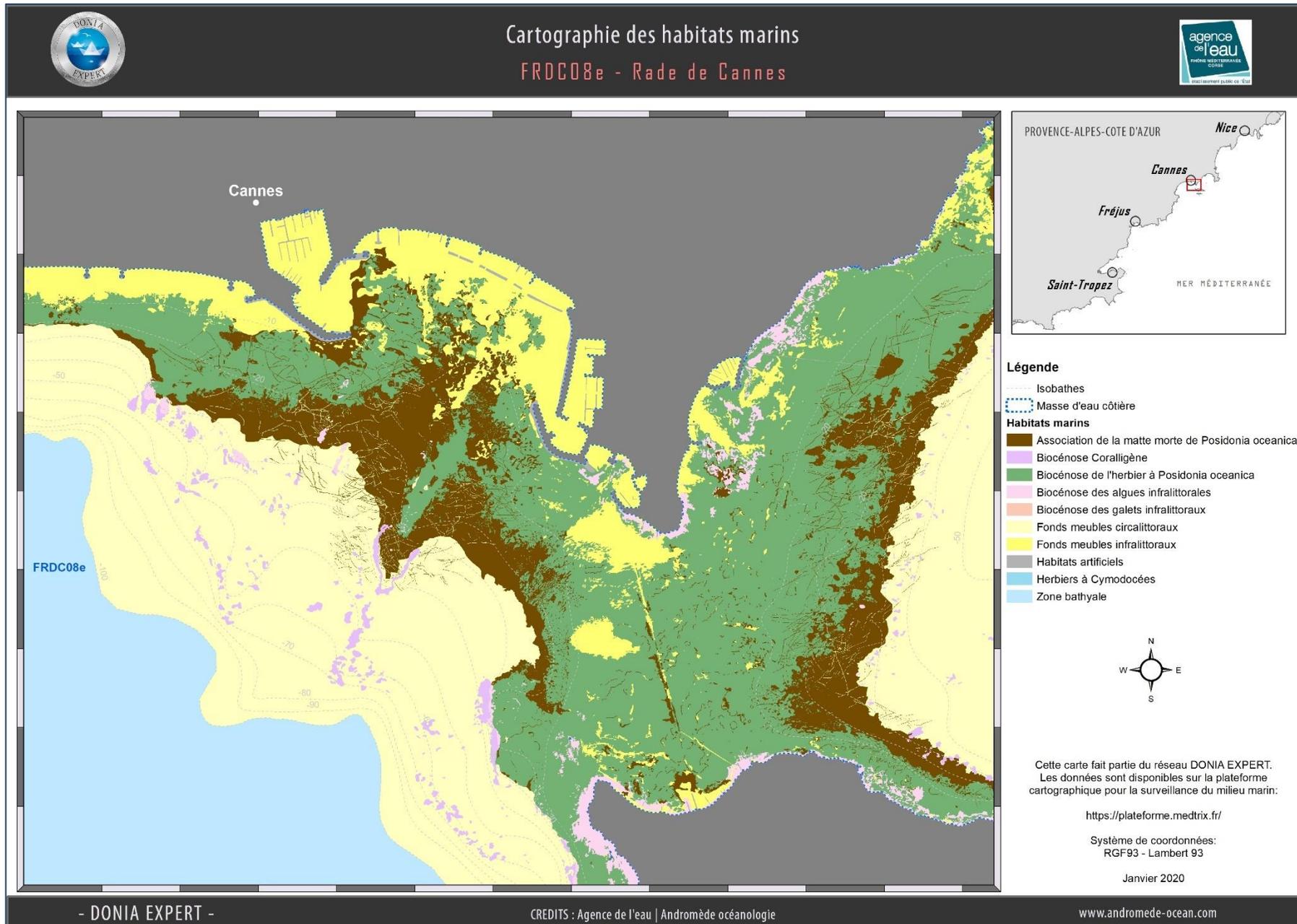


III.3.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée

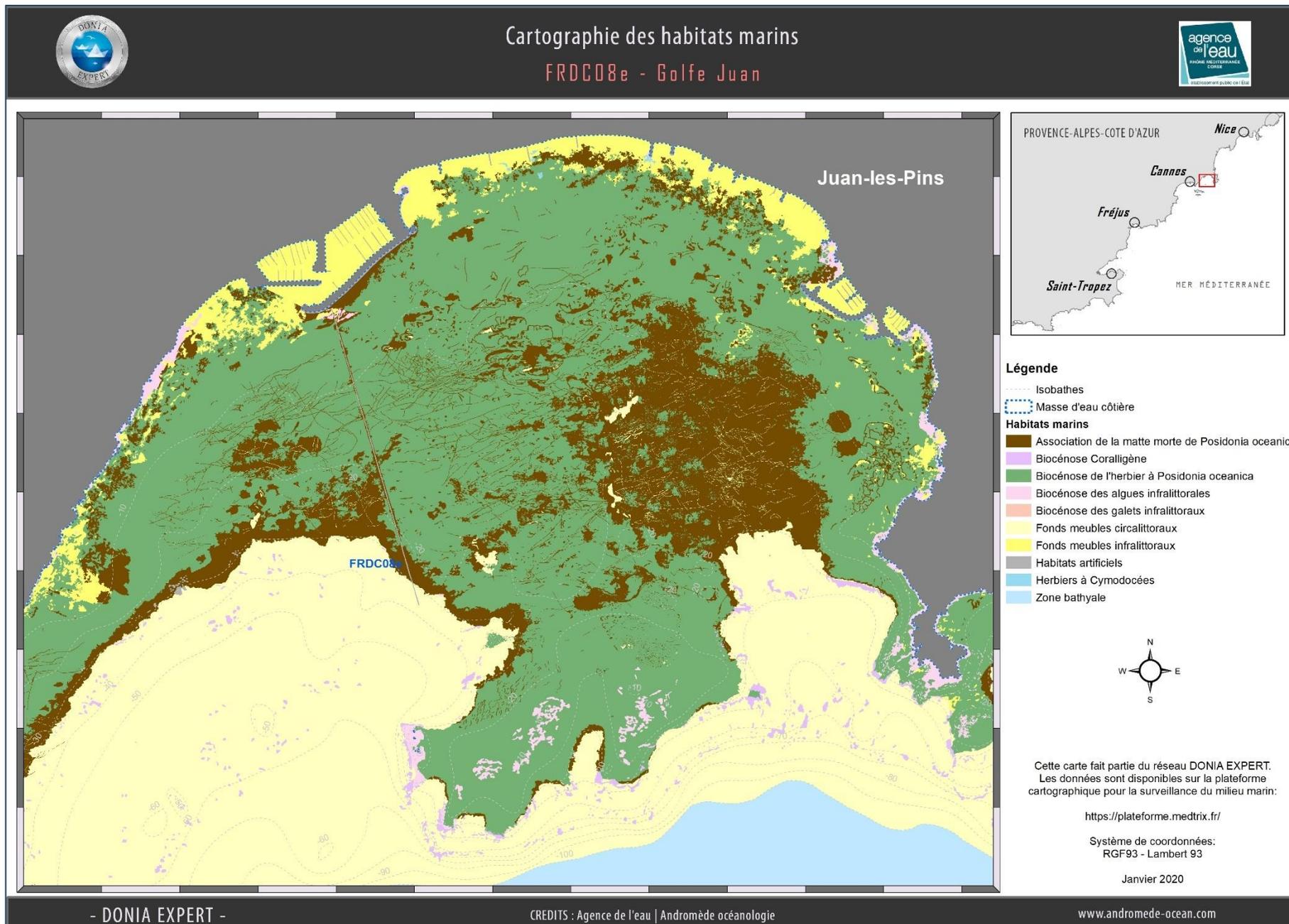
750 observations ont été faites dans la Rade de Cannes et à Golfe Juan en 2018. Les données historiques datent de 2007 à 2011 et proviennent de diverses études (Contrat de Baie avec la Communauté Nice Côte d'Azur, Contrat de Baie des Golfs de Lérins, Analyse écologique des habitats marins du site N2000 « Baie et Cap d'Antibes – îles de Lérins »).

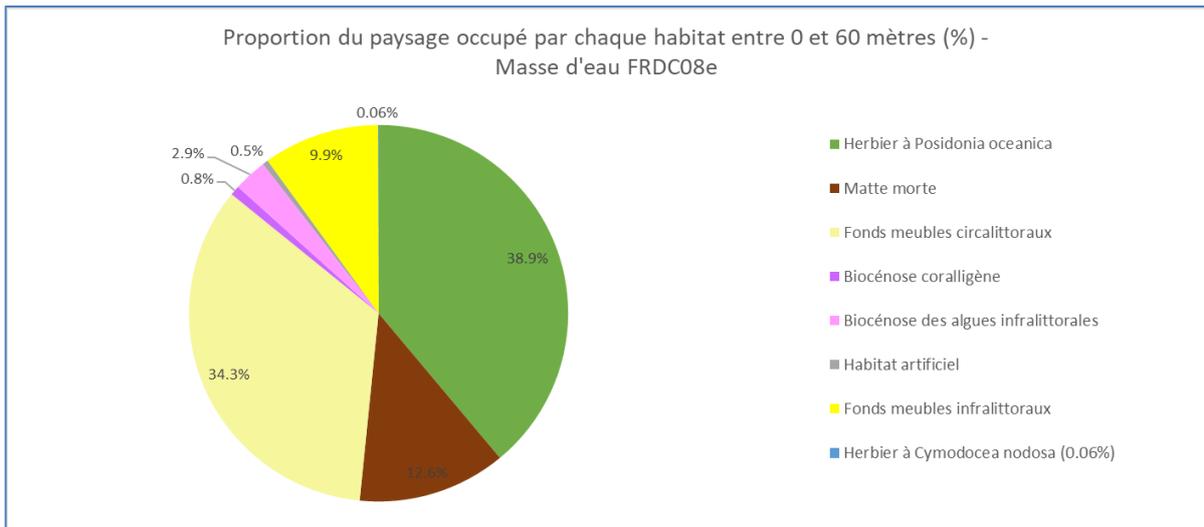


III.3.3. Cartographie des habitats marins : Rade de Cannes



III.3.4. Cartographie des habitats marins : Golfe Juan





La masse d'eau FRDC08e « Pointe de la Galère – Cap d'Antibes » comprend 10 habitats entre 0 et -60 mètres dont les trois principaux (>10 % de recouvrement du paysage) sont la biocénose de l'herbier à Posidonie (38,9 %), les fonds meubles circalittoraux (34,3 %) et l'association de la matte morte de Posidonia oceanica (12,6%). 34 % du paysage est dominé par une tache unique de fond meuble circalittoral et 20,8 % par une tache unique d'herbier à Posidonie.

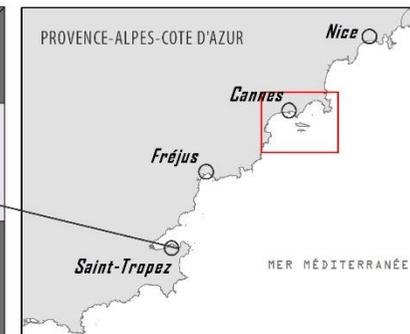
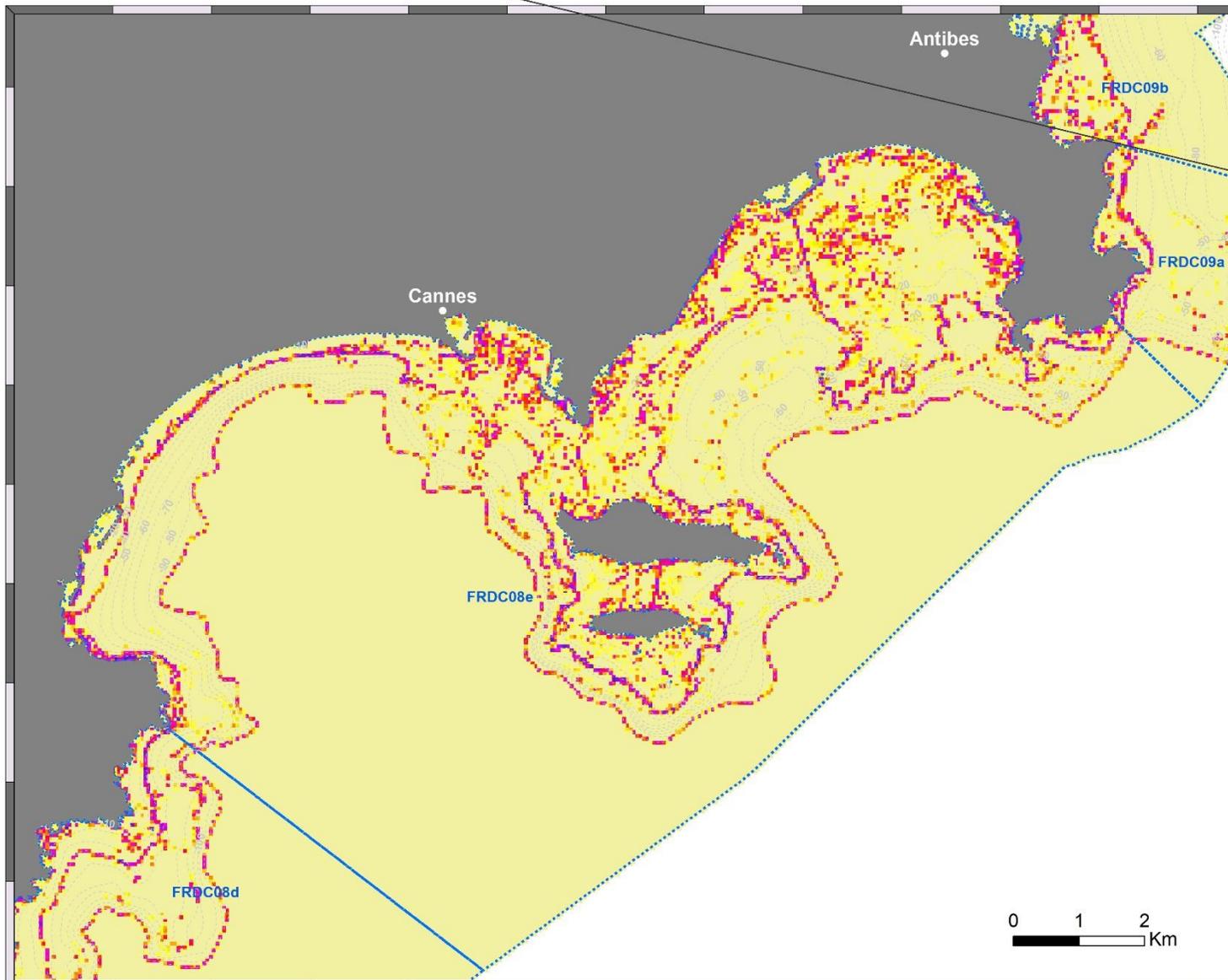
Cette masse d'eau présente une diversité paysagère très forte. La valeur de l'indice de Simpson (0,78) est au-dessus de la moyenne et celle du nombre d'habitats pour 100 ha (0,24) est faible comparativement à toutes les masses d'eau de la région PACA. L'indice de Simpson est représenté sur un pixel de 20 mètres sur la carte suivante.

L'indice d'agrégation entre les taches, entre 0 et 60 mètres, met en évidence neuf habitats fragmentés. Ainsi les fonds meubles circalittoraux est le seul habitat présentant un indice d'agrégation supérieur à 90 % (96,3 %) et un indice de fragmentation inférieur à 0,9 (0,88). Cependant, les herbiers à Posidonie et les fonds meubles infralittoraux ont des valeurs d'AI élevées (88,9 % et 86,3 % respectivement) ce qui sous-entend des habitats moyennement ou peu fragmentés (qui présentent une continuité et compacité des pixels assez forte). 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 9 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC08e.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende	
Masse d'eau	FRDC08e		
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60		
Surface du paysage (ha)	4245.03	86.85	16846.75
Nombre d'habitats dans le paysage	10	7	10
Densité des taches (Nb taches / 100 ha)	293.17	5.16	359.25
Pourcentage total du paysage compris par la plus grande tache	33.95	26.36	79.08
Densité d'habitats dans le paysage (Nb d'habitats / 100 ha)	0.24	0.05	8.06
Diversité des habitats (Indice d'équité de Simpson)	0.78	0.47	0.84



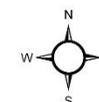


Légende

- Isobathes
- Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 20 mètres

- Elevé
- Faible



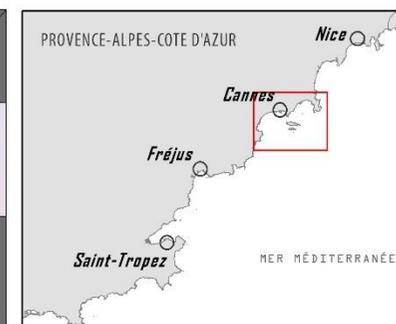
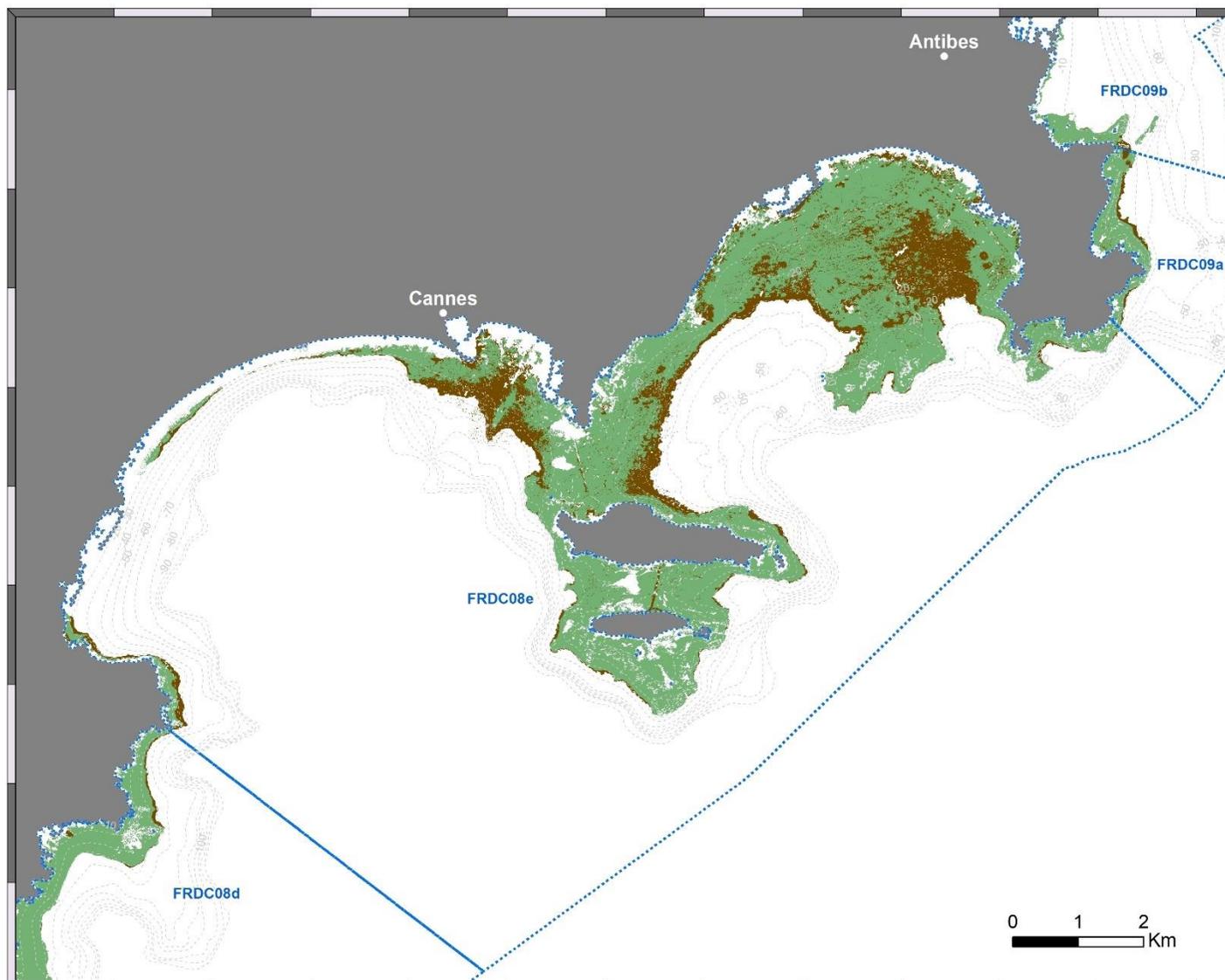
Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020





Légende

- Isobathes
- Masse d'eau côtière
- Habitats marins**
 - Association de la matte morte de *Posidonia oceanica*
 - Biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*



Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020



L'herbier occupe 50,47% 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 en PACA.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtière de la région PACA, l'herbier de Posidonie de la masse d'eau FRDC08e se caractérise par un nombre élevé de taches (29,2/100 ha) de très petite taille (1,73 ha) et très proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux taches les plus proches est de 11 mètres entre 0 et 40 mètres) On note la présence d'une grande tache (50,47% du paysage compris par la tâche la plus grande d'herbier) indiquant une formation continue de l'herbier.

Cette formation se traduit par une agrégation assez forte des taches entre elles (AI=88,9 %) mais qui reste tout de même en-dessous de la moyenne régionale (91,89 %). L'indice de fragmentation de l'herbier pour cette masse d'eau (0,89) est au-dessus de la moyenne observée pour toute la région. Cela peut s'expliquer par la grande surface de matte morte et les nombreuses traces de mouillage présentes dans le Golfe Juan et à la sortie du port de Cannes.

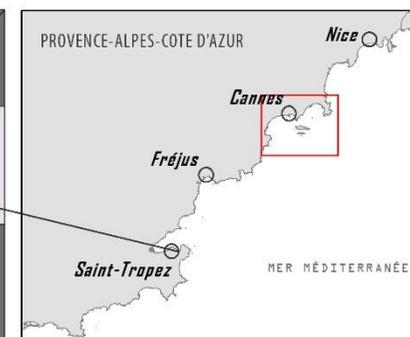
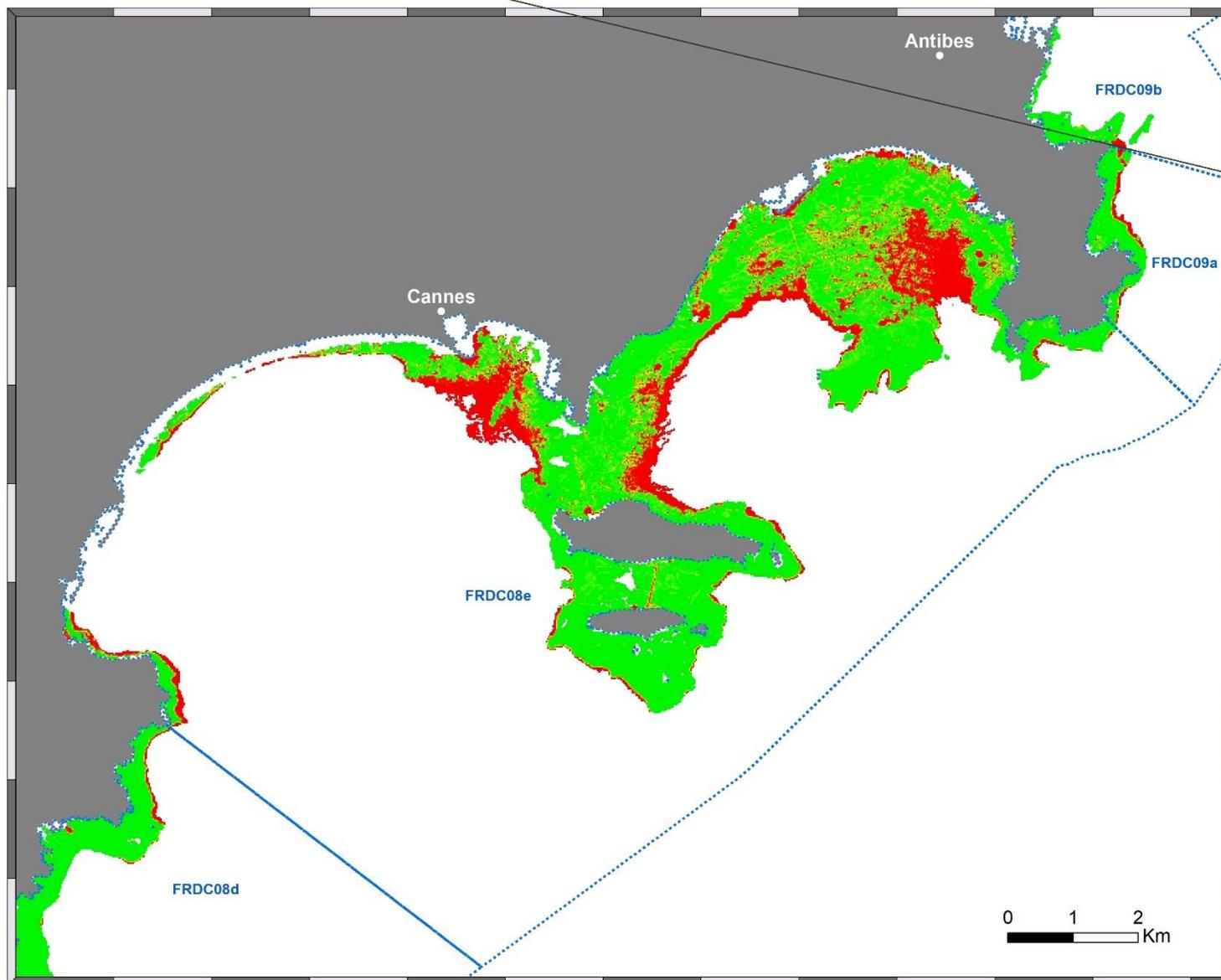
L'indice de régression de l'herbier à Posidonie dans cette masse d'eau (0,25) est au-dessus de la moyenne régionale (0,17). La présence accrue de traces de mouillage et d'arts trainants au milieu de l'herbier dans le Golfe Juan et en face du port de Cannes ainsi que des limites inférieures régressives entre Cannes et Juan les Pins participent grandement à cette hausse d'indice de régression pour cette masse d'eau.

Les deux missions de terrain effectuées en octobre et novembre 2018 auront permis de préciser et d'actualiser la cartographie par rapport à celles effectuées en 2008 à Cannes et en 2011 dans le Golfe Juan. L'estimation de l'évolution de ces herbiers ne paraît cependant pas juste. De nombreuses discordances entre les deux cartographies de chaque zone nous semblent non pas liées à l'évolution des surfaces d'herbier mais aux différences de précisions cartographiques. L'absence de données sonar en 2008 pour effectuer la première cartographie des habitats marins dans la rade de Cannes et la mauvaise qualité des données sonar obtenues en 2006 dans les environs d'Antibes en sont les raisons principales. L'estimation des surfaces d'herbier perdues depuis 2006 pour le Golfe Juan et 2008 pour Cannes serait donc fautive.

Seule la carte de l'évolution des limites de l'herbier à Golfe Juan entre 2011 et 2018 a été possible et est présentée page 55. Au total, 104 hectares d'herbier ont régressé en 7 ans dans le Golfe Juan avec une perte de 70 hectares (67,3% de la surface totale d'herbier perdue) localisée aux abords et dans le secteur de lâcher d'ancre (arrêté n°155/2016) à l'Est du golfe.

Tableau 10 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC08e.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC08e	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	50.47	1.15 0 79.23 38.29
Densité de taches (Nb taches / 100 ha)	29.19	1.01 0 42.89 14.11
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	27.28	0.56 0 79.08 30.24
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	1.73	0.81 0 26.6 4.75
Indice de complexité des formes	1.08	1.05 0 1.14 1.09
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	11.03	7.49 0 122.03 32.66
Indice de fragmentation de l'herbier	0.89	0.37 0 1 0.86
Indice d'agrégation entre les taches (%)	88.88	77.88 0 99.19 91.89
Indice de régression	0.25	0 0 0.56 0.17

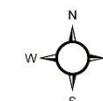


Légende

Masse d'eau côtière

Indice de régression sur un pixel de 20 mètres

Valeur



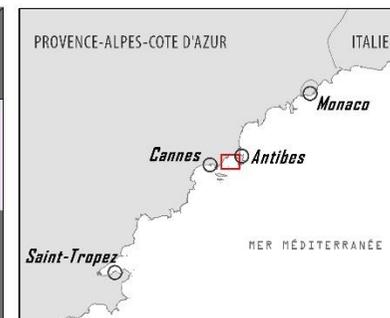
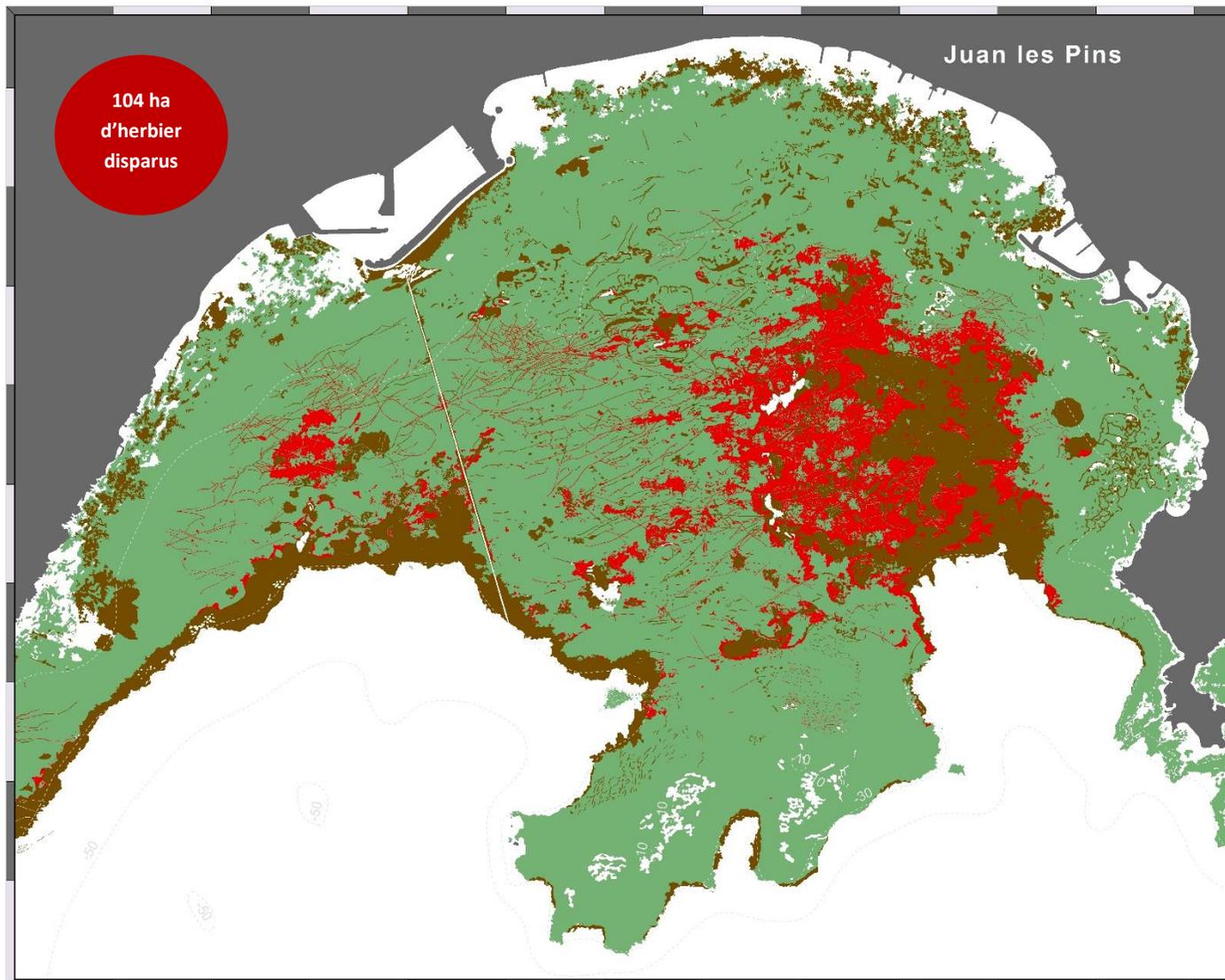
Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020



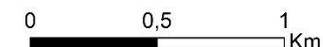


Légende

----- Isobathes

Evolution des limites de l'herbier entre 2011 et 2018

- Concordance 2011-2018
- Discordance négative 2011-2018
- Matte morte stable 2011-2018



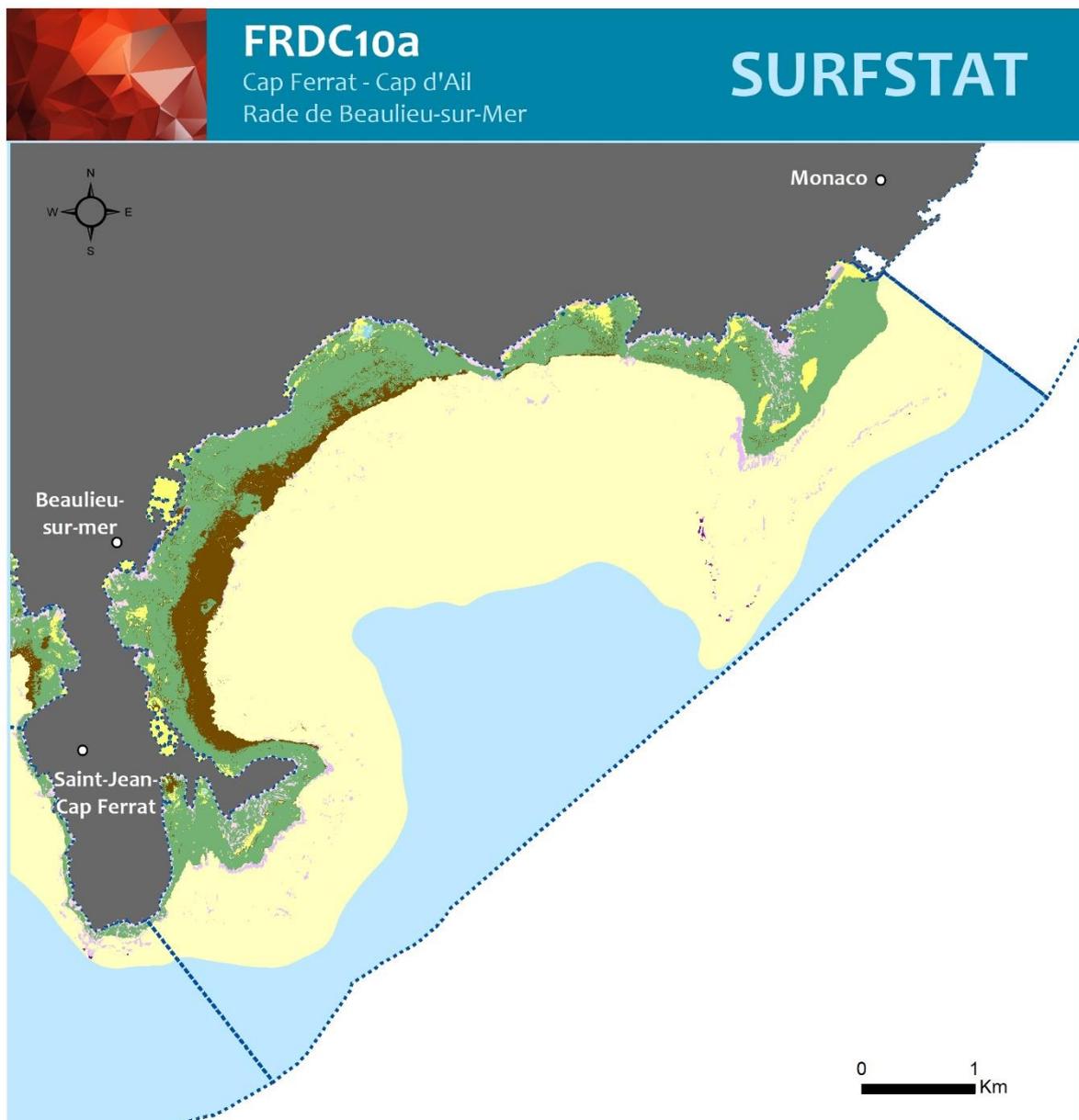
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et Suivi de l'impact du mouillage. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin :

<https://plateforme.medtrix.fr>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Février 2019

III.4. Masse d'eau FRDC10a



CAP FERRAT - CAP D'AIL



Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin :

<https://plateforme.medtrix.fr>

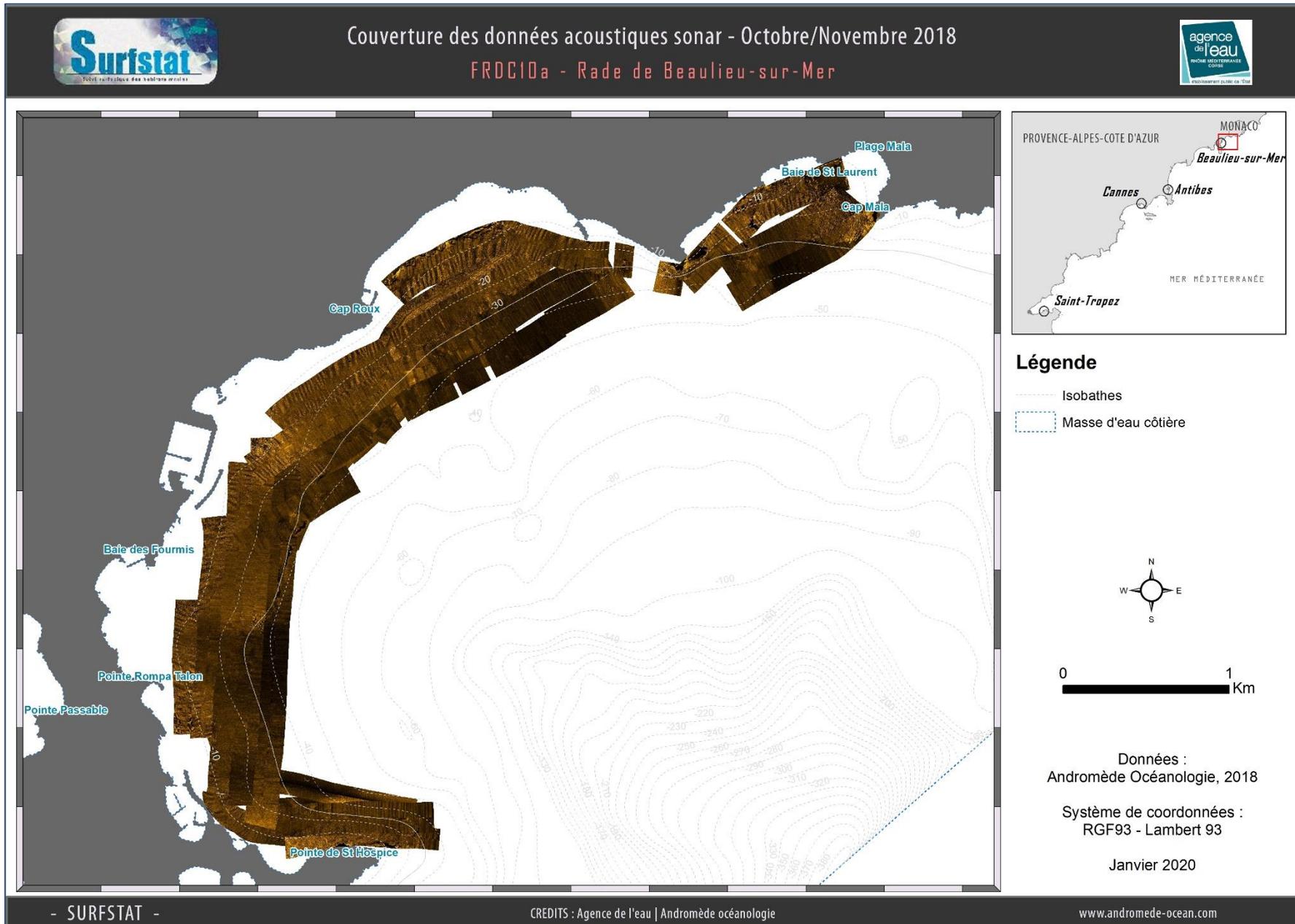
SYSTEME DE COORDONNEES:
RGF93 Lambert 93
Lambert Conformal Conic
Datum : RGF 1993

Janvier 2020



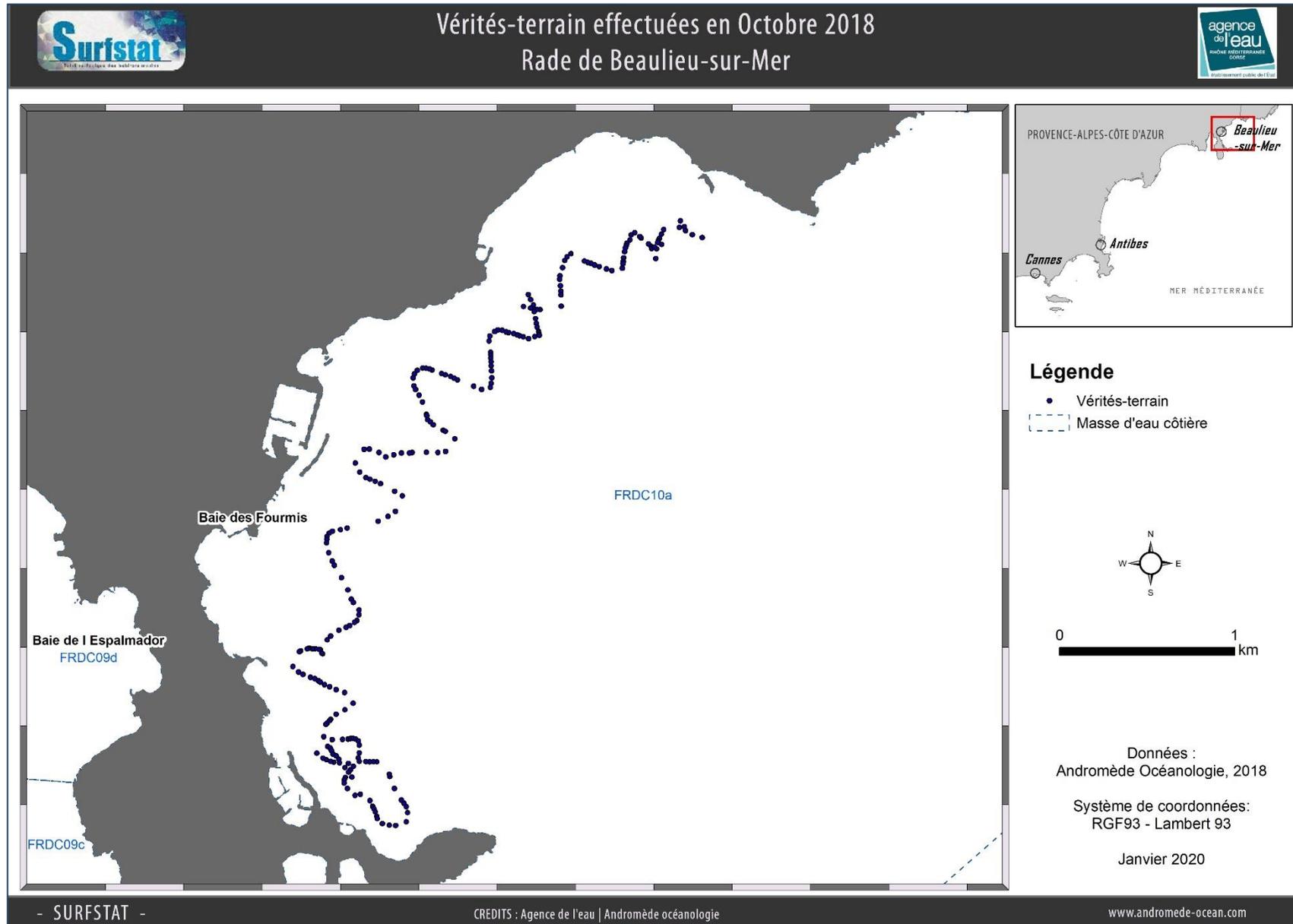
III.4.1. Sonar latéral

Au total, **397 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses de la Rade de Beaulieu-sur-Mer.

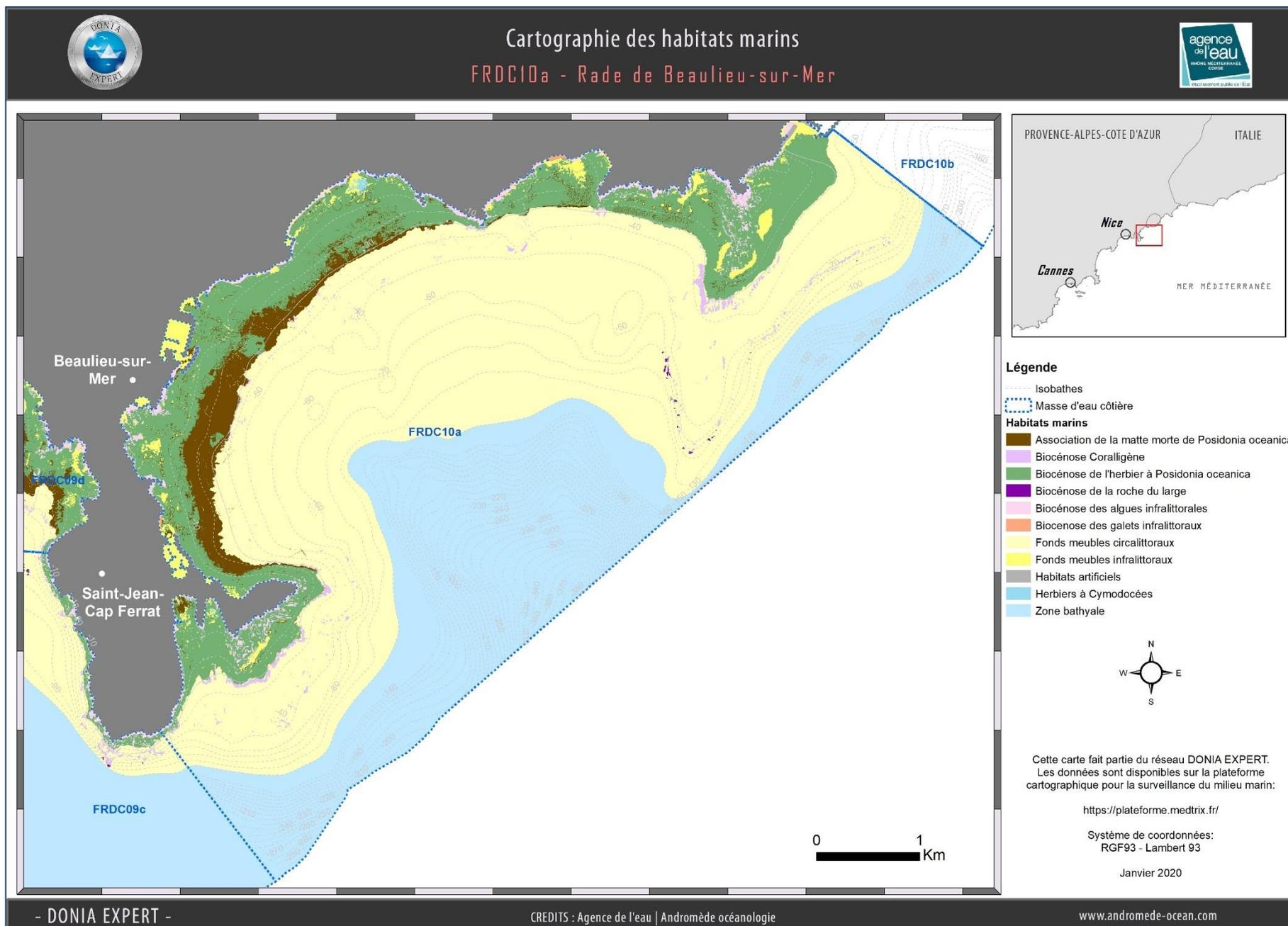


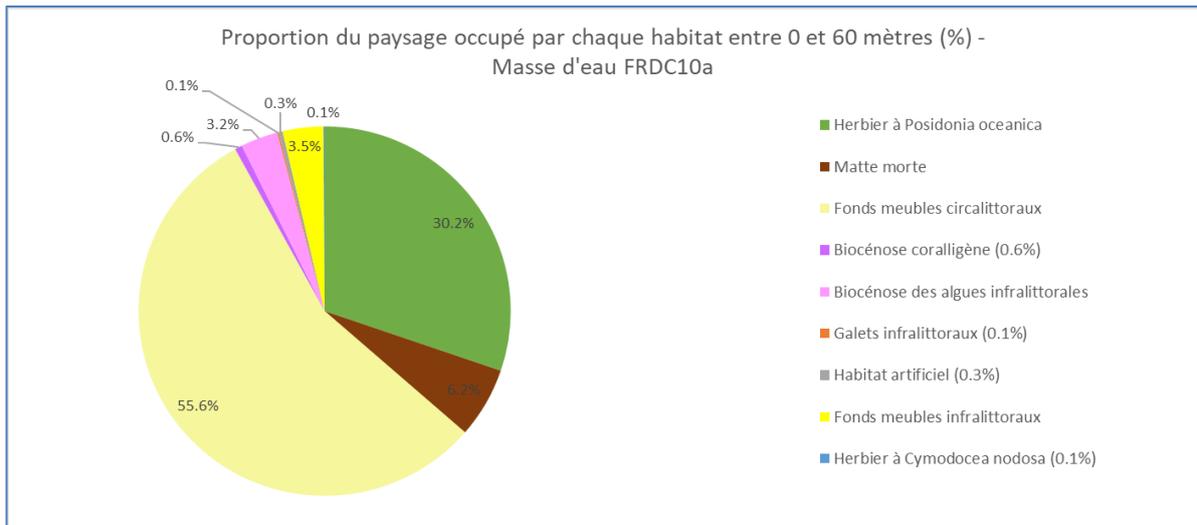
III.4.2. Vérités-terrain : observations en plongée tractée

236 observations ont été faites dans la Rade de Beaulieu-sur-Mer.



III.4.3. Cartographie des habitats marins : Rade de Beaulieu-sur-Mer





La masse d'eau FRDC10a « Cap Ferrat – Cap d'Ail » comprend 10 habitats entre 0 et 60 mètres dont les deux principaux (>10% de recouvrement du paysage) sont les fonds meubles circalittoraux (55,6%) et la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* (30,2%).

Cette masse d'eau présente une diversité paysagère moyenne. La valeur de l'indice de Simpson (0,67) est égale à la moyenne régionale (0,66). La paysage se caractérise par une densité de taches moyennement élevée (142 /100ha) par rapport aux valeurs observées en région PACA.

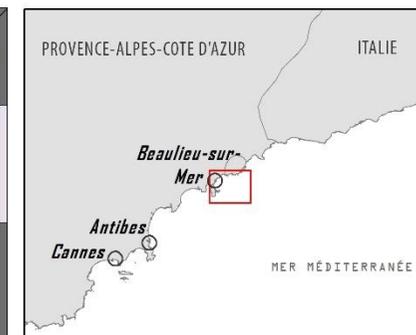
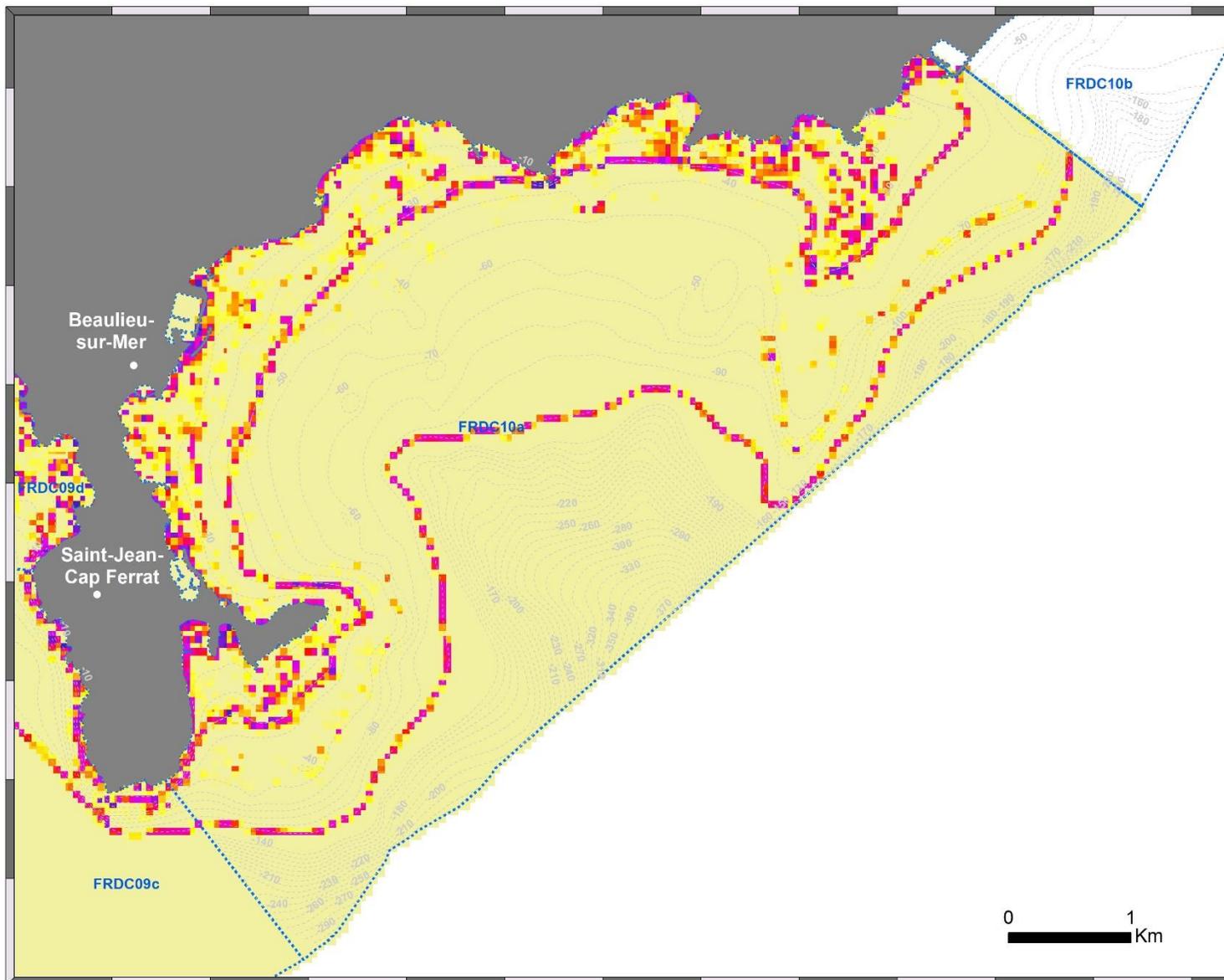
L'indice d'agrégation entre les taches, entre 0 et 60 mètres, met en évidence deux habitats peu fragmentés (AI>90 %) : la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* et les fonds meubles circalittoraux. A noter que l'association de la matte morte de *Posidonia oceanica* a un indice d'agrégation assez élevé (85 %) ce qui sous-entend également une compacité des pixels forte et donc un taux de recouvrement élevé.

Les sept autres habitats très fragmentés (AI<90 %) sont : le coralligène, les biocénoses des algues infralittorales, des galets infralittoraux, des habitats artificiels, des fonds meubles infralittoraux, des herbiers à Cymodocées et de la roche du large.

Tableau 11 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC10a.

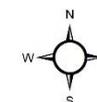
Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC10a	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	1491.54	86.85 16846.75 4009.48
Nombre d'habitats dans le paysage	10	7 10 8.36
Densité des taches (Nb taches / 100 ha)	141.8	5.16 359.25 83.36
Pourcentage total du paysage compris par la plus grande tache	55.37	26.36 79.08 51.46
Densité d'habitats dans le paysage (Nb d'habitats / 100 ha)	0.67	0.05 8.06 0.92
Diversité des habitats (Indice d'équité de Simpson)	0.67	0.47 0.84 0.66





Légende

- Isobathes
- Masse d'eau côtière
- Indice de Simpson sur un pixel de 20 mètres**
- Elevé
- Faible



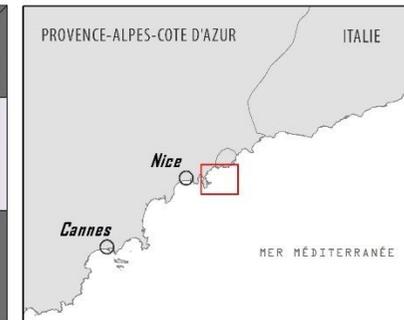
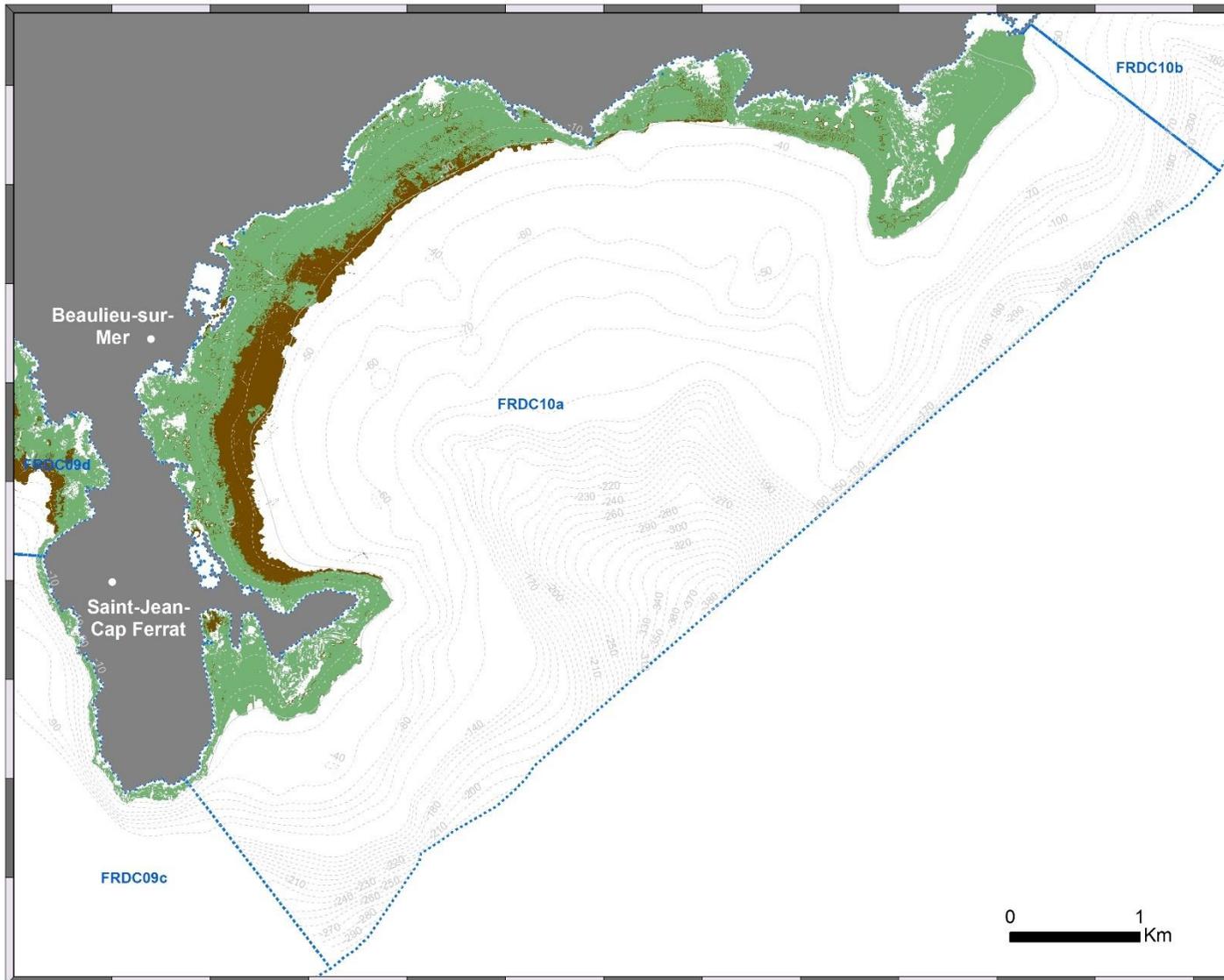
Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020





Légende

- Isobathes
- Masse d'eau côtière
- Habitats marins**
- Association de la matte morte de *Posidonia oceanica*
- Biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*



Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020



L'herbier occupe 53,78% du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce taux de recouvrement est élevé, il se rapproche de la proportion maximale relevée sur toutes les masses d'eau côtière. On le rencontre sur l'ensemble du périmètre de la masse d'eau FRDC10a.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtière en région PACA, l'herbier de posidonie de la masse d'eau FRDC10a se caractérise par un nombre très élevé de taches (32,54 taches/100ha), de faible taille (1,65 ha), agrégées (AI=90,76 %) et proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux taches les plus proches est de 10,81 mètres entre 0 et 40 mètres).

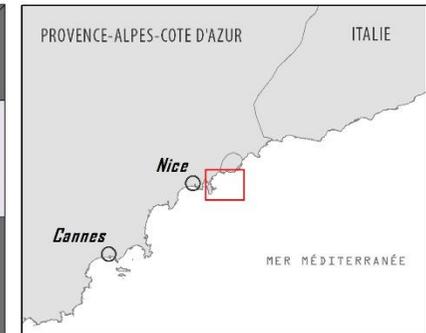
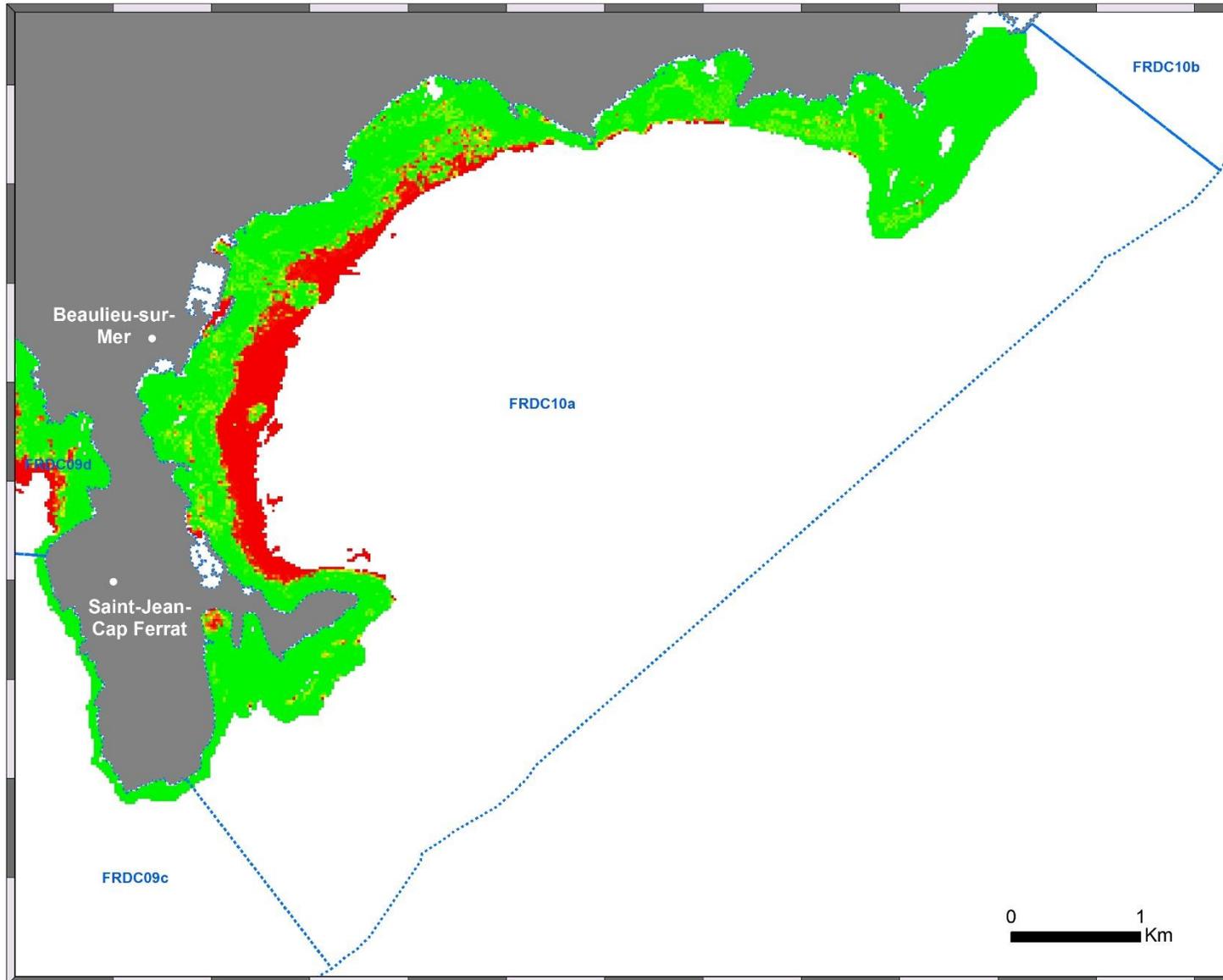
53,37 % du paysage est compris par la tache la plus grande, ce qui correspond à un herbier continu. La valeur de l'indice d'agrégation reste cependant moyenne notamment à cause d'un grand nombre de taches de matte morte provenant de l'ancrage de bateaux dans l'herbier et d'une régression importante en limite inférieure.

Sur l'ensemble de la masse d'eau, l'évolution de l'herbier à posidonie montre une concordance négative de 17 % et une stabilité de 83 % entre 0 et 40 mètres de profondeur.

Une carte de l'évolution des limites de l'herbier pour la masse d'eau FRDC07c a été produite après actualisation de la cartographie des biocénoses. Ainsi, **36,7 ha d'herbier de posidonie ont disparu entre 2010 et 2018 dans la Rade de Beaulieu-sur-Mer.**

Tableau 12 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC10a.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA	
Masse d'eau	FRDC10a	Légende	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40		
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	53.78	1.15	79.23
Densité de taches (Nb taches / 100 ha)	32.54	1.01	42.89
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	53.37	0.56	79.08
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	1.65	0.81	26.6
Indice de complexité des formes	1.05	1.05	1.14
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	10.81	7.49	122.03
Indice de fragmentation de l'herbier	0.72	0.37	1
Indice d'agrégation entre les taches (%)	90.76	77.88	99.19
Indice de régression	0.17	0	0.56



Légende

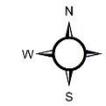
Masse d'eau côtière

Indice de régression sur un pixel de 20 mètres

Valeur

Elevée : 1

Faible : 0



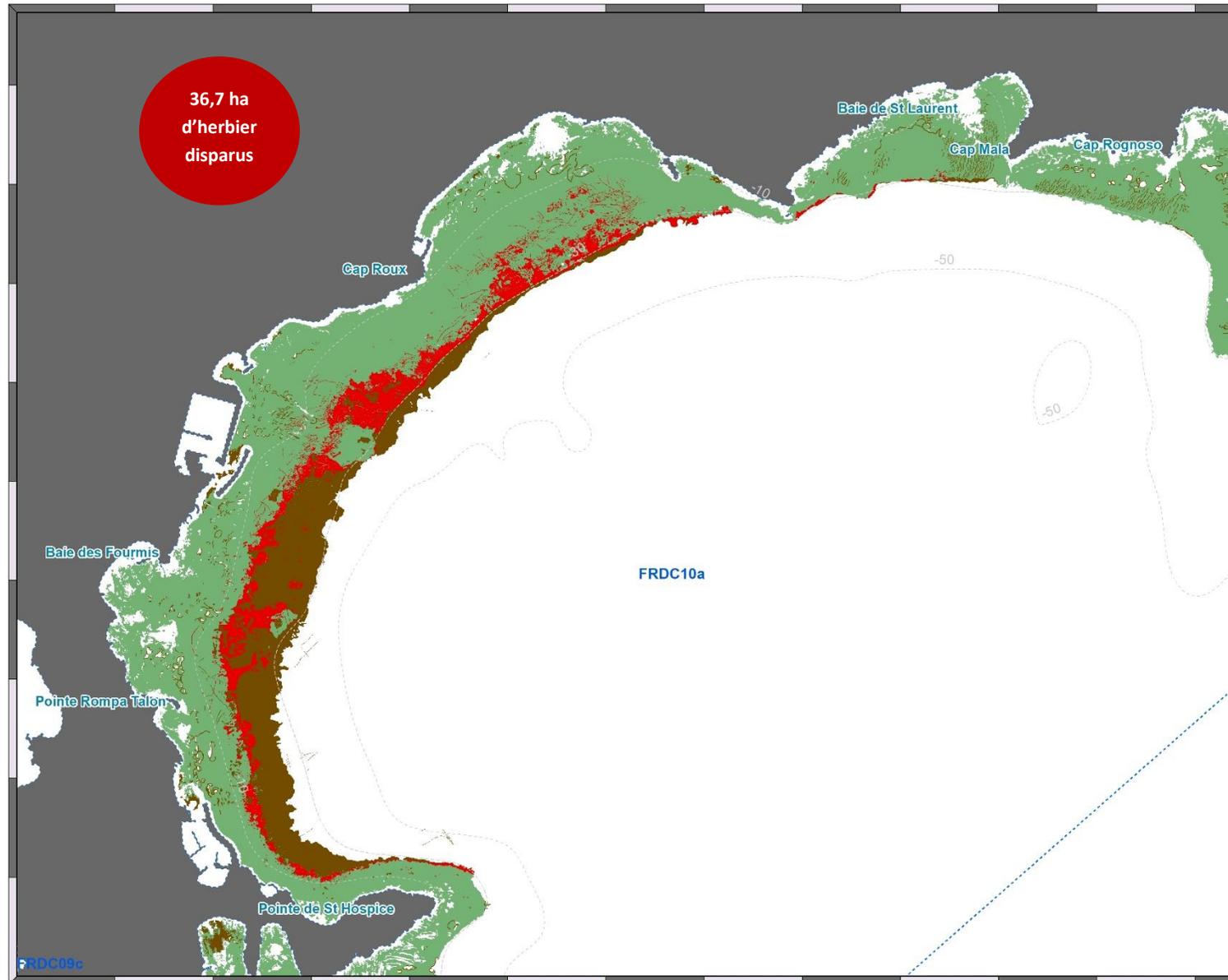
Cette carte fait partie du réseau SURFSTAT.
Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

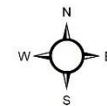
Janvier 2020





Légende

- Isobathes
- Masse d'eau côtière
- Evolution des limites de l'herbier entre 2010 et 2018**
- Concordance 2010-2018 (Herbier stable)
- Discordance négative 2010-2018
- Matte morte stable 2010-2018



Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et Suivi de l'impact du mouillage. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

<https://plateforme.medtrix.fr/>

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Janvier 2020

IV.Synthèse des résultats

Le travail cartographique réalisé lors de cette étude a permis de compléter les cartes des habitats marins effectuées dans le cadre du programme SURFSTAT (Agence de l'eau RMC / Andromède Océanologie ; <https://plateforme.medtrix.fr/>). Ainsi, de nouvelles cartographies plus détaillées des fonds (entre 15 mètres et jusqu'à 45 mètres de profondeur environ dans certaines zones) de la Baie de La Ciotat et la Baie des Lecques (FRDC07c), du Golfe de Saint-Tropez (FRDC08b), de l'Est de la Rade de Cannes et du Golfe Juan (FRDC08e) et de la rade de Beaulieu-sur-Mer (FRDC10a) ont été réalisées. Deux campagnes d'acquisition sonar (couvrant 3 200 ha réparties entre ces cinq zones) et d'observations en plongée (vérités terrain) menées en octobre et novembre 2018 ont permis de cartographier les habitats au niveau de quatre masses d'eau côtière de la région Sud.

Ces cartographies détaillées permettent de réaliser une nouvelle évaluation du paysage sous-marin de la région Sud et constituent un moyen de surveillance à large échelle. Cet outil est d'autant plus important qu'il informe de l'évolution des herbiers de Posidonie dans des zones très impactées par le tourisme nautique dont l'ancrage abusif de navires dégrade fortement ces herbiers. Les données récoltées sur la distribution des herbiers et l'évolution de leurs limites physiques permettent d'évaluer l'impact de ce tourisme et ainsi de proposer des mesures de gestion appropriées.

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 région Sud 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 quatre masses d'eau qui s'étendent souvent au large, mais occupe en moyenne 70-80% des habitats compris entre -10 et -40 m pour chacune. Les indices surfaciques, qui sont les mêmes que dans l'étude de 2014, ont été recalculés avec le logiciel RStudio v.1.1. à une résolution de 5m x 5m sur toute la région Sud 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 et qui ont été affinées avec cette 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 le pour les 25 masses d'eau de la région Sud. Les quatre masses d'eau côtière actualisées pour cette étude sont encadrées en rouge.



Tableau 13 : Comparaison des indices surfaciques calculés pour l'analyse du paysage pour les 25 masses d'eau de la région Sud. Les 4 masses d'eau actualisées pour cette étude sont encadrées en rouge

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA
Masse d'eau	FRDC04	FRDC05	FRDC06a	FRDC06b	FRDC07a	FRDC07b	FRDC07c	FRDC07d	FRDC07e	FRDC07f	FRDC07g	FRDC07h	FRDC07i	FRDC07j
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
Surface du paysage (ha)	15067.96	4810.25	2406.64	5435.39	1507.55	1546.72	2139.09	422.26	4163.34	5921.49	3487.85	16846.75	7721.51	7487.78
Nombre d'habitats dans le paysage	9	9	8	8	7	8	8	7	9	9	8	8	7	9
Densité des taches (Nb taches / 100 ha)	5.16	17.19	30.62	33.52	16.78	41.44	98.64	35.76	27.43	26.26	39.8	9.92	14.26	51.03
Pourcentage total du paysage compris par la plus grande tache	65.62	66.57	71.52	55.03	27.29	32.47	46.24	56.28	46.76	30.6	43.42	67.24	79.08	50.47
Densité d'habitats dans le paysage (Nb d'habitats / 100 ha)	0.06	0.19	0.33	0.15	0.46	0.52	0.37	1.66	0.22	0.15	0.23	0.05	0.09	0.12
Diversité des habitats (Indice d'équité de Simpson)	0.6	0.59	0.52	0.61	0.75	0.7	0.78	0.68	0.72	0.73	0.78	0.54	0.48	0.69

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende										
Masse d'eau	FRDC08a	FRDC08b	FRDC08c	FRDC08d	FRDC08e	FRDC09a	FRDC09b	FRDC09c	FRDC09d	FRDC10a	FRDC10c	
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	
Surface du paysage (ha)	5556.22	2658.06	1115.71	2485.93	4245.03	420.79	1639.77	86.85	177.25	1491.54	1395.33	86.85 16846.75 4009.48
Nombre d'habitats dans le paysage	9	8	7	9	10	7	10	7	9	10	9	7 10 8.36
Densité des taches (Nb taches / 100 ha)	64.34	240.59	24.2	95.22	293.17	77.24	61.66	359.25	247.68	141.8	31.1	5.16 359.25 83.36
Pourcentage total du paysage compris par la plus grande tache	37.29	42.78	69.35	52.94	33.95	77.28	52.29	35.01	26.36	55.37	65.2	26.36 79.08 51.46
Densité d'habitats dans le paysage (Nb d'habitats / 100 ha)	0.16	0.3	0.63	0.36	0.24	1.66	0.61	8.06	5.08	0.67	0.65	0.05 8.06 0.92
Diversité des habitats (Indice d'équité de Simpson)	0.69	0.79	0.5	0.65	0.78	0.47	0.69	0.72	0.84	0.67	0.6	0.47 0.84 0.66

Tableau 14 : Comparaison des indices surfaciques calculés pour l'analyse de l'herbier pour les 25 masses d'eau de la région Sud. Les 4 masses d'eau actualisées pour cette étude sont encadrées en rouge

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA
Masse d'eau	FRDC04	FRDC05	FRDC06a	FRDC06b	FRDC07a	FRDC07b	FRDC07c	FRDC07d	FRDC07e	FRDC07f	FRDC07g	FRDC07h	FRDC07i	FRDC07j
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	1.15	40.7	5.02	19.8	26.38	33.6	43.63	56.02	54	54.63	12.49	63	79.23	60.69
Densité de taches (Nb taches / 100 ha)	1.01	5.8	4.69	17.15	4.73	15.2	34.07	13.49	6.61	9.46	6.94	3.92	2.98	10.71
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	0.56	31.09	3.16	12.19	24.61	14.44	42.9	34.04	53.75	42.3	6.14	48.6	79.08	41.36
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	1.14	7.02	1.07	1.15	5.58	2.21	1.28	4.15	8.17	5.77	1.8	16.08	28.6	5.66
Indice de complexité des formes	1.14	1.11	1.1	1.1	1.11	1.12	1.06	1.09	1.08	1.09	1.08	1.08	1.08	1.09
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	63.23	16.72	11.89	19.98	69.69	35.3	10.26	25.98	24.59	16.35	13.19	39.06	48.52	31.8
Indice de fragmentation de l'herbier	1	0.9	1	0.98	0.94	0.97	0.82	0.84	0.71	0.81	0.99	0.76	0.37	0.79
Indice d'agrégation entre les taches (%)	88.12	95.52	91.2	92.55	94.06	91.75	93.38	93.83	97.39	96.9	93.07	98.42	99.19	95.82
Indice de régression	0.4	0.14	0.41	0.5	0.01	0.01	0.19	0.07	0.08	0.13	0.56	0.07	0.1	0.04

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende											
Masse d'eau	FRDC08a	FRDC08b	FRDC08c	FRDC08d	FRDC08e	FRDC09a	FRDC09b	FRDC09c	FRDC09d	FRDC10a	FRDC10c		
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40		
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	62.39	35.31	3.48	63.68	50.47	40.09	3.33	41.48	35.28	53.78	17.65	1.15	79.23
Densité de taches (Nb taches / 100 ha)	6.61	35.69	4.3	17.24	29.19	5.39	2.11	25.66	42.89	32.54	14.46	1.01	42.89
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	51.5	23.33	1.14	63.19	27.28	39.96	2.35	19.5	26.28	53.37	13.78	0.56	79.08
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	9.44	0.99	0.81	3.69	1.73	7.44	1.58	1.62	0.82	1.65	1.22	0.81	26.6
Indice de complexité des formes	1.08	1.06	1.08	1.07	1.08	1.09	1.13	1.11	1.06	1.05	1.09	1.05	1.14
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	21.14	10.21	25.83	16.49	11.03	122.03	47.2	98.81	7.49	10.81	18.79	7.49	122.03
Indice de fragmentation de l'herbier	0.73	0.94	1	0.6	0.89	0.84	1	0.94	0.92	0.72	0.86	0.37	1
Indice d'agrégation entre les taches (%)	98.22	88.55	86.52	92.78	88.88	89.96	85.98	77.88	87.44	90.76	91.01	77.88	99.19
Indice de régression	0	0.24	0.39	0.02	0.25	0.12	0.04	0.03	0.38	0.17	0.02	0	0.56



L'étude du paysage entre 0 et 60 mètres de profondeur montre une hétérogénéité importante entre les masses d'eau côtière de la région Sud, tant en termes de surface (entre 86,9 ha –FRDC09c (Port de Commerce de Nice – Cap Ferrat) et 16847 ha –FRDC07h (Ile d'Hyères)), du nombre d'habitats présents (de 7 habitats, 6 masses d'eau, à 10 habitats – FRDC08e (Pointe de la Galère), FRDC09b (Port Antibes – Port de Commerce de Nice) et FRDC10a (Cap Ferrat – Cap d'Ail)), de densité de tâches (entre 5,2/100 ha –FRDC04 (Golfe de Fos) et 359,3/100 ha – FRDC09c (Port de Commerce de Nice – Cap Ferrat) et de diversité paysagère (indice d'équitabilité de Simpson). Globalement la densité d'habitats est faible sur toutes les masses d'eau côtière, seules les masses d'eau FRDC07d (1,66 habitats/100 ha), FRDC09a (1,66 habitats/100ha), FRDC09c (8,1 habitats/100ha), et FRDC09d (5,1 habitats/100ha) se démarquent par un nombre d'habitats / 100ha important.

La diversité paysagère est en effet très variable : l'indice de Simpson est compris entre 0,47 (FRDC09a- Cap d'Antibes – Sud Port d'Antibes) et 0,84 (FRDC09d – Rade de Villefranche). Les masses d'eau les plus diversifiées sont FRDC09c, FRDC09d, FRDC08e, FRDC08b, FRDC07g, FRDC07f, FRDC07e, FRDC07c, FRDC07b et FRDC07a. Les zones présentant la plus forte diversité paysagère entre 0 et 60 mètres de profondeur en région Sud se trouvent donc vers les îles de Marseille et la Ciotat, entre Bandol et la presqu'île de Giens, dans le golfe de St Tropez, dans le secteur Cannes – Antibes, entre Villefranche-sur-Mer et Cap Ferrat. Elles ont été cartographiées de manière détaillée de -10 à - 40 mètres à l'aide de deux sources d'informations : les données sonar et les observations en plongée sous-marine. Malgré le fort développement touristique le long du littoral PACA, la diversité paysagère reste élevée dans l'ensemble (moyenne de $0,66 \pm 0,1$).

L'étude de l'herbier à Posidonie entre 0 et 40 mètres de profondeur montre une présence sur toutes les masses d'eau en région Sud. Son pourcentage de recouvrement varie fortement, il occupe dans cette région entre 1,15 % du paysage (masse d'eau FRDC04 – Golfe de Fos) et 79,23 % (masse d'eau FRDC07i – Cap de l'Estérel – Cap de Brégançon), la moyenne étant de 38,29 % ($\pm 22,2\%$).

Le taux de recouvrement de l'herbier varie principalement du fait de la topographie. 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 comme dans les baies (La Ciotat, Rade de Giens) ou les golfes (Saint-Tropez, Juan les Pins). A l'inverse, lorsque le plateau continental est réduit, comme c'est le cas des Îles d'Hyères jusqu'à Menton, le développement de l'herbier ne s'étend pas très loin de la côte.

La densité de tâches d'herbier et leur taille est très variable selon les masses d'eau : de 1 tache /100 ha (FRDC04 – Golfe de Fos) à 42,9 taches/100 ha (FRDC09d – Rade de Villefranche) avec une moyenne de 14,1 taches/100 ha et une taille comprise entre 0,81 et 26,6 ha. La distance séparant deux tâches d'herbier les plus proches varie entre 7,49 et 122 mètres avec une moyenne de 32,66 mètres. Ceci s'explique surtout par la topographie et le type d'herbier associé.

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. Dix-huit des 25 masses d'eau de la région Sud présentent un herbier dont la continuité et la compacité des pixels est forte (herbier continu, $AI \geq 90\%$) : ce sont les masses d'eau.FRDC05 (>95%), FRDC06a et 06b, FRDC07a à 07e et 07f (>95%), FRDC07g, FRDC07h à 07j (>95%), FRDC08a (>95%), FRDC08d, FRDC09a (89,96%) et enfin FRDC10a et 10c. La moyenne régionale de cet indice d'agrégation entre les tâches d'herbier est de 91,89 % avec une valeur minimale de 77,88 % (FRDC09c – Port de Commerce de Nice – Cap Ferrat).

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 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. De plus, comme pour la masse d'eau FRDC07h, le découpage de la masse d'eau d'un point de vue bathymétrique et la présence des îles ne permet pas à l'herbier d'être observé de manière continue, baissant ainsi la valeur de l'indice d'agrégation. Enfin, la présence de

pressions anthropiques telles que la pêche, l'aquaculture ou bien la plaisance contribuent 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. A l'échelle de la région Sud, le taux de recouvrement de la matte morte est très faible : l'habitat occupe 4725 hectares soit 0,019% de tout le littoral Sud (calcul effectué à l'échelle des masses d'eau élargies).

L'indice de régression de l'herbier en région Sud varie de 0 (FRDC08a) à 0,56 (FRDC07g – Cap Cépet – Cap de Carqueiranne) avec une moyenne de 0,17. L'herbier est très stable ($IR \leq 0,05$) pour 8 masses d'eau : FRDC07a, FRDC07b, FRDC07j, FRDC08a, FRDC08d, FRDC09b, FRDC09c et FRDC10c. L'herbier montre une régression importante ($0,2 \leq IR < 0,6$) pour 8 masses d'eau : FRDC04, FRDC06a, FRDC06b, FRDC07c, FRDC07g, FRDC08b, FRDC08c, FRDC08e et FRDC09d. Les masses d'eau FRDC05, FRDC07c, FRDC07f et FRDC10a présentent une régression moyenne ($0,1 \leq IR < 0,2$).

Les principales zones de matte mortes sont souvent les conséquences des pressions anthropiques exercées sur cet écosystème :

- 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 montrent la présence de matte morte à proximité des cages aquacoles et l'absence d'herbier sous les cages au niveau des fermes aquacoles comme à l'Est du Golfe Juan (FRDC08e).

- 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 racent, labourent et détruisent les herbiers.

- La pêche peut engendrer la destruction d'herbier à Posidonie. La flottille de pêche en région Sud en 2017 regroupait 428 navires composés de navires de tailles variables (jusqu'à 24 m mais principalement <12 m) composés principalement de fileyeurs polyvalents ou exclusivement marins, de quelques senneurs, chalutiers, ganguis et d'autres navires plus spécialisés pour la pêche à l'hameçon côtier ou alternant entre les étangs et le milieu marin côtier (< 3 milles nautiques) (données Ifremer, 2017).

Grâce à l'actualisation de la cartographie de l'herbier de Posidonie dans cinq zones considérées comme sensibles dû à l'importante fréquentation de la petite (navires < 24 m) et de la grande plaisance (navires > 24 m), les surfaces totales d'herbier perdu ont pu être calculées sur différentes échelles de temps :

- **de la Baie de La Ciotat à la Baie des Lecques (FRDC07c) 25,5 ha d'herbier ont régressé entre 2010 et 2018** majoritairement en limite inférieure et en profondeur intermédiaire à l'ouest de la baie. De nombreuses traces de mouillage sont visibles dont des zones où les chaînes des ancres ont labouré l'herbier sous l'effet des courants et de la houle (forme triangulaire). Au centre de la Baie, une zone de reprise d'herbier en « atolls » (ou en « patchs ») a été recensée entre -15 m et -22m.

- **dans le Golfe de Saint-Tropez (FRDC08b) 107,6 ha d'herbier ont disparu entre 2010 et 2015 ainsi que 38,1 ha entre 2015 et 2018.** Ces pertes sont surtout localisées en limite inférieure d'herbier avec de nombreuses traces de mouillage entre 2010 et 2015 puis autant en profondeur intermédiaire qu'en limite inférieure entre 2015 et 2018. Un nombre important de traces de mouillage sont visibles dans l'herbier, parfois de la limite supérieure à la limite inférieure, et même jusque dans la matte morte. D'anciennes taches de matte morte se sont également agrandies en profondeur intermédiaire.

- **à Golfe Juan (FRDC08e) 104 ha d'herbier de posidonie ont été perdus entre 2011 et 2018.** Une perte de 70 hectares (67,3% de la surface totale d'herbier perdue) est localisée aux abords et dans le secteur de lâcher d'ancre (arrêté n°155/2016) à l'Est du golfe. De nombreuses discordances entre les deux cartographies de Cannes



(2008-2018) et du Golfe Juan (2006-2011) nous semblent non pas liées à l'évolution des surfaces d'herbier mais aux différences de précisions cartographiques. L'absence de données sonar en 2008 pour effectuer la première cartographie des habitats marins dans la rade de Cannes et la mauvaise qualité des données sonar obtenues en 2006 dans les environs d'Antibes en sont les raisons principales. Les estimations des surfaces d'herbier perdues depuis 2006 pour le Golfe Juan et 2008 pour Cannes n'ont donc pas été faites car elles auraient été fausses.

- à **Beaulieu-sur-Mer (FRDC10a), 36,7 ha d'herbier de posidonie ont disparu entre 2010 et 2018**. La régression concerne principalement la limite inférieure de l'herbier. Des traces de mouillage dans l'herbier sont également visibles en profondeur intermédiaire en face du port et entre le Cap Roux et la Pointe de Cabuel.

La difficulté de ce travail cartographique réside dans la lecture et l'interprétation des données sonar. Il est 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. Les zones de matte morte en limite inférieure contiennent souvent des taches d'herbier de posidonie très clairsemées et nombreuses, donc difficile à délimiter. 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 Sud mais avec des taux de recouvrement assez variés en fonction des secteurs. Cette différence peut s'expliquer par la topographie de la zone (taille et pente du plateau continental), le type de substrat (rocheux, sableux) 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 et mises à jour. La dégradation de l'herbier à Posidonie apparaît surtout liée aux pressions anthropiques telles que les aménagements littoraux, l'érosion côtière, l'urbanisation (Holon et *al.*, 2015a) ou la plaisance (aquaculture et pêche à moindre mesure). La cartographie des habitats marins est donc un outil indispensable pour évaluer l'étendue de ces dégradations. Elle peut aider à la prise de décision dans la régulation des pressions anthropiques et donc à la préservation des habitats prioritaires et des communautés marines qui en dépendent.

V. Bilan

V.1. Simplification des indices surfaciques

A partir de la cartographie continue fine et actualisée des habitats marins réalisée dans le cadre du réseau SURFSTAT, nous réalisons actuellement une analyse paysagère pour extraire des indicateurs surfaciques de la qualité des eaux côtières à l'échelle des masses d'eau. En complément, des cartes des indices de régression et de diversité des habitats représentés sur un pixel de 20 mètres sont réalisées. En nous appuyant sur la récente étude de Houngnandan *et al.* (2019)¹ nous proposons de compléter les données du réseau SURFSTAT par **deux cartes : l'indice de cohésion et l'indice de déclin** réalisées à l'échelle de la Méditerranée française (cellules de 100 x 100 m). D'après cette étude, l'indice de cohésion (connectivité entre deux taches d'herbier) et l'indice de déclin (couverture spatiale des herbiers dans une cellule) semblent être les indices qui caractérisent le mieux l'état de santé des herbiers en Méditerranée française. La réduction de la cohésion peut se produire rapidement si l'herbier subit un impact physique direct significatif ou plus lentement en cas d'impacts indirects. La réduction de cohésion se traduit par une diminution de la couverture spatiale. Le déclin de l'herbier de posidonie est donc un processus progressif qui suit la réduction de la connectivité entre les taches.

En utilisant **neuf pressions anthropiques** pouvant avoir un impact sur l'herbier de posidonie (aménagements côtiers, urbanisation, population côtière, agriculture, aquaculture, mouillage des bateaux, pêche, érosion du littoral, effluents urbains ; source : <https://plateforme.medtrix.fr/>, Projet IMPACT) et **quatre variables environnementales** (salinité de l'eau de mer, température de surface de la mer, chlorophylle a et la turbidité ; source : www.previmer.org), le modèle développé par Houngnandan *et al.* (soumis à Biological Conservation) permet d'expliquer des indices de configuration paysagère de *P. oceanica* avec d'excellentes performances (jusqu'à 87% de la variance expliquée). **Six indices de paysage** ont été considérés dans leur étude : i) la superficie moyenne des taches, ii) le pourcentage de couverture des fonds marins, iii) l'indice de fragmentation, iv) l'indice d'agrégation, v) l'indice de cohésion et vi) l'indice de déclin. Quel que soit l'indice étudié, cette étude montre que l'influence relative des variables environnementales sur la configuration spatiale des herbiers de Posidonie est clairement plus importante que l'influence des pressions anthropiques. L'indice de cohésion peut être utilisé pour représenter l'état de conservation des herbiers et ses liens avec les variables environnementales en fonction du seuil détecté. En effet, cet indice qui mesure la connectivité entre les herbiers de posidonie reflète bien les processus de dégradation écologique au sein d'un paysage (Rutledge 2014) et évalue bien son état de conservation (Opdam *et al.*, 2003). Ainsi, en combinant les seuils identifiés pour les variables environnementales et l'indice de cohésion, cette étude établit une carte d'aide à la gestion des herbiers en les classant en quatre catégories : 1) les patchs d'herbier de posidonie sont dans de bonnes conditions environnementales et présentent une bonne cohésion, 2) les patchs d'herbier de posidonie sont dans de bonnes conditions environnementales mais présentent une mauvaise cohésion, 3) les patchs d'herbier de posidonie sont dans de mauvaises conditions environnementales mais présentent une bonne cohésion, 4) Les patchs d'herbier de posidonie sont dans de mauvaises conditions environnementales et présentent une mauvaise cohésion. Les herbiers de type 2 présentent un bon potentiel de rémission et doivent faire l'objet de mesures de gestion des pressions voire de restauration alors que les herbiers de type 3 sont fragiles et doivent faire l'objet de mesures de protection.

La mise à jour de la cartographie de 14 secteurs de la région Sud (PACA) dans le prochain programme SURFSTAT 2020 – 2022 pourra être complétée par des cartographies des indices de cohésion et de déclin selon la méthodologie développée par Houngnandan *et al.* (soumis à Biological Conservation)² présentée sur les figures suivantes.

¹ Houngnandan F., Kefi S., Deter J (2019) How anthropogenic pressures and environmental variables influence the spatial configuration of the seagrass *Posidonia oceanica* in France? Oceans 2019, Marseille

² Fabrice HOUNGNANDAN, Sonia KEFI, Julie DETER. (soumis à Biological Conservation). The environment, more than direct human activities, influences the spatial configuration of *Posidonia oceanica* seagrass beds in France.



Caractérisation de la configuration spatiale des herbiers de posidonie par les indices de paysages



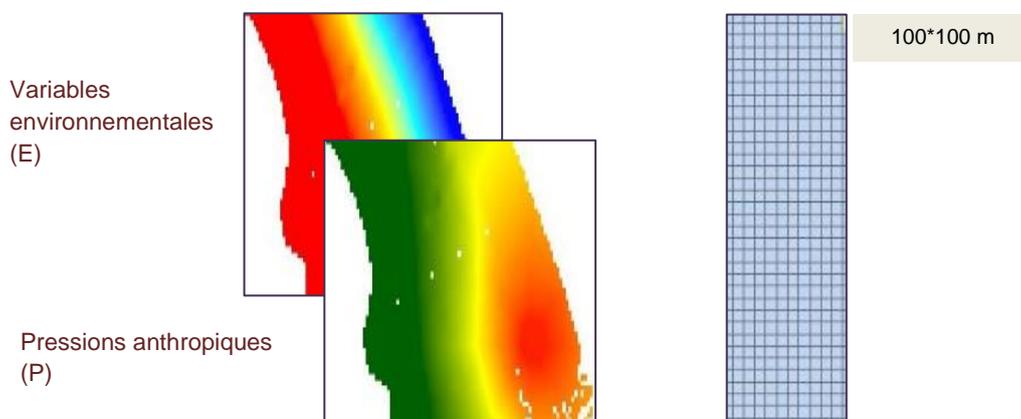
Herbiers à *Posidonia oceanica*



Matte morte de posidonie



Analyse de la carte des herbiers entre 0 and -40 m le long des côtes méditerranéennes françaises (1700 km) selon une cellule de 100 x 100 m et détection des seuils

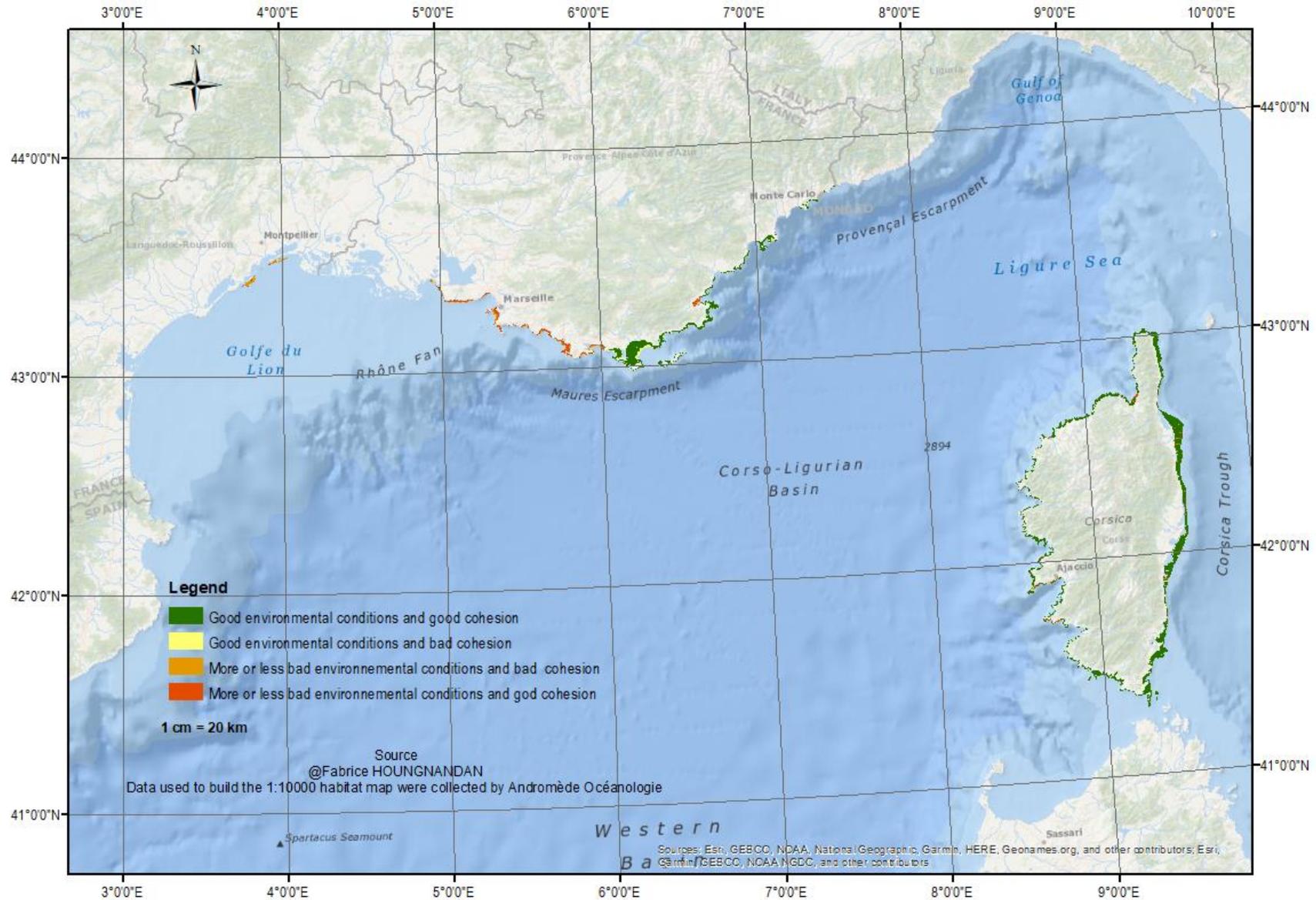


Variables
environnementales
(E)

Pressions anthropiques
(P)

100*100 m

Carte de la distribution des herbiers (cellule de 100 x 100 m) selon l'indice de cohésion (valeur > 50 = bonne cohésion ; valeur <50 = mauvaise cohésion).



V.2. SurfStat 2020 : Actualisation de la cartographie des habitats marins le long du littoral méditerranéen français

De nombreux secteurs très fréquentés par la plaisance nécessitent également une actualisation de la cartographie des biocénoses marines. Cette actualisation permettrait une meilleure compréhension et prise en compte de l'évolution des habitats prioritaires comme l'herbier de Posidonie dans des projets de gestion du littoral méditerranéen français.

L'actualisation concerne les régions Occitanie, PACA et Corse, et se justifie par :

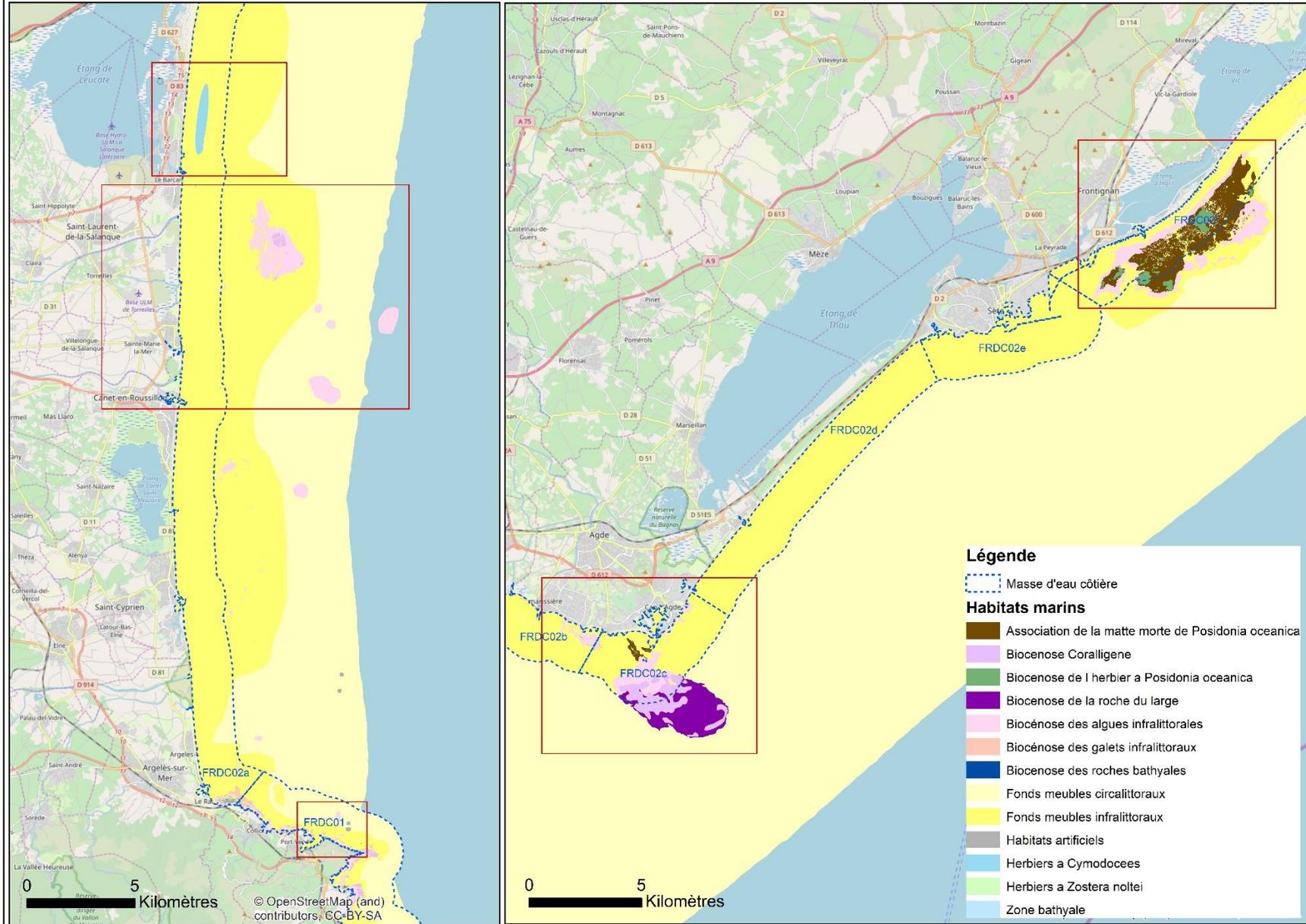
- l'ancienneté des données (cartographie qui date de 2010-2012 voire avant)
- le manque de données (limite inférieure d'herbier ou cartographie des assemblages coralligènes très approximatives car faites seulement à partir de données bathymétriques)
- la fréquentation des navires de plaisance représentée par le nombre de points d'ancrage recensés grâce aux données AIS (2010 à 2018)

En Occitanie (cf. carte p. 76), plusieurs secteurs plus au large et au-delà des 30 mètres de profondeur, comme à Port Vendres, à Canet-en-Roussillon ou à Agde, n'ont pas été assez précisément cartographiés et ne se limitent qu'à des polygones approximatifs représentant de la roche infralittorale ou des assemblages coralligène. Les limites de l'herbier de Posidonie et de la zone de matte morte en face de Frontignan nécessite également d'être précisées.

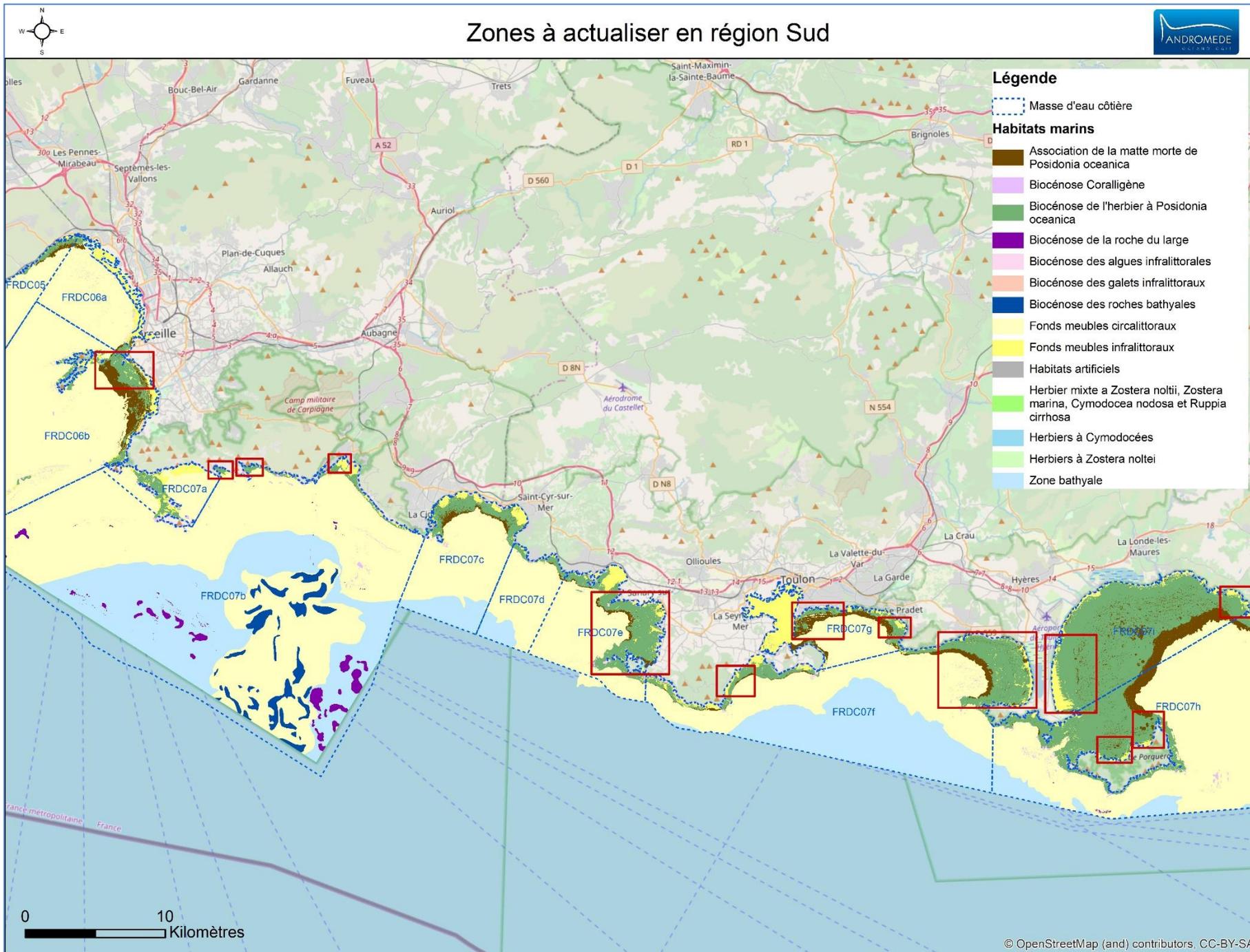
En région PACA (cf. cartes p. 77-78), l'actualisation de la cartographie est majoritairement justifiée par la fréquentation très importante de la plaisance et surtout des grosses unités d'une taille supérieure à 40 mètres de longueur (N-O de Porquerolles, Plage de Pampelonne, Sud de l'île Sainte Marguerite, Rade d'Agay...). La limite inférieure des herbiers de Posidonie nécessite d'être précisée dans plusieurs secteurs (Calanques, Pointe des Deux Frères, Cap d'Antibes, Cap d'Ail...).

En Corse du Sud (cf. carte p. 79), la cartographie des biocénoses date de 2010-2012 et 2015-2016 et est fortement pixellisée (traitement automatique) dans certaines zones ; ces cartographies, peu esthétiques, nécessitent d'être corrigées et actualisées (concerne les masses d'eau FRECO3ad et 03eg). Sur la côte Ouest, les herbiers de Posidonie de la Réserve de Scandola, du Golfe de Porto et d'Ajaccio est incomplète ou approximative et doit être complétée. De la Pointe Palazzu à la Pointe de la Revellata (FRECO1ab) la cartographie des herbiers et des récifs coralligènes au large a besoin d'être précisée (cartographie faite à partir des données bathymétriques pour le coralligène). Enfin, autour du Cap Corse et vers Saint-Florent de grosses unités sont au mouillage dans l'herbier ; ses limites sont donc à compléter ou à actualiser afin de recenser une évolution

Cartographie ancienne ou incomplète : région Occitanie



Zones à actualiser en région Sud





Zones à actualiser en région Sud

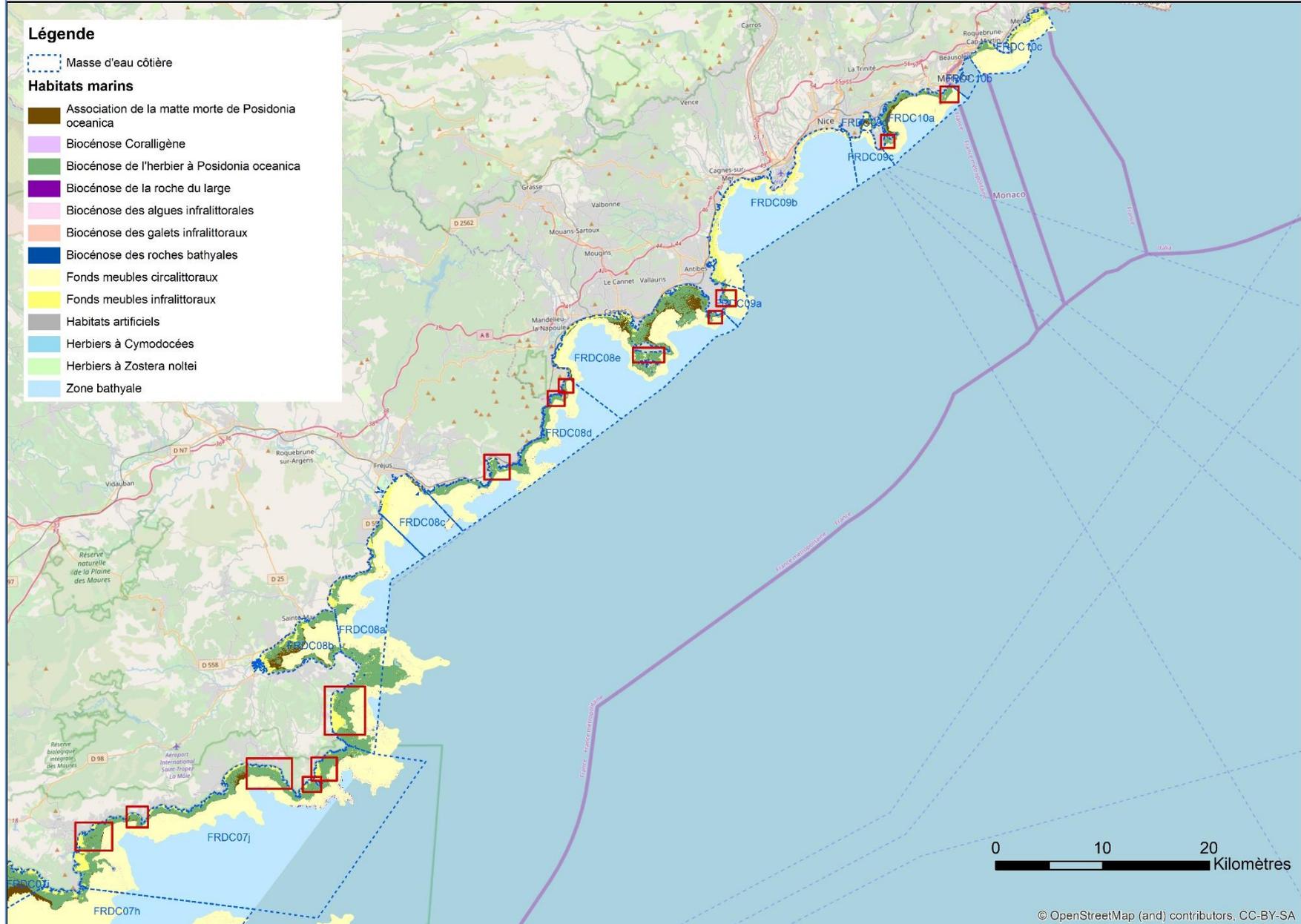


Légende

Masse d'eau côtière

Habitats marins

-  Association de la matre morte de Posidonia oceanica
-  Biocénose Coralligène
-  Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
-  Biocénose de la roche du large
-  Biocénose des algues infralittorales
-  Biocénose des galets infralittoraux
-  Biocénose des roches bathyales
-  Fonds meubles circalittoraux
-  Fonds meubles infralittoraux
-  Habitats artificiels
-  Herbiers à Cymodocées
-  Herbiers à Zostera noltei
-  Zone bathyale

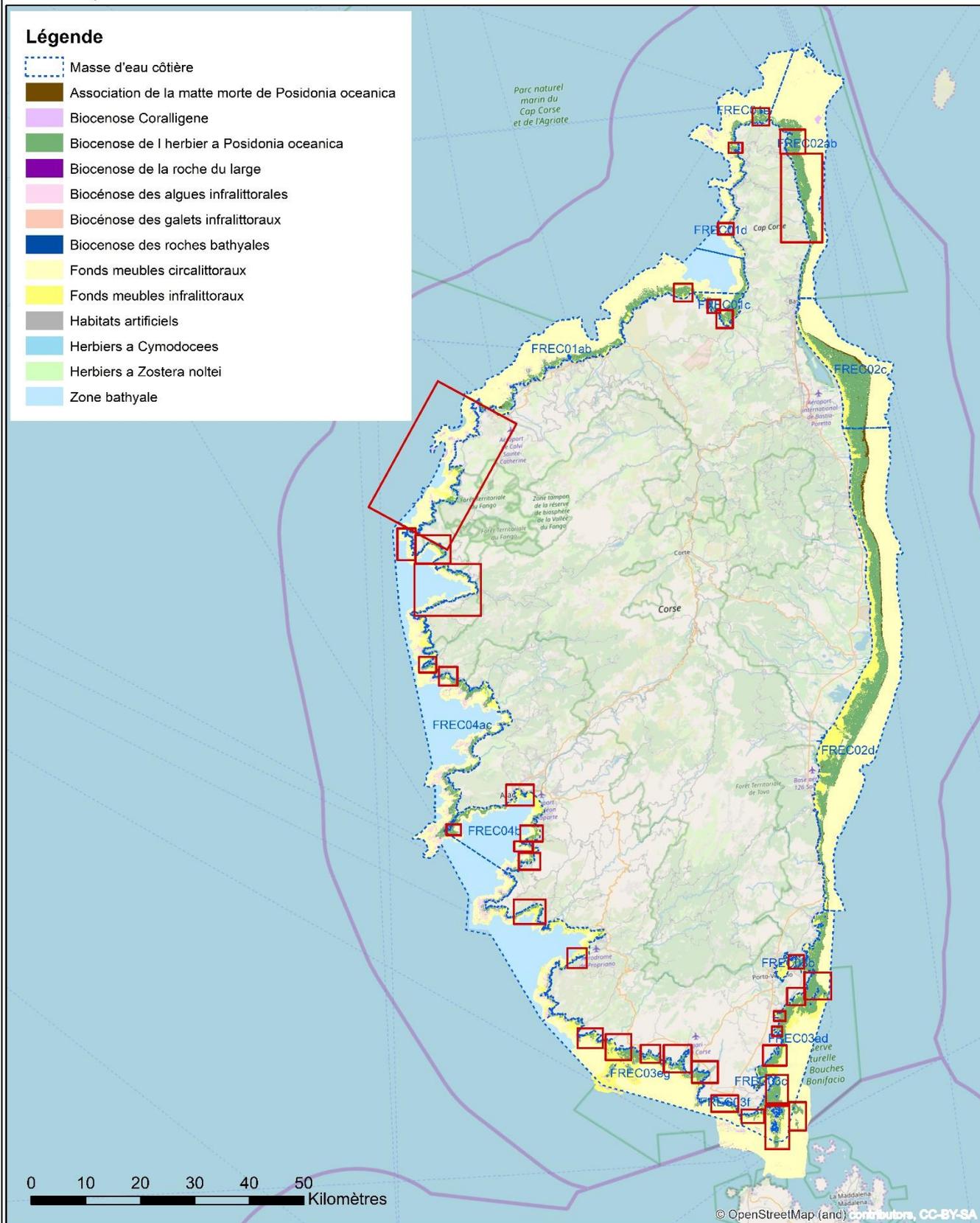




Zones à actualiser en région Corse

Légende

-  Masse d'eau côtière
-  Association de la matre morte de Posidonia oceanica
-  Biocénose Coralligène
-  Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
-  Biocénose de la roche du large
-  Biocénose des algues infralittorales
-  Biocénose des galets infralittoraux
-  Biocénose des roches bathyales
-  Fonds meubles circalittoraux
-  Fonds meubles infralittoraux
-  Habitats artificiels
-  Herbiers à Cymodocees
-  Herbiers à Zostera noltei
-  Zone bathyale



VI. Bancaisation et valorisation

VI.1. Plateforme Medtrix et l'application Donia

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, trois projets ont pu voir le jour et sont régulièrement actualisés :



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 1/10 000^{ème}, 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 1/10 000^{ème} entre 0 et 80 mètres. Des données sur les aires marines protégées de Tavolara (Sardaigne), Galite et Zembra (Tunisie) sont également disponibles.



SURFSTAT, projet d'analyse surfacique des paysages sous-marins côtiers en Méditerranée française. Créé en 2013, ce projet a pour but de décrire par une approche statistique l'hétérogénéité écologique des fonds sous-marins dans l'espace et le temps entre 0 et 80 mètres de profondeur. Cette analyse est essentielle pour évaluer la fragmentation et la connectivité des habitats. Des cartes des indices de régression et de diversité de Simpson et des habitats prioritaires sont également visibles et actualisées au fur et à mesure des actualisations.



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



VI.2. Plaquette de communication

Afin de sensibiliser l'opinion publique et les organismes décideurs quant à l'impact de l'ancrage des bateaux dans l'herbier de Posidonie, une plaquette de communication de 14 pages a été réalisée. Cette plaquette est une Édition spéciale du Cahier de Surveillance de la plateforme Medtrix et a été mise en ligne le 06 avril 2019 (Cahier de surveillance n°6, Edition spéciale : Ancrage de la grande plaisance). Cette édition spéciale est consultable et téléchargeable sur la plateforme MEDTRIX (<https://medtrix.fr/category/cahiers-de-surveillance/>).

VII. Conclusion générale

La réalisation 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., 2015a) aussi bien en région Sud qu'en Corse. Devant la croissance des activités, 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. La sortie de l'arrêté n°123/2019 le 3 juin 2019 par la Préfecture maritime de Méditerranée est un bon exemple d'une prise de conscience générale et de la volonté des décideurs à protéger cet habitat fragile et unique. Cet arrêté, qui concerne majoritairement les navires de plaisance de plus de 24 mètres, sera décliné par département. Ces dispositions départementales devraient être effectives pour l'été 2020.

L'actualisation régulière des données cartographiques permet 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.

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.
- 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.
- 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 Océanologie, 2013. Inventaires biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site Natura 2000 « Baie de La Ciotat » FR 9301998. Contrat Andromède Océanologie / Agence des Aires Marines Protégées. 292p.
- 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'Andromède/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'île 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 Régional de la Corse*, 4, 1-79.
- Boudouresque, C.-F., 1996. Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2ème édit., 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 (Kallymeniacees et Sebdeniacees) 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 macro-surfaciques 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., Mouquet, N., Boissery, P., Bouchouca, M., Delaruelle, G., Tribot, A.-S., Deter, J., 2015a. Fine-Scale Cartography of Human Impacts along French Mediterranean Coasts: A Relevant Map for the Management of Marine Ecosystems. *PLoS One* 10, 20p.
- Holon, F., Delaruelle, G., Guilbert, A., Deter, J., Boissery, P., Descamp, P., 2015b. First continuous seabed map in France used for the creation of a management tool protecting *Posidonia oceanica*.
- Holon, F., Delaruelle, G., Boissery, P., Deter, J., 2015c. Medtrix: a cartographic database concerning marine ecology and anthropogenic pressures along the Mediterranean coast. *Mar. Pollut. Bull.*



- Holon, F., Boissery, P., Guilbert, A., Freschet, E., Deter, J., 2015d. 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.
- Houngnandan F., Kefi S., Deter J (2019) How anthropogenic pressures and environmental variables influence the spatial configuration of the seagrass *Posidonia oceanica* in France? *Oceans 2019*, Marseille
- Kininmonth S, Lemm S, Malone C, Hatley T. 2014. Spatial vulnerability assessment of anchor damage within the Great Barrier Reef World Heritage Area, Australia. *Ocean and Coastal Management* 100: 20-31.
- 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'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie, 2012. Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Objectifs environnementaux et indicateurs associés. Sous région Méditerranée occidentale. , p.13.
- Ministère de l'Écologie et du Développement Durable et de l'Énergie, 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>
- Opdam, P., Verboom, J., & Pouwels, R. (2003). Landscape cohesion: an index for the conservation potential of landscapes for biodiversity. *Landscape ecology*, 18(2), 113-126.
- Pasqualini, V. et al., 2001. Integration of aerial remote sensing, photogrammetry 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. *Éléments 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.
- Rutledge, D. T. (2014) 'Landscape indices as measures of the effects of fragmentation : can pattern reflect process?', (May).
- 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 12th 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

