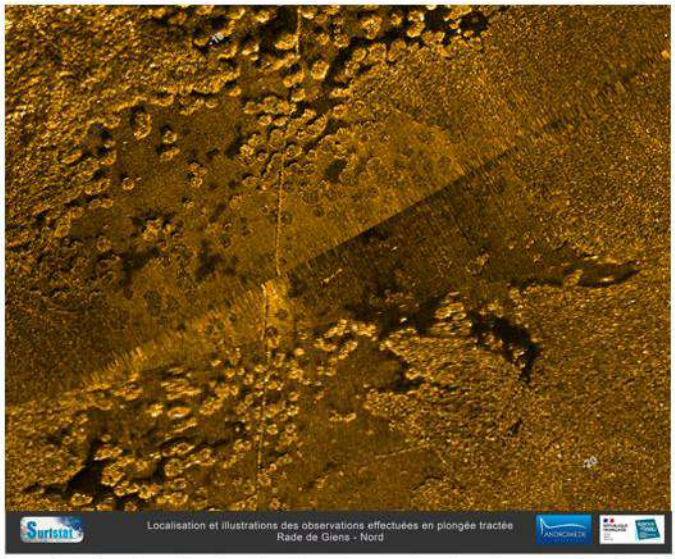
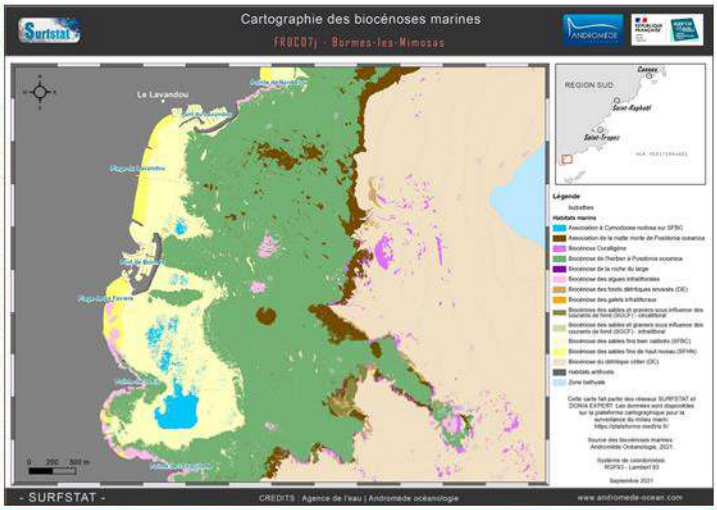
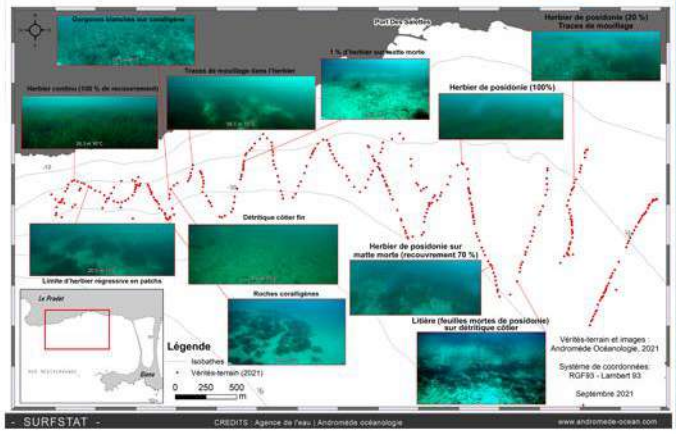
Réseaux de surveillance surfacique des habitats marins (SURFSTAT) et des pressions anthropiques (IMPACT). Mise à jour 2020-2021 en région SUD







Octobre 2021

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE
7, place Cassan - Carnon Plage
34 130 Mauguio - France
Tél. : 04.67.66.32.48
contact@andromede-ocean.com

Illustration de l'impact de la grande plaisance dans l'herbier de posidonie, ©Laurent Ballesta, 2018.

Coordination du projet :
HOLON Florian

florian.holon@andromede-ocean.com

Participants aux missions de terrain :
AGEL Noémie, BARBOTIN Guillaume, DETER Julie, DELARUELLE Gwénaëlle, DESCAMP Pierre, GUILBERT Antonin, HOLON Florian, MARRE Guilhem, PAVY Thomas, PERSONNIC Sébastien, RAUBY Thibault, RAUBY Justine.

Traitement des données et rédaction :
BOCKEL Thomas, BLANDIN Agathe, DELARUELLE Gwénaëlle, MARRE Guilhem

Mise en page des cartographies, structuration du SIG :
BLANDIN Agathe

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2021. Réseaux de surveillance surfacique des habitats marins (SURFSTAT) et des pressions anthropiques (IMPACT) – Mise à jour 2021-2021 en région Sud. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 210 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), SURFSTAT (analyse surfacique des habitats marins) et IMPACT (suivi des pressions anthropiques côtières).

Le **programme SURFSTAT 2020 - 2021 concerne la mise à jour de la cartographie de 14 zones prioritaires de la région Sud.** Grâce à l'acquisition de nouvelles données sonar (plus de 30 000 ha de couverture sonar) et de multiples observations en plongée (5000 vérités terrain) lors de campagnes de terrain menées en Avril 2020 et en Mars/Avril 2021, la cartographie des biocénoses marines a ainsi été actualisée sur ces 14 zones qui appartiennent à neuf masses d'eau côtières différentes.

Le **programme IMPACT 2020 - 2021 concerne la mise à jour de cartes de pressions anthropiques**, et plus particulièrement de la cartographie des impacts et impacts cumulés, une amélioration de la méthodologie de modélisation pour la pression issue du mouillage de la petite plaisance, et un premier travail de modélisation des anomalies de température de fond des eaux côtières. Ce programme est complété par un élargissement du **réseau d'antennes de réception AIS** et le développement d'une base de données **PostgreSQL.**

La première partie de ce rapport présente les résultats de (1) les **nouvelles cartographies** réalisées sur les 14 zones fortement impactées par la pression de mouillage et (2) 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 qu'une **analyse des paysages** entre 0 et 60 mètres de profondeur sur les neuf 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. Une étude de l'évolution de la cartographie et des surfaces d'herbier est également présentée pour chacune des 14 zones prioritaires.

La seconde partie de ce rapport présente 1) les **cartes d'impacts et d'impacts cumulés** mises à jour à partir des dernières couches de pressions anthropiques et de la cartographie des biocénoses marines actualisées dans les 14 secteurs impactés par le mouillage et 2) la **cartographie de la pression de mouillage due à la petite plaisance**. Cette partie présente également l'élargissement du **réseau d'antennes de réception AIS** et le développement d'une base de données **PostgreSQL.**

Toutes ces cartographies actualisées sont consultables sur la plateforme en ligne MEDTRIX dans les projets DONIA, DONIA Expert, et SURFSTAT pour les biocénoses marines des 14 zones prioritaires et dans les projets IMPACT et Suivi du mouillage pour les données du programme IMPACT 2020-2021.

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

SOMMAIRE

RESEAU DE SURVEILLANCE SURFACIQUE DES HABITATS MARINS (SURFSTAT) 1

I. INTRODUCTION 1
I.1. Biodiversité en mer Méditerranée 1
I.2. L'herbier à posidonie, un habitat remarquable 2
I.3. Les récifs coralligènes, un habitat complexe 3
I.4. La pression de mouillage 5
I.4.1. Impact de l'ancrage sur les habitats sensibles 5
I.4.2. Réseaux de surveillance pour étudier la pression Mouillage 7
I.5. Objectifs de la mise à jour du programme SURFSTAT 9
II. MATERIELS ET METHODES 10
II.1. Zones d'importance au mouillage 10
II.2. Cartographie des biocénoses marines 12
II.2.1. Synthèse des données cartographiques existantes 12
II.2.2. Acquisition et analyse de données sonar 12
II.2.3. Acquisition et analyse de données de terrain 13
II.2.4. Actualisation de la cartographie 17
II.2.5. Nomenclature des habitats : la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée 17
II.3. Outils et méthode d'analyse du paysage 20
II.3.1. Spatialisation et quantification du paysage 20
II.3.2. Métriques utilisées dans le cadre de l'analyse du paysage 22
III. RESULTATS 24
III.1. Masse d'eau FRDC07b : Baie de Cassis Ouest 27
III.1.1. Sonar latéral 28
III.1.2. Cartographie des biocénoses marines : Baie de Cassis 29
III.1.3. Analyse du paysage 31
III.2. Masse d'eau FRDC07e : Baie de Sanary-sur-Mer 38
III.2.1. Sonar latéral 39
III.2.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée 40
III.2.3. Cartographie des biocénoses marines : Sanary-sur-Mer 42
III.2.4. Analyse du paysage 44
III.3. Masse d'eau FRDC07f : Fabregas, les Sablettes et Rade de Giens 54
III.3.1. Fabrégas et les Sablettes 55
III.3.2. Rade de Giens 61
III.3.3. Analyse du paysage 67
III.4. Masse d'eau FRDC07g : Le Pradet 75
III.4.1. Sonar latéral 76
III.4.2. Vérités-terrain : observations en plongée tractée 77
III.4.3. Cartographie des biocénoses marines : Le Pradet 79
III.4.4. Analyse du paysage 81
III.5. Masse d'eau FRDC07i : La Capte et Brégançon 86
III.5.1. La Capte 87
III.5.2. Brégançon 90
III.5.3. Analyse du paysage 95
III.6. Masse d'eau FRDC07j : Bormes les Mimosas, Cavalière, Baie de Cavalaire-sur-Mer Est et Cap Taillat 102
III.6.1. Bormes-les-Mimosas 103
III.6.2. Cavalière 108
III.6.3. Cavalaire-sur-Mer 111
III.6.4. Cap Lardier et Cap Taillat 116
III.6.4. Analyse du paysage 121
III.7. Masse d'eau FRDC08d : Port de la Figueirette 133
III.7.1. Sonar latéral 134

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.7.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée 135
III.7.3. Cartographie des biocénoses marines 137
III.7.4. Analyse du paysage 139
III.8. Masse d'eau FRDC08e : Îles de Lérins 144
III.8.1. Sonar latéral 145
III.8.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée 146
III.8.3. Cartographie des biocénoses marines 149
III.8.4. Analyse du paysage 153
III.9. Masse d'eau FRDC09a : Anse de la Garoupe 159
III.9.1. Sonar latéral 160
III.9.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée 161
III.9.3. Cartographie des biocénoses marines 163
III.9.4. Analyse du paysage 165
IV. SYNTHESE DES RESULTATS 170
V. BILAN DE LA MISE A JOUR SURFSTAT 2020-2021 ET PERSPECTIVES 175
V.1. Les indices surfaciques 175
V.1.1. Simplification des indices 175
V.1.2. Analyse temporelle des indices surfaciques 178
V.2. Actualisation de la cartographie des biocénoses marines le long du littoral méditerranéen français en région Occitanie 178
V.3. Suivi de la recolonisation de l'herbier de posidonie – Projet RECOVERY 181

RESEAU DE SURVEILLANCE DES PRESSIONS ANTHROPIQUES (IMPACT) 182

I. INTRODUCTION 182
I.1. Contexte 182
I.2. Objectifs de la mise à jour du programme IMPACT 182
II. MISE A JOUR DES CARTES D'IMPACTS ET D'IMPACTS CUMULES 183
III. AMELIORATION DE LA METHODOLOGIE DE MODELISATION DE LA PRESSION DE MOUILLAGE DE LA PETITE PLAISANCE 184
IV. MODELISATION DES ANOMALIES DE TEMPERATURE DE FOND DES EAUX COTIERES 185
V. ELARGISSEMENT DU RESEAU D'ANTENNES DE RECEPTION AIS 187
VI. ACTUALISATION, STRUCTURATION ET STOCKAGE DES DONNEES D'IMPACT DANS UNE BASE DE DONNEES POSTGRESQL 188

BANCARISATION ET VALORISATION DES DONNEES IMPACT ET SURFSTAT 192

I. PLATEFORME MEDTRIX 192
II. APPLICATION DONIA 193
III. PUBLICATION SCIENTIFIQUE 194

CONCLUSION GENERALE 198

BIBLIOGRAPHIE 199

Réseau de surveillance surfacique des habitats marins (SURFSTAT)

I. Introduction

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.

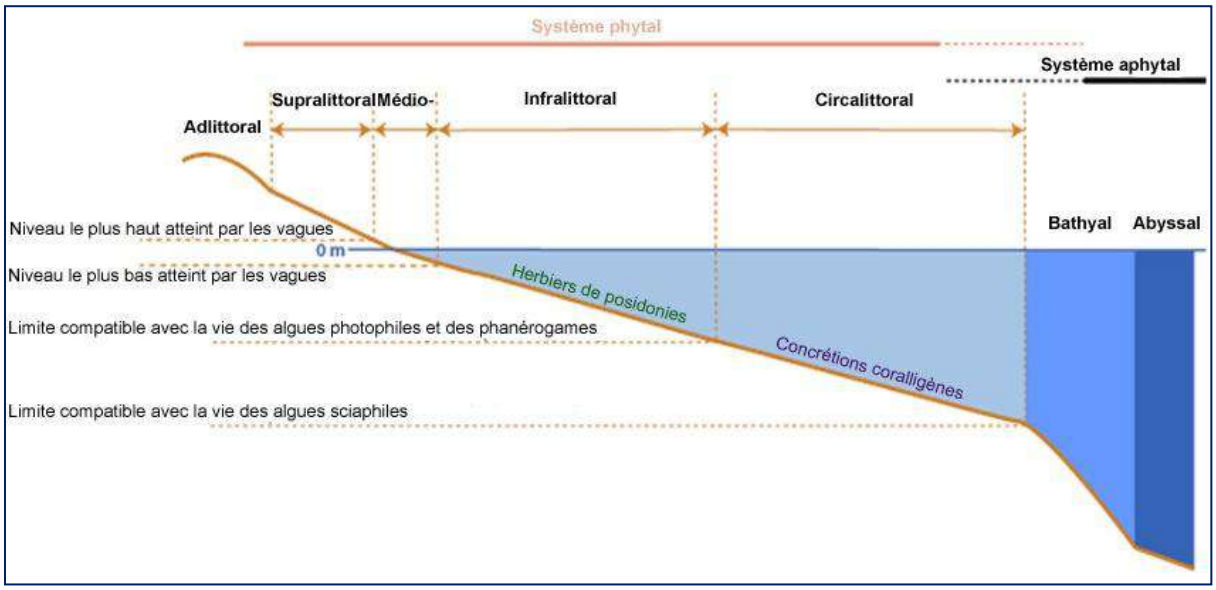


Figure 1: Les étagements benthiques en Méditerranée. Modifié d'après Bellan-Santini, 1994.

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 clé de Méditerranée, étage infralittoral) et les concrétions coralligènes (étage circalittoral) (PNUE/PAM 2009).

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

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

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

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

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).

Figure 3 : Herbier à *Posidonia oceanica*

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 (RÉGION SUD) et Occitanie. TEMPO comprend actuellement **55 sites en limite inférieure et 47 sites à la profondeur intermédiaire**. Ces données descriptives et leurs évolutions dans le temps (période de trois ans) et l'espace (minimum d'un site par masse d'eau) complètent l'estimation de la qualité écologique des masses d'eau côtières demandée par la DCE et aident à évaluer l'efficacité des mesures correctives mises en place afin d'atteindre ou maintenir le bon état visé par cette directive.

Les données issues de TEMPO contribuent également à l'évaluation DCSMM. L'évaluation de l'atteinte du bon état écologique pour la composante « Habitats benthiques» repose sur deux critères : le critère D6C4 qui évalue

"*l'étendue de la perte du type d'habitat résultant de pressions anthropiques*", et le critère D6C5 qui renseigne "*l'étendue des effets néfastes liés aux pressions anthropiques sur l'état du type d'habitat, notamment l'altération de sa structure biotique et abiotique et de ses fonctions*" par sous-régions marines et par grands types d'habitat.

Figure 4 : Panorama d'un herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) sur substrat rocheux ©Laurent Ballesta.

I.3. Les récifs coralligènes, un habitat complexe

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

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

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

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

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

Grâce à son importante hétérogénéité structurale et à tous les services de support qu'il rend (protection et nourricerie pour jeunes poissons, production primaire, cycle des nutriments…), cet habitat fait partie des plus riches en termes de biodiversité créant ainsi un réseau complexe de relations inter- et intra-spécifiques. Le

coralligène est considéré, à l'instar des herbiers de posidonie, comme un des habitats à très haute valeur écologique en Méditerranée et est très souvent comparé aux récifs coralliens, un des écosystèmes les plus riches au monde en termes de diversité spécifique, d'abondance et de productivité (Ballesteros, 2006 ; Bianchi, 2010).

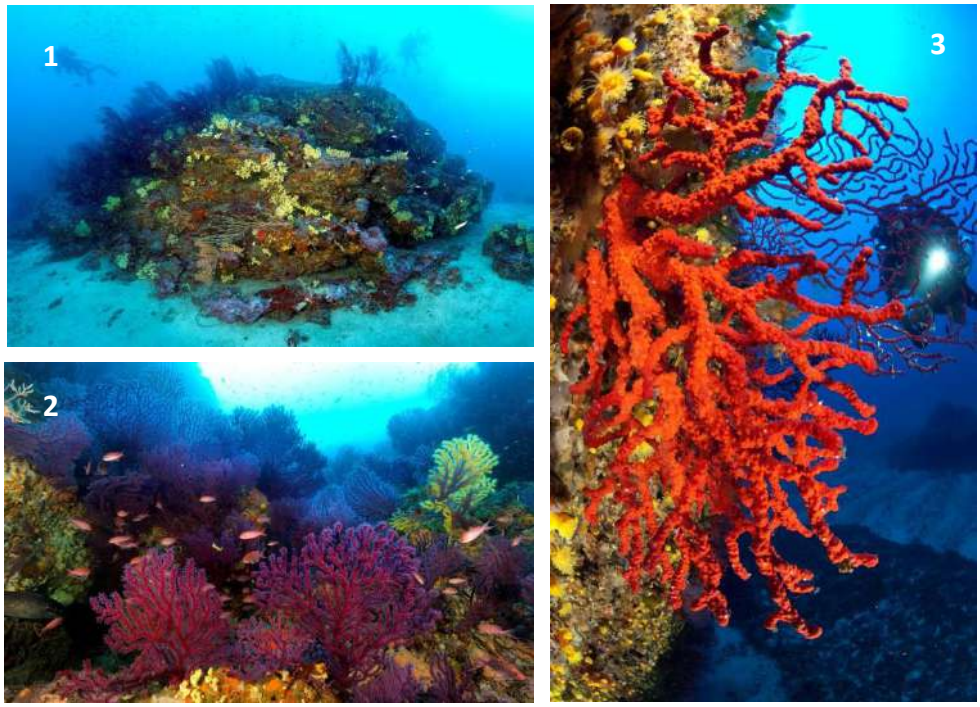


Figure 5 : Assemblages coralligènes. 1 : Massif coralligène ; 2 : Gorgones et barbiers (*Anthias anthias*); 3 : Corail rouge (*Corallium rubrum*) sur du coralligène de paroi. ©Andromède Océanologie.

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 112 sites correspondant à 213 stations réparties entre 17 et 115 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).

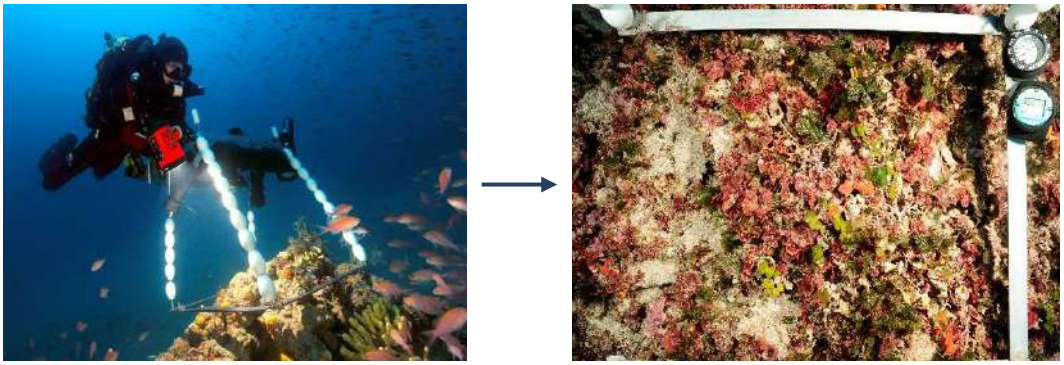


Figure 6 : Echantillonnage photographique pour le réseau de surveillance RECOR. A gauche : un plongeur utilise le quadrat photographique sur un massif de coralligène; à droite : photographie d'un quadrat.

I.4. La pression de mouillage

I.4.1. Impact de l'ancrage 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'accentuer avec le changement climatique en cours (le Sud-Ouest de l'Europe s'est réchauffé de 2°C depuis 1970) (PNUE/PAM 2009).

La 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).

Une des pressions anthropiques ayant un fort impact sur l'état des herbiers de posidonie actuellement est donc 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 2010, Andromède Océanologie étudie l'impact de l'ancrage des bateaux sur les habitats prioritaires méditerranéens grâce aux données AIS (Automatic Identification System) (https://medtrix.fr/cahier-de-surveillance-6/).

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 7).

Sur la base de ces enjeux de protection de la biodiversité et particulièrement des habitats sensibles de la Méditerranée ainsi que des obligations internationales et européennes de la France dans le domaine de l'environnement, **un récent arrêté préfectoral (n°123/2019) a été élaboré afin de fixer le cadre général du mouillage et l'arrêt des navires dans les eaux intérieures et territoriales françaises de Méditerranée et a été signé en Juin 2019.** L'article 6 porte précisément sur la protection de l'environnement :

« Le mouillage des navires ne doit, ni porter atteinte à la conservation, ni conduire à la destruction, à l'altération d'habitats d'espèces marines végétales protégées. Il est interdit de mouiller dans une zone correspondant à un habitat d'espèces marines végétales protégées lorsque cette action est susceptible de lui porter atteinte ».

Pour permettre la concertation et la prise en compte des spécificités locales, le préfet maritime a décidé de renvoyer la définition précise des zones interdites au mouillage à des arrêtés locaux en fonction de l'état de conservation des herbiers et de la fréquentation des sites**. 14 arrêtés préfectoraux** ont donc été signés à ce jour entre le 14 octobre 2020 et le 20 mai 2021 et concernent les navires de plus de 20 et 24 mètres.

Figure 7 : Ancre de bateau à la remontée dans un herbier de Posidonie et traces de mouillage dans l'herbier provoquées par la récupération d'une ancre (©Laurent Ballesta, 2018).

I.4.2. 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.

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.

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 biocénotiques.

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

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 sophistiqué 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 2020 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 localisées 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 25 204 navires au mouillage entre 2010 et 2021 issues des données AIS de Marine Traffic, VesselFinder et AISHub, comptabilisant ainsi 154 882 mouillages au total (89 989 mouillages pour des bateaux de taille supérieure à 24m ; chiffres datant du 31/08/2021).

- **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 ancres 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 (2010-2020)** 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 ».

I.5. Objectifs de la mise à jour du programme SURFSTAT

Le premier objectif de cette étude est de réaliser une cartographie continue fine et actualisée des biocénoses marines, en particulier des herbiers de posidonie. 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 **quatorze zones fortement impactées par le mouillage** : **Baie de Cassis, Baie de Sanary-sur-Mer, Fabregas, Golfe de Giens, Le Pradet, Rade d'Hyères, Cabasson, Le Lavandou, Cavalière, Cavalaire-sur-Mer, Cap Taillat, Figueirette, les Îles de Lérins et l'Est du Cap d'Antibes** (carte page suivante). Certaines de ces zones n'ont pas été cartographiées depuis le programme CARTHAM qui s'est déroulé entre 2010 et 2012 (programme CARTHAM, Agence des Aires Marines Protégées).

Le second objectif est d'analyser le paysage pour extraire des indicateurs surfaciques (spatiaux) de la qualité des eaux côtières pour les **neuf masses d'eau côtières actualisées en région Sud**.

Ce travail constitue une mise à jour des cartographies effectuées dans le cadre de SURFSTAT en 2014 (Delaruelle et *al.*, 2014) et 2018 (Andromède, 2019), en partenariat avec l'AERMC qui s'est intéressée à 25 masses d'eau côtière de la région Sud. La région Corse a également fait l'objet de deux études similaires en 2015 (Delaruelle et al., 2015) et 2017 (Andromède, 2018), le but étant de disposer d'un panel d'indicateurs mesurables sur tout le littoral méditerranéen français. Une nouvelle actualisation des biocénoses marines de Corse est en cours et sera rendue courant 2023. Elle concerne les zones impactées par l'ancrage des bateaux et celles nécessitant une actualisation en raison de l'ancienneté des données. Une étude plus poussée sur la typologie des substrats meubles le long du littoral corse est également prévue afin de produire une cartographie plus détaillée et actualisée de ces biocénoses mal connues (prospection au sonar acoustique et prélèvements de sédiments par bennes pour analyser la granulométrie et les teneurs en matière organique et carbonates).

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. Matériels et méthodes

Dans cette partie sont décrites le matériel et les méthodes utilisés pour :

- la sélection des 14 zones ciblées par cette étude ;

- la réalisation de la cartographie continue des biocénoses marines ;

- l'analyse du paysage et l'extraction des indicateurs surfaciques.

II.1. Zones d'importance au mouillage

Les données issues de l'analyse des réseaux de surveillance pour étudier la pression Mouillage (I.4.2) ont permis de cibler **14 zones identifiées comme très fréquentés par la plaisance et sur lesquels l'herbier de posidonie semble potentiellement le plus impacté.**

L'actualisation se justifie par :

- l'ancienneté des données (cartographie qui date de 2010-2012 voire avant) (Tableau 2) ;

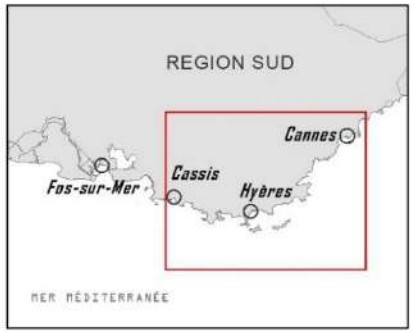
- le manque de données (limite inférieure d'herbier ou cartographie des assemblages coralligènes très approximatives car faites seulement à partir de données bathymétriques) ;

- la fréquentation des navires de plaisance représentée par le nombre de points d'ancrage recensés grâce aux données AIS (2010 à 2018).

Ces 14 zones se localisent dans les secteurs suivants : **Baie de Cassis, Baie de Sanary-sur-Mer, Fabregas, Golfe de Giens, Le Pradet, Rade d'Hyères, Cabasson, Le Lavandou, Cavalière, Cavalaire-sur-Mer, Cap Taillat, Figueirette, les Îles de Lérins et l'Est du Cap d'Antibes**.

Elles sont indiquées sur la carte page suivante.

Zones prioritaires choisies pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses marines



Légende

- Zones prioritaires
- Masses d'eau côtières

N
W E
S

0 10 km

Système de coordonnées :
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

II.2. Cartographie des biocénoses marines

II.2.1. 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 : la base de données MEDBENTH (Agence de l'Eau RMC/IFREMER), le programme CARTHAM - Cartographie et études des biocénoses des sites Natura 2000 (AAMP (nouvellement OFB)/MEEDTL) et le réseau SURFSTAT (Andromède Océanologie/Agence de l'Eau RMC). 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/).

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 14 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 respectivement menées en avril 2020 et en Mars/Avril 2021**.

II.2.2. Acquisition et analyse de données sonar

Pour cette étude, **10 000 hectares de données acoustiques sonar** ont été acquises en avril 2020 grâce à un système Klein 3900 (carte page 14). Le sonar est remorqué à une vitesse d'environ 5 nœuds et à une hauteur par rapport au fond comprise entre 3 et 10 mètres selon la fréquence (et donc la portée efficace maximale) choisie.

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

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

Exploitation des données sonar latéral

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

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

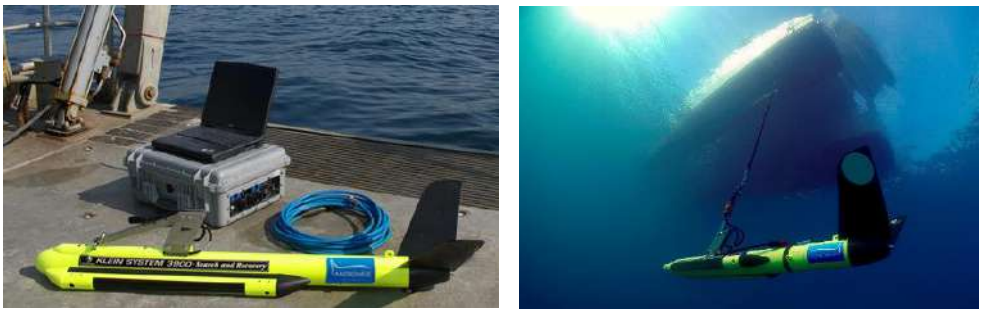


Figure 8 : Sonar Klein 3900. A gauche : micro-ordinateur avec logiciel SonarPro et enregistreur numérique ; à droite : poisson relié au bateau par le câble électroporteur. Source : Andromède

II.2.3. Acquisition et analyse de données de terrain

4 986 vérités terrain ont été réalisées en Mars/Avril 2021 grâce à des plongées ponctuelles et à des transects de plongeur tracté (carte page 16), dont **1800 dans les 14 zones prioritaires**.

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.

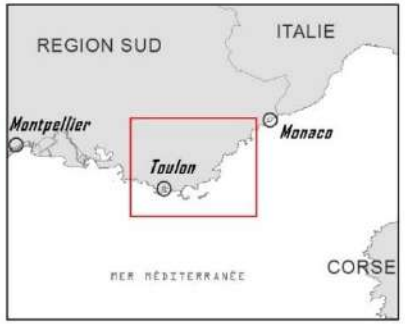
Le plongeur est tracté par le bateau à la bathymétrie voulue en fonction des zones à décrire. Il transmet ses observations en temps réel (présence herbier, indice supposé de vitalité…) à l'opérateur qui peut suivre son parcours sur l'ordinateur relié au GPS. Il est équipé d'une planche de tractage qui lui permet de faire varier sa profondeur, d'un système de communication et d'un système de positionnement. Une caméra GoPro® est également fixée au plongeur afin d'avoir une trace visuelle des observations faites *in situ* pour chaque plongée.

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

Couverture des données acoustiques sonar pour les 14 zones prioritaires en Région Sud



Légende

- Masses d'eau côtières
- Sonar

N
W E
S

0 10 20 km

Données sonar : Andromède Océanologie, 2020

Système de coordonnées :
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

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. Ce système est fixé sur la planche de tractage à laquelle le plongeur est accroché ; il décrit ses nombreuses observations marines *via* un système de communication (Aquacom de RCH) à l'équipe de surface, tout en étant géolocalisé.

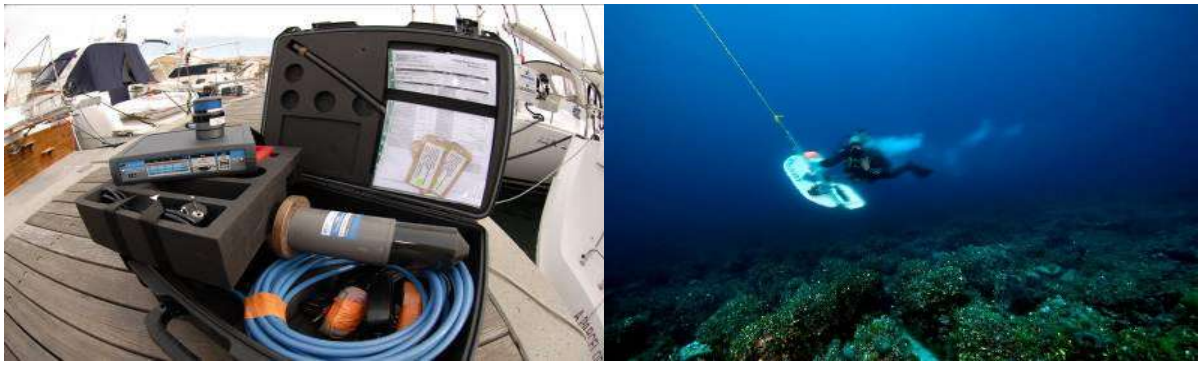


Figure 10 : Le système de GPS sous-marin Tritech est composé d'un pinger emporté par le plongeur et d'une antenne acoustique fixée sous le bateau. Il permet de géoréférencer toutes les observations. Une caméra GoPro® est attaché au plongeur afin d'enregistrer dans son intégralité le transect.

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.

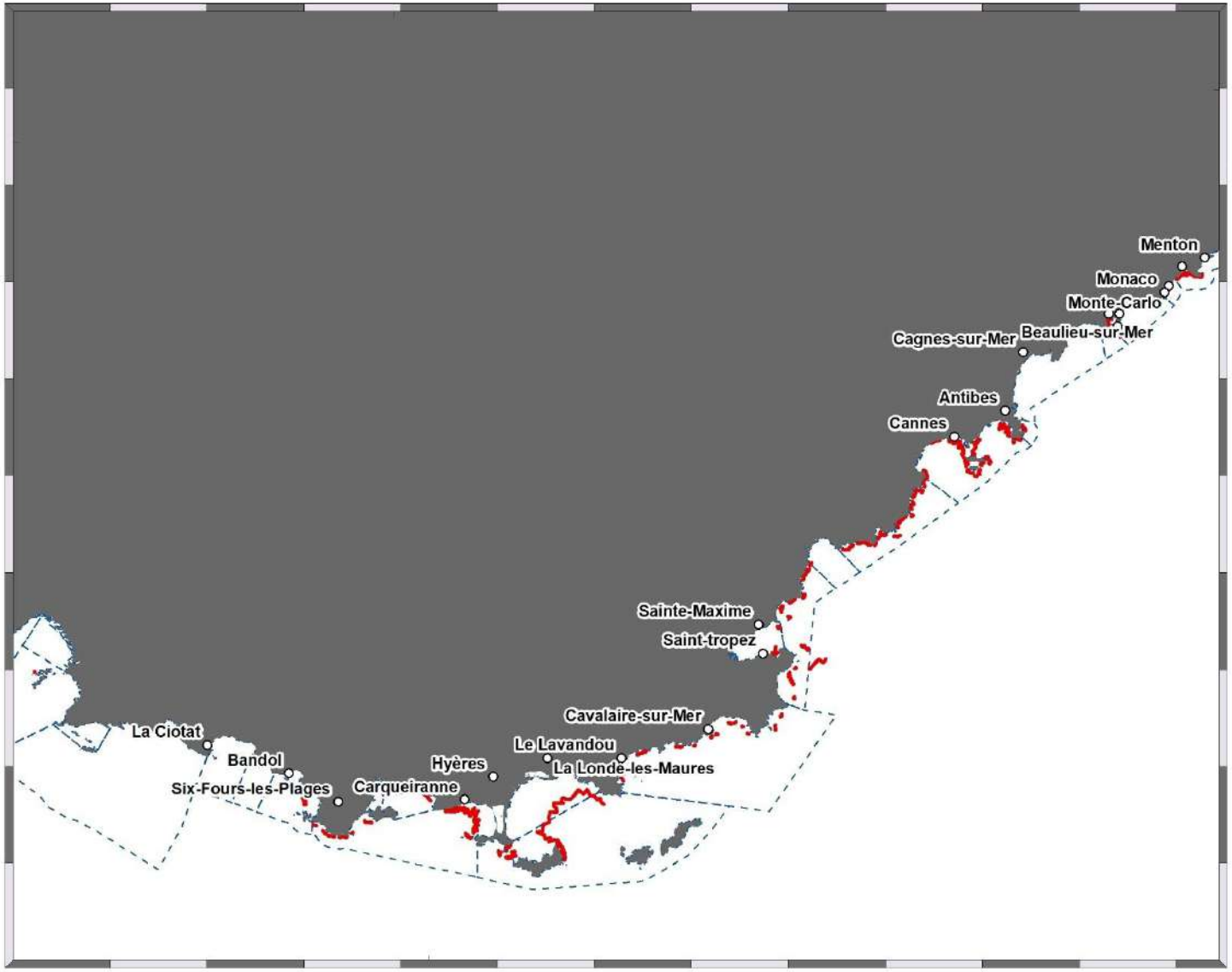
L'utilisation de la communication surface et du positionnement des observations en temps réel font de cette méthodologie un outil simple et performant pour la cartographie.

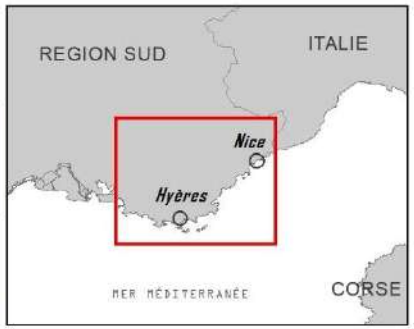
La mise en œuvre est plus simple que celle d'un ROV ou d'une caméra tractée dont la « vision » réduite ne permet pas une vision globale de l'habitat.

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.

Observations effectuées en plongée tractée





Légende

- Vérités-terrain (2021)
- Masse d'eau côtière

N
W E
S

0 10 20 Km

Données d'observations :
Andromède Océanologie,
Mars/Avril 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

II.2.4. 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 en avril 2020 en vue de réactualiser et d'affiner la cartographie qui n'a pas été actualisée depuis 2010-2012 (programme CARTHAM) dans certaines zones. Des observations terrain (plongeur tracté) ont également été réalisées en mars-avril 2021.

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	Orthophotographies aériennes BD ORTHO® 20 cm/50 cm de l'IGN	Photoshop CC ArcGIS for Desktop v.10.6 Google Earth QGIS 3.4	Points biologiques et relevés sonar réalisés par Andromède Océanologie

II.2.5. Nomenclature des habitats : la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée

A partir des données acquises au **sonar latéral** et en **plongée**, nous avons actualisé la cartographie des biocénoses marines dans chacune des zones avec une **échelle de précision égale à 1/10000ème.** La typologie utilisée est celle préconisée pour la cartographie des biocénoses en Méditerranée (Version 2019 de la Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée, Michez *et al.* 2014 [1]). Toutes les données cartographiques sont restituées selon le système de projection Lambert 93.

Au total, **14 biocénoses** ont été cartographiés :

- **Biocénose des sables fins de haut niveau** (Code MNHN : III.2.1.)

Bande de sable immergée jusqu'à environ 2,5 à 3 m de profondeur au maximum. Succédant aux plages émergées, elle constitue « la basse plage » et correspond à la zone d'hydrodynamisme maximum des plages, dans la zone de déferlement des vagues par mauvais temps. Le sédiment est dominé par du sable fin, mais il est mélangé à une fraction sableuse plus hétérogène et plus grossière (coquilles mortes, petits graviers) et à des débris de feuilles mortes de Posidonies en transit momentané.

- **Biocénose des sables fins bien calibrés** (SFBC) (Code MNHN : III.2.2.).

En dessous des SFHN, on trouve les Sables Fins Bien Calibrés (SFBC) c'est à dire du sable fin de granulométrie homogène. Les SFBC sont dépourvus de végétation mais abritent une faune diversifiée, notamment de mollusques, de polychètes, de crustacés décapodes, d'échinodermes, de poissons et qui occupe l'essentiel des

[1] Michez N., Fourt M., Aish A., Bellan G., Bellan-Santini D., Chevaldonné P., Fabri M.-C., Goujard A., Harmelin J.-., Labrune C., Pergent G., Sartoretto S., Vacelet J., Verlaque M., 2014. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée Version 2. Rapport SPN 2014 - 33, MNHN, Paris, 26 pages.

surfaces de fonds meubles de l'étage infralittoral notamment les fonds de calanques en limite supérieure d'herbier. Cette biocénose peut présenter des faciès particuliers à *Cymodocea nodosa* ou à *Caulerpa prolifera*.

- **Association à *Cymodocea nodosa* sur SFBC** (Code MNHN : III.2.2.a.)

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 de type SFBC.

- **Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond** (SGCF) **– étage infralittoral** (Code MNHN : III.3.2.).

Les Sables Grossiers et fins graviers sous influence des Courants de Fonds (SGCF) sont constitués de sables grossiers et de petits graviers dépourvus de fraction fine, triés sous l'effet de courants de fonds fréquents, voire persistants, et assez forts. Les SGCF peuvent s'étendre en Méditerranée de 4 à 70 m de profondeur et donc se mêler en profondeur avec la biocénose du Détritique Côtier. Les SGCF sont riches en méiofaune mais la macrofaune y est rare et peu abondante. Cette biocénose est fréquente dans les passes entre les îles, où les courants violents sont fréquents, mais également dans les intermattes des herbiers de posidonie.

- **Biocénose des galets infralittoraux** (Code MNHN : III.4.1.)

Plages de galets se rencontrant dans les criques des côtes rocheuses pouvant être soumises à un fort hydrodynamisme, de manière plus ou moins sporadique. L'habitat ne s'étend pas profondément, jusqu'à quelques décimètres tout au plus ; sa limite inférieure correspond à la zone où la force des vagues est insuffisante pour rouler les galets.

- **Biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*** (Code MNHN : III.5.1.).

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*** (Code MNHN : III.5.1.b.).

Le faciès dégradé de l'herbier à posidonies est également un habitat identifié dans la zone. Ce faciès 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 la matte morte affleurante ; dans le cas contraire nous avons assimilé ce faciès à du sédiment fin. Lorsque que la couverture d'herbier de posidonie est inférieure à 5 % nous l'avons cartographié en tant que matte morte.

- **Biocénose des algues infralittorales** (Code MNHN : III.6.1.)

C'est l'habitat de substrat dur le plus représenté dans l'étage infralittorale 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 des fonds détritiques envasés (DE)** (Code MNHN : IV.2.1.)

Ces biocénoses se développent dans des zones où les fonds détritiques sont recouverts par de la vase d'origine terrigène (dépôts des fleuves). La fraction vaseuse du détritique est généralement inférieure à 20% mais divers

types plus ou moins envasés existent. Ainsi, lorsqu'il a été observé un envasement supérieur à 20%, le détritique a été indiqué comme envasé sur la cartographie. Le renouvellement des masses d'eau est relativement peu actif au niveau de cette biocénose, qui se rencontre d'ailleurs dans les baies, plus profondément que la biocénose des fonds détritiques côtiers.

- **Biocénose du détritique côtier** (Code MNHN : IV.2.2.)

La biocénose des fonds du Détritique Côtier (DC) est caractéristique des fonds meubles circalittoraux et occupe une grande partie du plateau continental depuis la limite inférieure de l'herbier de posidonie. Le détritique côtier est composé de graviers organogènes issus des tests calcaires d'organismes actuels, provenant des formations infralittorales et circalittorales voisines, et partiellement colmatés par une fraction sablo-vaseuse. Sa nature est extrêmement variée en fonction des biocénoses voisines et peut présenter divers faciès et associations.

- **Association à rhodolithes sur DC** (Code MNHN : IV.2.2.b.)

Les rhodolithes représente un groupe de plusieurs espèces de rhodophytes calcifiées plus ou moins branchues, de tailles centimétriques, vivant libres sur le fond. Cet habitat se retrouve principalement dans un environnement sous faible éclairement, balayé par des courants unidirectionnels, et entre 30 et 65 m de profondeur. Le sédiment est généralement biogène, grossier et couvert de rhodolithes. Cet habitat est difficilement reconnaissable au sonar c'est pourquoi on ne se basera que sur les données d'observations en plongée tractée pour la cartographie.

- **Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond** (SGCF) **– étage circalittoral** (Code MNHN : IV.2.4.).

Les Sables Grossiers et fins graviers sous influence des Courants de Fonds (SGCF) sont constitués de sables grossiers et de petits graviers dépourvus de fraction fine, triés sous l'effet de courants de fonds fréquents, voire persistants, et assez forts. Les SGCF peuvent s'étendre en Méditerranée de 4 à 70 m de profondeur et donc se mêler en profondeur avec l'habitat du Détritique Côtier. Les SGCF sont riches en méiofaune mais la macrofaune y est rare et peu abondante. Cet habitat est fréquent dans les passes entre les îles, où les courants violents sont fréquents, mais également dans les intermattes des herbiers de posidonie.

- **Biocénose Coralligène** (C) (Code MNHN : IV.3.1.)

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. En Corse cet habitat est présent globalement à partir des 40 mètres de profondeur, mais en Région Sud ou en Occitanie où la turbidité des eaux est plus prononcée, le coralligène peut apparaître dès 20-25 m de profondeur.

- **Habitats artificiels** (Typologie SURFSTAT – Andromède Océanologie)

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

II.3. 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 biocénoses. 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 (neuf pour cette étude) puis par tranche bathymétrique (0-40m ; 0-60m) : ces différentes cartes des biocénoses correspondent chacune à une unité paysagère. Cette cartographie 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 14 catégories biocénotiques (cf. paragraphe II.2.5. Nomenclature des habitats : la typologie) appelées « classes » en écologie du paysage.

II.3.1. Spatialisation et quantification du paysage

La cartographie continue des biocénoses sous-marines 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 biocénotiques) et du paysage (= masse d'eau). Ces indices sont calculés grâce à un script R et du package SDMTools (VanDerWal et al., 2014), et plus particulièrement de la fonction ClassStat, reprenant en grande partie les indices extraits au travers de FragStats (McGarigal & Marks, 1995). Cette étape permet de mesurer la composition (hétérogénéité) et la configuration (fragmentation, agrégation) de la structure du paysage.

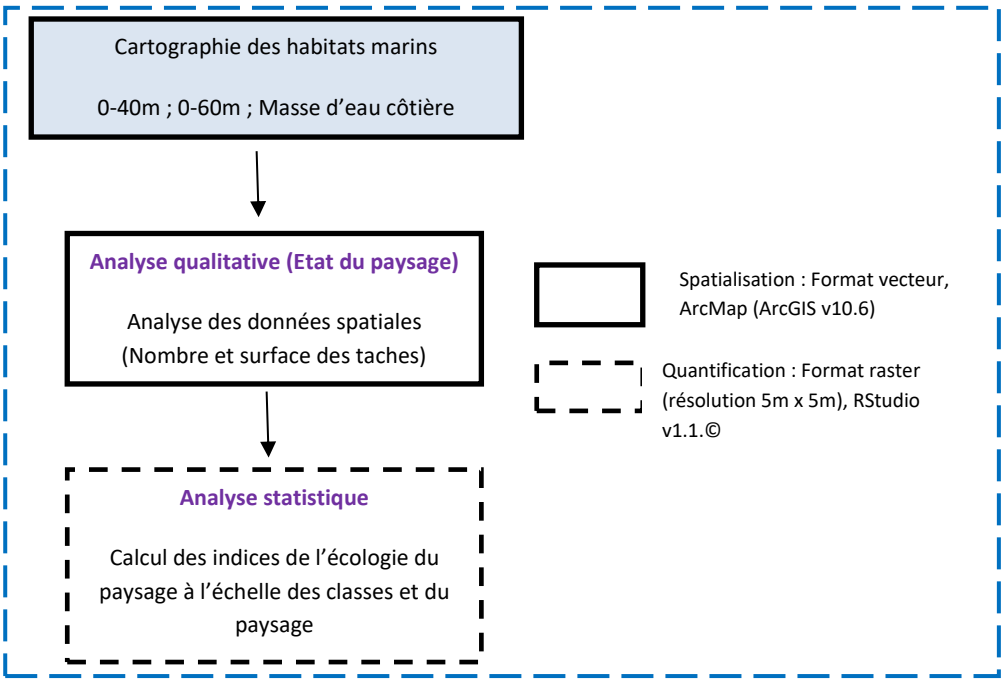


Figure 11 : Chaîne de traitement pour l'analyse du paysage

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 biocénoses sous-marines a tout d'abord été découpée par masse d'eau côtière (les 9 masses d'eau côtière en région Sud 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 neuf masses d'eau dont les données cartographiques devenaient trop anciennes ou dont la fréquentation des bateaux à l'ancrage est très importante. 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.

Masse d'eau	Prof. max actualisation	Sources des données existantes
FRDC07b	40 m	CARTHAM 2010-2012 STEP 2019 (AO/Métropole Aix-Marseille Provence)
FRDC07e	40 m	SURFSTAT 2014 Semantic 2016
FRDC07f	50 m	CARTHAM 2010-2012 SURFSTAT 2014
FRDC07g	30 m	AO/TPM 2009
FRDC07i	30 m	CARTHAM 2010-2012
FRDC07j	40 m	CARTHAM 2010-2012 AO/Communauté de communes du Golfe de St Tropez - 2019
FRDC08d	45 m	CARTHAM 2010-2012
FRDC08e	45 m	CARTHAM 2010-2012 Andromède Océanologie 2014
FRDC09a	30 m	CARTHAM 2010-2012 Andromède Océanologie 2014

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

III. Résultats

Les résultats sont présentés dans ce rapport pour chacune **des neuf masses d'eau de la région Sud contenant les 14 zones actualisées** grâce aux nouvelles données sonar et aux vérités-terrain. Pour chaque masse d'eau et/ou zone actualisée sont présentés les éléments suivants :

Couverture sonar et localisation des observations terrain

Les **levés au sonar latéral** (données acquises en avril 2020) et les **observations en plongée tractée** (données historiques et données acquises en Mars/Avril 2021) sont présentés sur deux cartes. Une troisième carte présentant plus en détail le chemin parcouru pour chaque secteur ainsi que des **images illustrant des points géolocalisés du transect** sera fournie pour une meilleure compréhension et visualisation des biocénoses et paysages observés (impressions écran des vidéos prises en plongée tractée).

Cartographies des biocénoses marines

Les aspects qualitatifs sont spatialisés sur une **carte des biocénoses sous-marines en 2D** par masse d'eau côtière accompagnée d'un graphe présentant les proportions du paysage occupé par chaque biocénose. Une seconde carte présentant spécifiquement **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 sont 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 toutes les biocénoses 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 région 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 Sud (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

La diversité paysagère est calculée grâce à l'indice de diversité de Simpson et est représentée sur une carte sur un pixel de 50 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.

Indice de régression de l'herbier

L**'indice de régression de l'herbier de posidonie** est calculé. Cet indice fait l'objet d'une représentation cartographique sur un pixel de 50 mètres. L'indice de régression a été calculé de la manière suivante :

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

*Surface issue de la cartographie continue des biocénoses marines réalisée dans le cadre de SURFSTAT.

Dans cette formule la matte morte cartographiée est considérée comme une régression de l'herbier de posidonie : on suppose que les zones de matte morte présentes en 2020 étaient auparavant des zones d'herbier.

Evolution des limites de l'herbier de Posidonie

Une carte de l'évolution des limites de l'herbier de Posidonie est réalisée pour les zones disposant de données sonar historiques comparables aux données sonar de 2020.

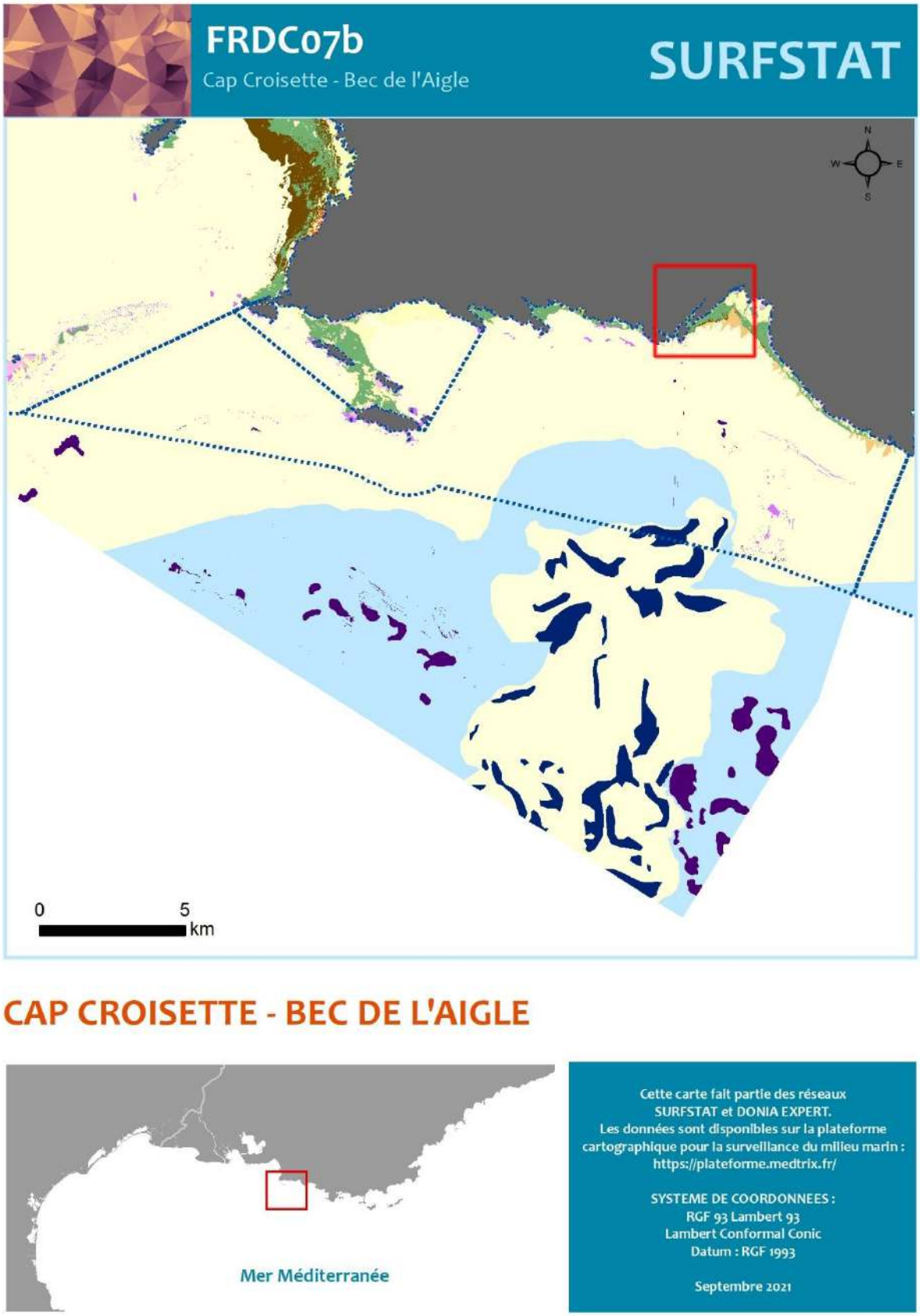
Le tableau ci-dessous liste les différentes sources de données à disposition pour chacune des 14 zones :

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 sonar
Ouest Baie de Cassis	2010 - 2020	Pas de données sonar historiques disponibles
Baie de Sanary	2014 – 2020 2016 - 2020	- SURFSTAT 2014 et 2020 - Semantic 2016
Fabregas / Les Sablettes	2008 - 2018	- AO/TPM 2009 - SURFSTAT 2020
Le Pradet	2008 - 2018	- AO/TPM 2009 - SURFSTAT 2020
Golfe de Giens	2012 - 2020	- CARTHAM 2010-2012 - SURFSTAT 2020
La Capte (Rade d'Hyères)	2012 - 2020	- CARTHAM 2010-2012 - SURFSTAT 2020
Cabasson	2012 - 2020	- CARTHAM 2010-2012 - SURFSTAT 2020
Le Lavandou	2012 - 2020	- CARTHAM 2010-2012 - SURFSTAT 2020
Baie de Cavalière	2012 - 2020	- CARTHAM 2010-2012 - SURFSTAT 2020
Est de Cavalaire-sur-Mer	2012 - 2020	Pas de données sonar historiques disponibles
Cap Taillat	2012 - 2020	- CARTHAM 2010-2012 - SURFSTAT 2020

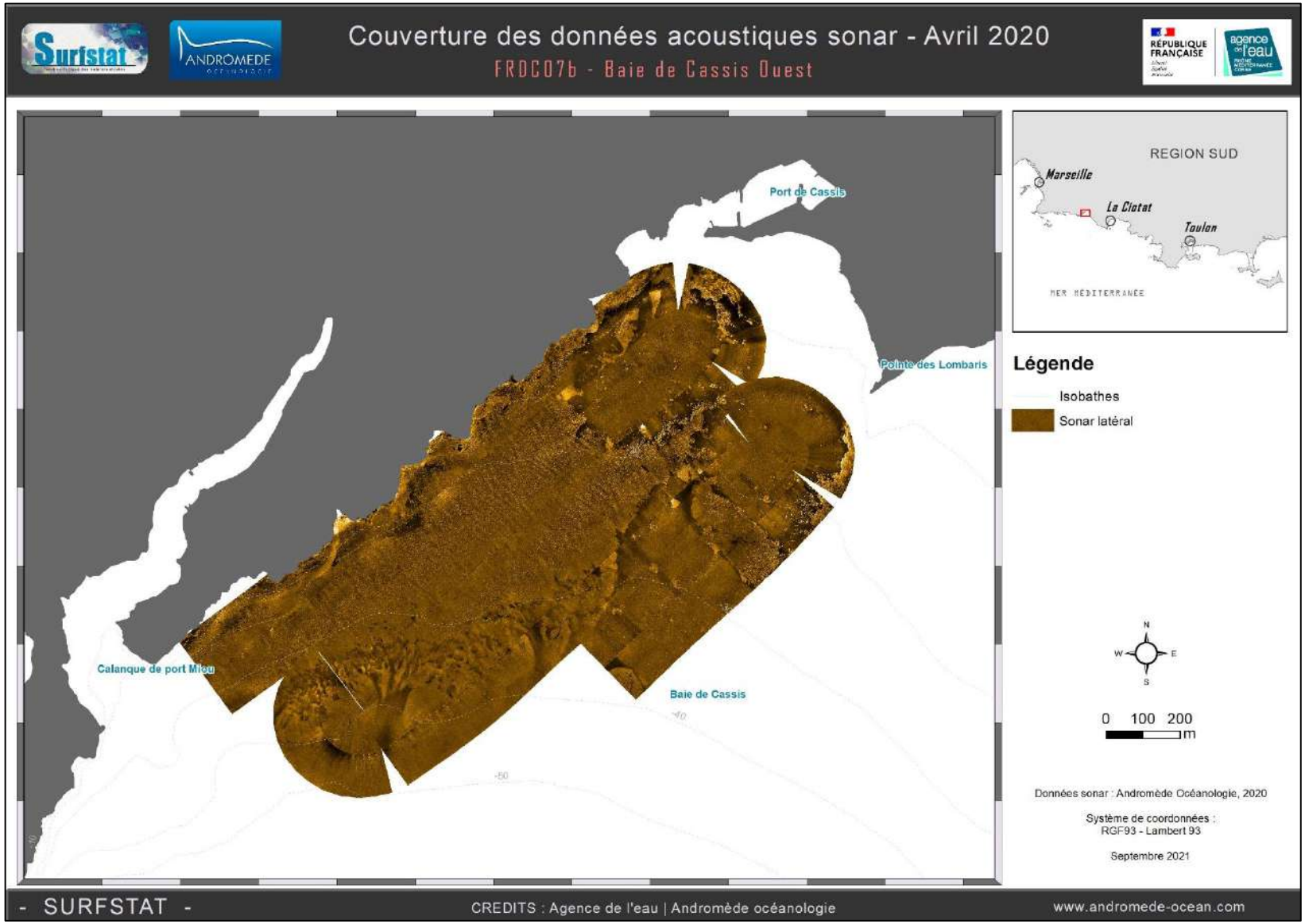
Port de la Figueirette	2012 - 2020	Pas de données sonar historiques disponibles
Plateau du Milieu (Îles de Lérins)	2012 - 2020	Pas de données sonar historiques disponibles
Anse de la Garoupe	2012 - 2020	Pas de données sonar historiques disponibles

III.1. Masse d'eau FRDC07b : Baie de Cassis Ouest



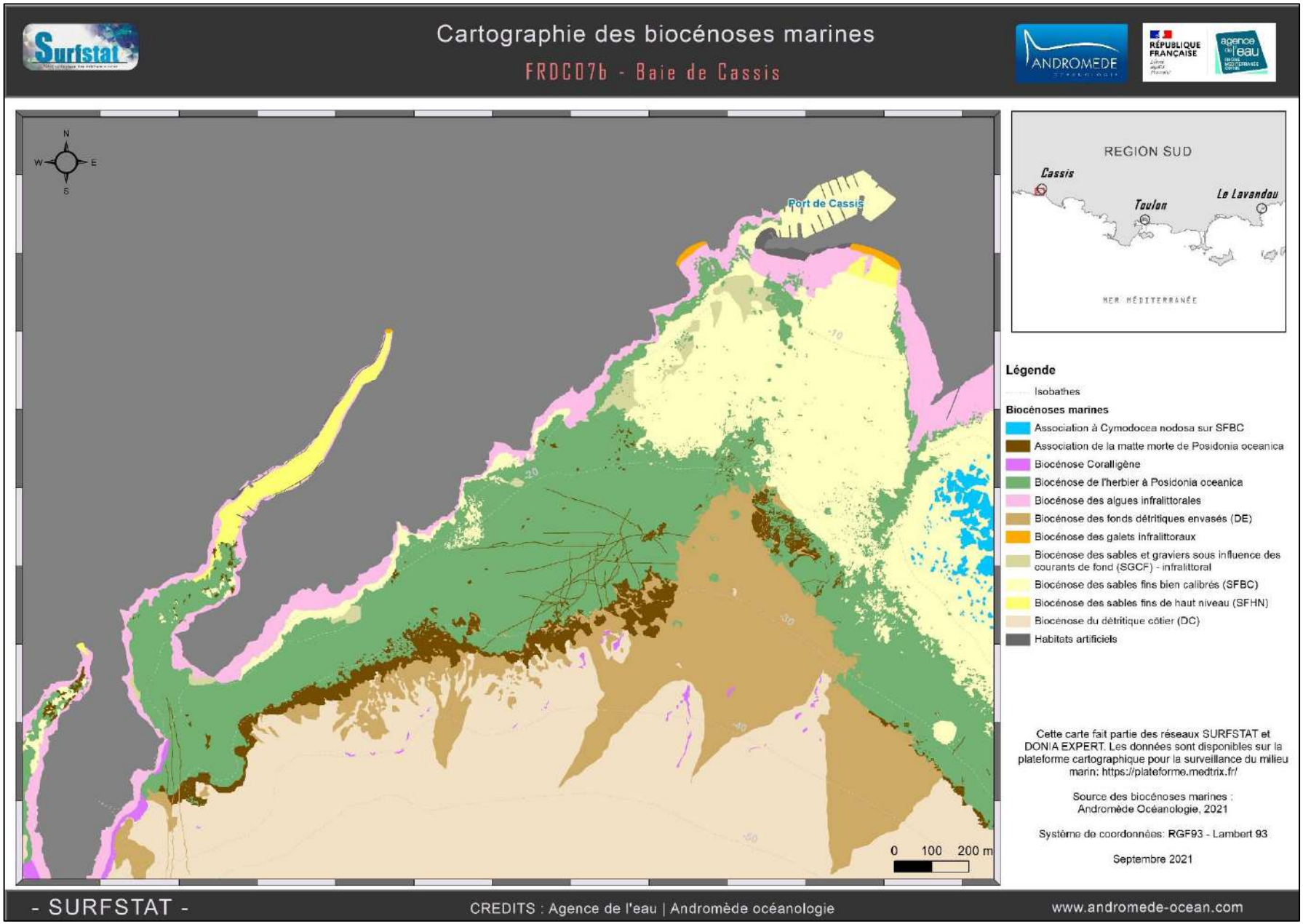
III.1.1. Sonar latéral

Au total, **171 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises entre 0 et – 40 m puis traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses de la Baie de Cassis. Les données acoustiques étant d'excellente qualité et aucune zone d'incertitude n'ayant été mise en évidence lors de la pré-cartographie, aucune observation en plongée tractée n'a été faite.



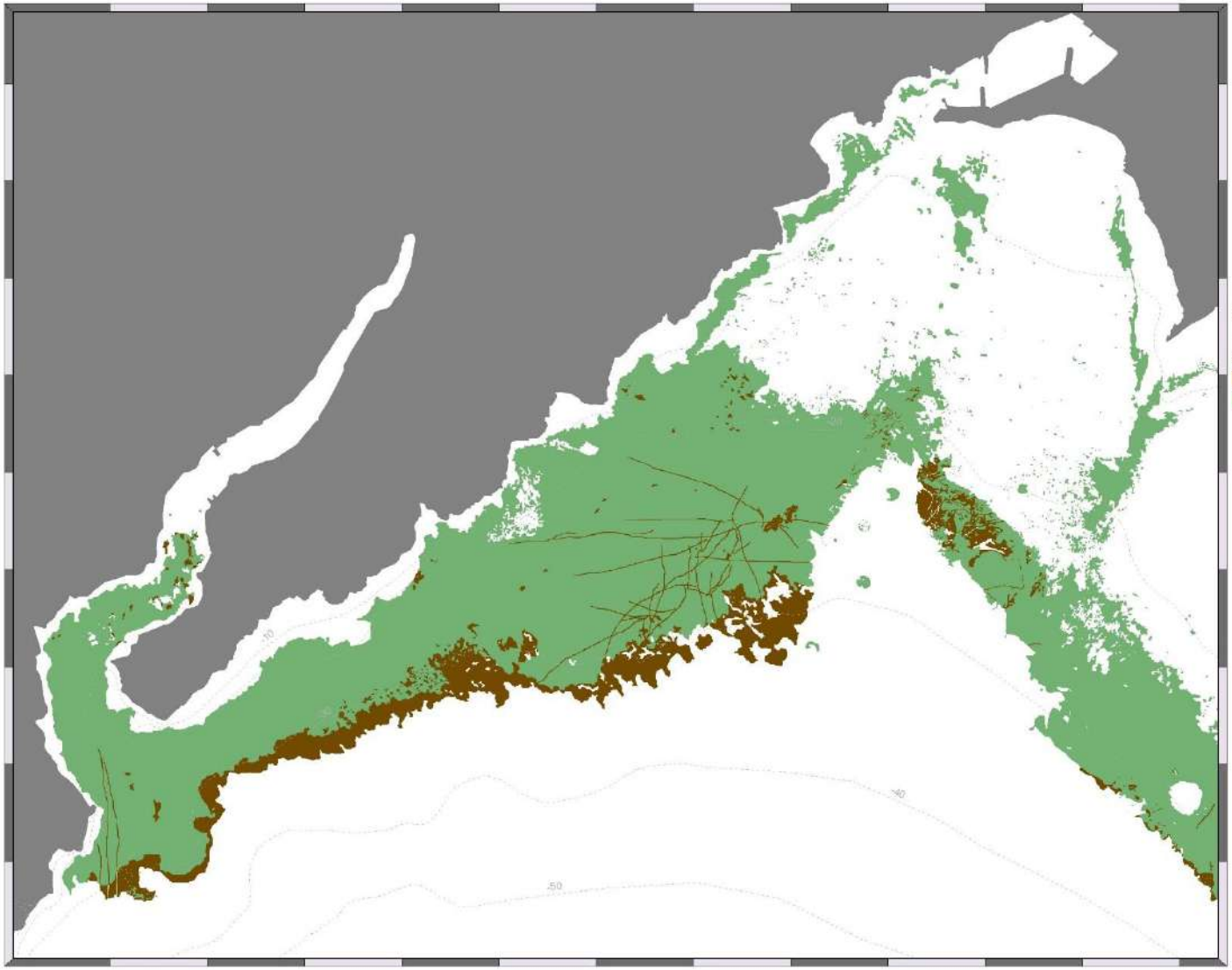
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

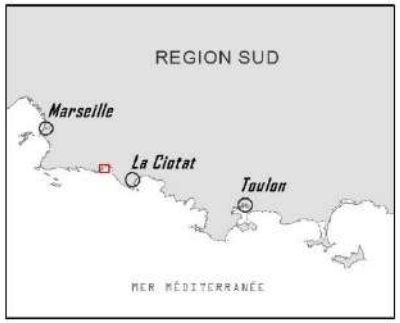
III.1.2. Cartographie des biocénoses marines : Baie de Cassis



Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC07b - Baie de Cassis Ouest





Légende

Isobathes

Biocénoses marines

- Association de la matte morte de Posidonia oceanica
- Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 100 200 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

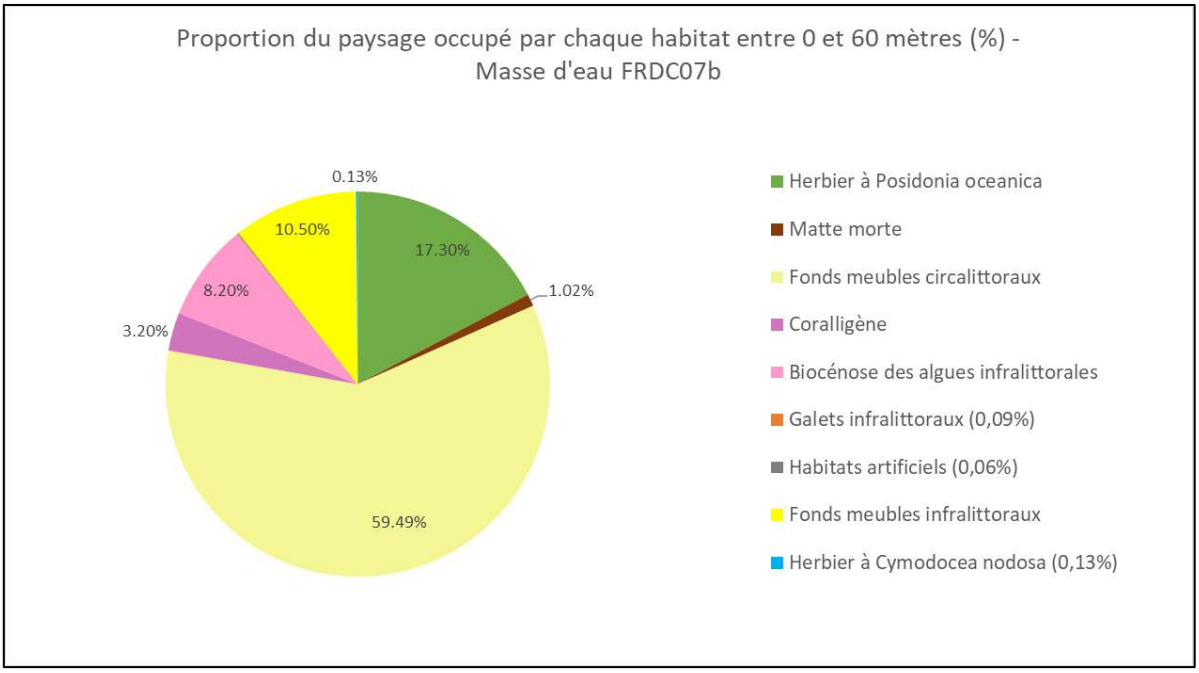
Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE OCÉANOLOGIE

III.1.3. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC07b « Cap Croisette – Bec de l'Aigle » comprend **neuf biocénoses** entre 0 et 60 mètres dont les **trois principaux** (>10% de recouvrement du paysage) sont les **fonds meubles infralittoraux** (10,5 %) et **circalittoraux** (59,5 %) et **l'herbier à Posidonie** (17,3 %). 33,2 % du paysage est dominé par une tache unique de fonds meubles circalittoraux.

Cette masse d'eau présente une **diversité paysagère moyennement élevée**. En effet, l'indice de Simpson (0,69) est proche de la valeur moyenne pour la région (0,66). Le nombre de biocénoses par 100 ha (0,58) est moyennement faible et le nombre de taches par 100 ha (114,9) est moyen comparativement aux valeurs de la région SUD. L'indice de Simpson est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte suivante.

Tableau 5 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07b

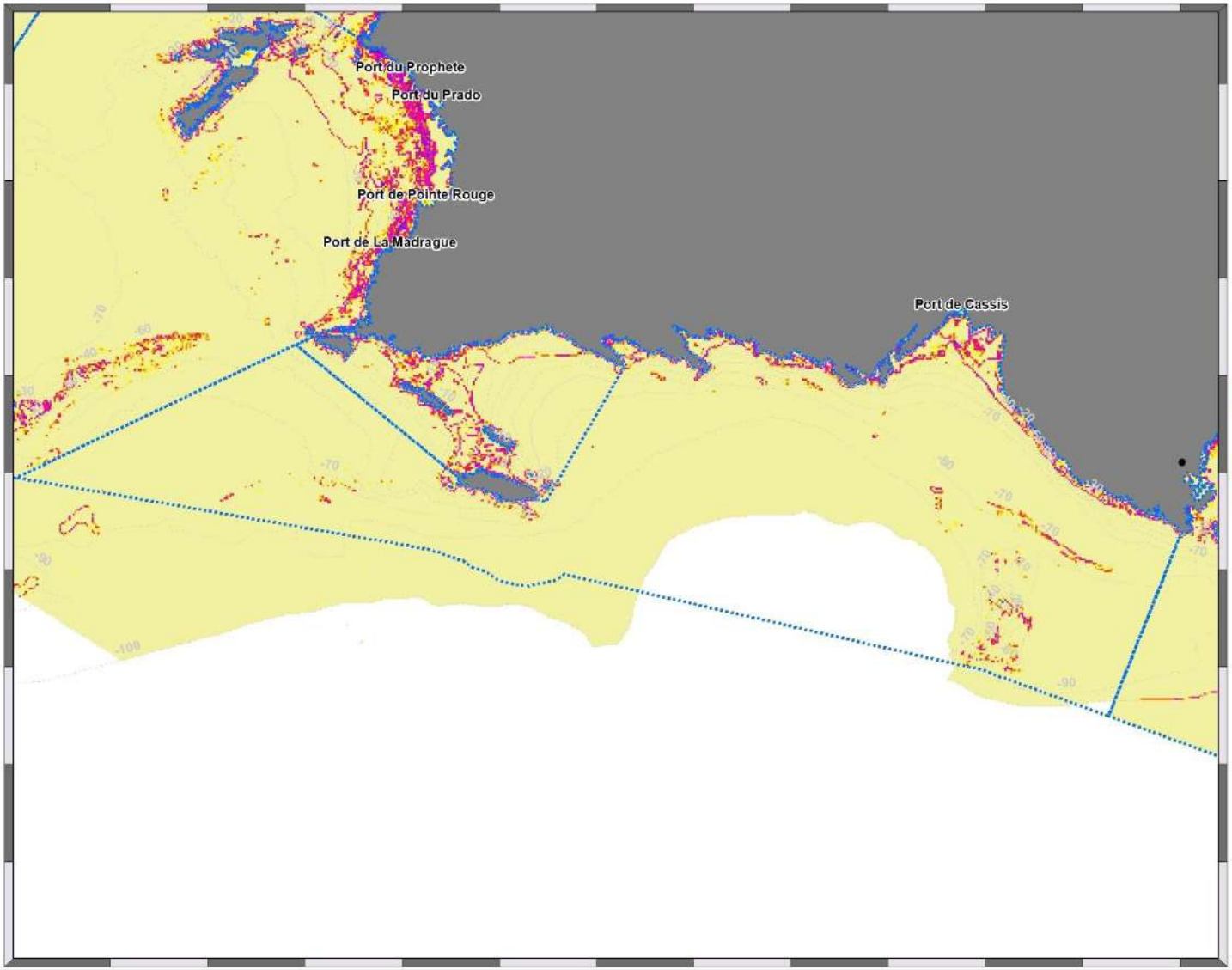
Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07b	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	1546.72	86.85 / 0 / 4008.79 / 16846.79
Nombre d'habitats dans le paysage	9	7 / 8.4 / 10
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	114.89	12.8 / 0 / 162.81 / 548.39
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	33.17	25.7 / 0 / 51.37 / 78.51
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.58	0.05 / 0 / 0.92 / 8.06
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.69	0.44 / 0.66 / 0.84

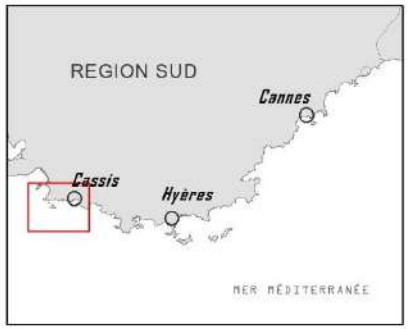
L'indice d'agrégation entre les taches entre 0 et 60 mètres met en évidence huit biocénoses fragmentées (AI<90 %). Pour quatre d'entre eux ceci s'explique par leur taux de recouvrement proche ou inférieur à 1 % : les habitats artificiels, les herbiers à *Cymodocea nodosa*, les galets infralittoraux et la biocénose coralligène. L'herbier de posidonie et les fonds meubles infralittoraux ont cependant un AI proche des 90 % (87,2 % et 86,5 % respectivement) et peuvent donc être considérés comme des habitats peu fragmentés à l'échelle de la masse d'eau.

L'habitat le moins fragmenté (donc qui présente une continuité et compacité des pixels forte) et dont les pixels sont le plus connectés entre eux (AI>90% et DIVISION<0,95) est l'habitat des fonds meubles circalittoraux.

Indice de diversité de Simpson

FRDC076 - Cap Croisette - Bec de l'Aigle





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 50 m

Faible

Elevée

N
W
E
S

0 1 2 3 4 5 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de Simpson : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE OCÉANOLOGIE

Au sein de la masse d'eau FRDC07b, l'herbier occupe 32 % du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce taux de recouvrement est légèrement en-dessous de la moyenne relevée sur l'ensemble des masses d'eau côtières en région Sud.

En comparaison aux valeurs relevées dans la région Sud, l'herbier de Posidonie de la masse d'eau FRDC07b se caractérise par un nombre élevé de taches (60,4 taches/100 ha), de faible taille (0,53 ha) et une distance moyenne entre deux taches les plus proches de 12,5 mètres.

On note la présence d'une tache unique d'herbier couvrant 7,9 % du paysage. L'indice d'agrégation (87,2 %) est très proche de la moyenne des masses d'eau en région Sud et l'indice de fragmentation de l'herbier (0,99) est au-dessus de la moyenne régionale (0,87). Cela indique une formation assez morcelée de l'herbier.

Les tâches de l'association de la matte morte de posidonie sont très isolées entre elles (AI=54,4 %) et l'habitat est très fragmenté à l'échelle de la masse d'eau (DIVISION=0,99). L'actualisation de la cartographie a permis de recenser des traces de mouillage et une limite inférieure d'herbier régressive entre le port et la calanque de Port Miou ainsi qu'au milieu de la Baie (voir figure ci-après).

La zone de matte morte localisée au milieu de la baie a une surface d'environ 9900 m² et se situe au niveau d'une zone de mouillage de grandes unités (> 40 m) comme présentée ci-dessous. L'indice de régression pour la masse d'eau FRDC07b (0,06) reste cependant faible par rapport aux autres masses d'eau de la région Sud.

Tableau 6 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07b.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07b	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	32.04	1.79 – 77.82 ; 0 ; 36.88
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	60.36	1.67 – 141.69 ; 0 ; 42.35
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	7.89	0.61 – 77.49 ; 0 ; 28.87
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.53	0.15 – 3.71 ; 0 ; 1.19
Indice de complexité des formes	1.07	1.05 – 1.13 ; 0 ; 1.07
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	12.53	7.49 – 94.76 ; 0 ; 23.84
Indice de fragmentation de l'herbier	0.99	0.4 – 1 ; 0 ; 0.87
Indice d'agrégation entre les taches (%)	87.21	76.73 – 97.25 ; 0 ; 87.94
Indice de régression de l'herbier	0.06	0.01 – 0.59 ; 0 ; 0.18

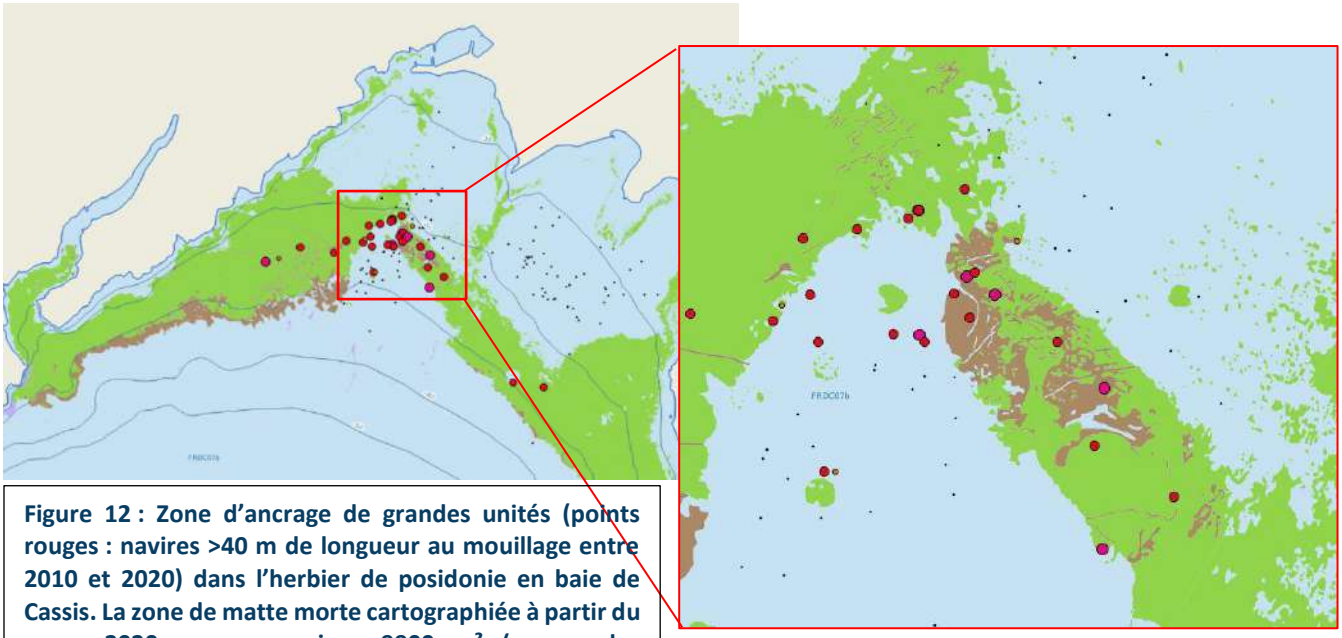


Figure 12 : Zone d'ancrage de grandes unités (points rouges : navires >40 m de longueur au mouillage entre 2010 et 2020) dans l'herbier de posidonie en baie de Cassis. La zone de matte morte cartographiée à partir du sonar 2020 mesure environ 9900 m² (source des données : *Suivi du mouillage de la grande plaisance par données AIS - Données Andromède Océanologie consultées en Aout 2021 sur la plateforme de surveillance MEDTRIX (https://plateforme.medtrix.fr)*.

Aucune carte d'évolution des limites de l'herbier de posidonie en Baie de Cassis n'a pu être générée car les méthodes d'acquisition sonar sont sensiblement différentes entre 2010 et 2020 : modèle du matériel d'acquisition, logiciels de traitement des bandes sonar, qualité des levés sonar de 2010 (résolution moindre et trajectoires du bateau créant un décalage entre les bandes), échelle de précision cartographique différente (1/25 000 pour CARTHAM, 1/10 000 pour cette étude) et les surfaces prospectées en 2010 et 2020 ne sont pas complètement comparables. On retrouve cependant sensiblement les mêmes limites inférieures d'herbier, taches de sable et/ou de matte morte dans l'herbier et les taches de sables envasés en limite inférieure d'herbier (images ci-dessous).

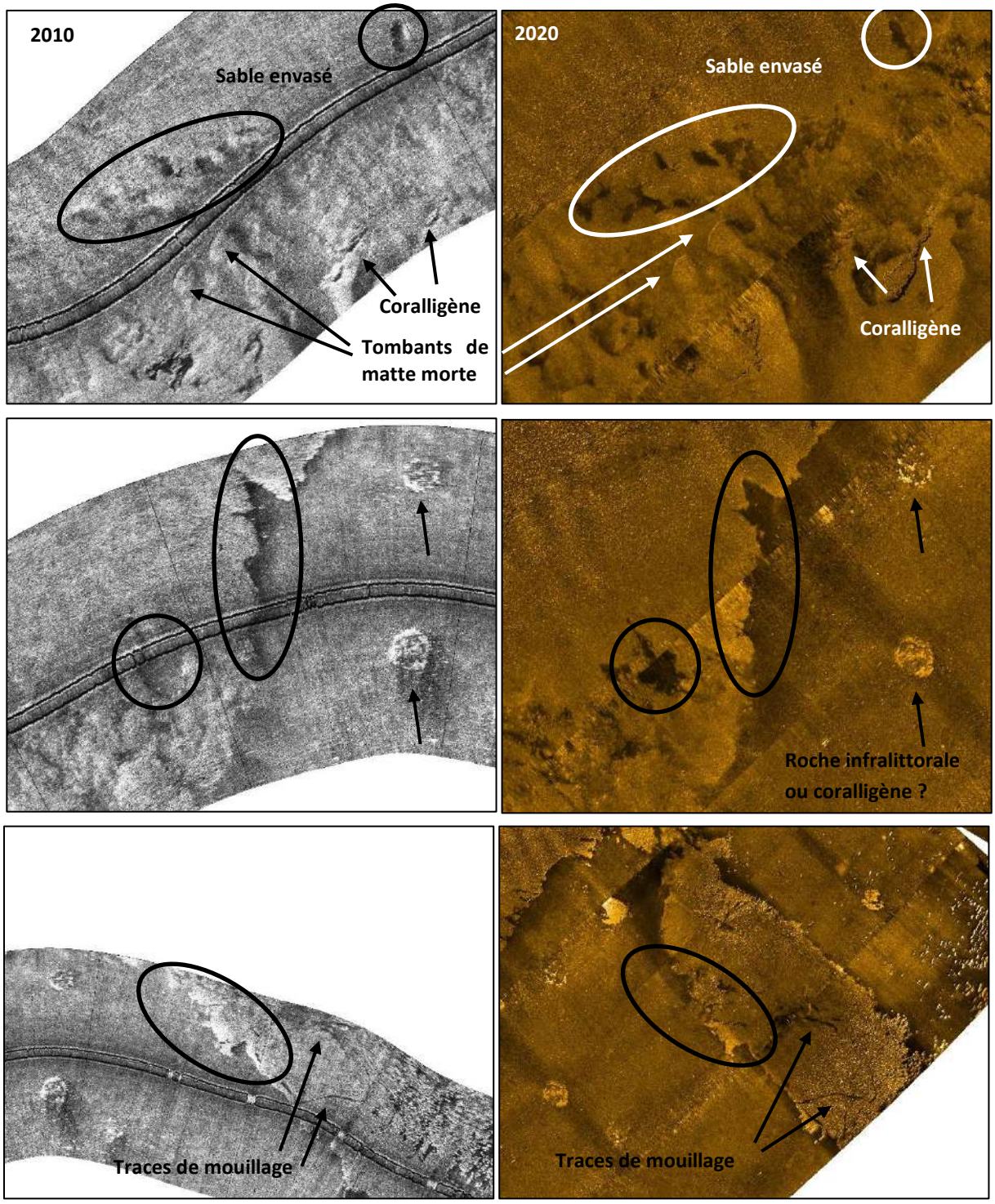
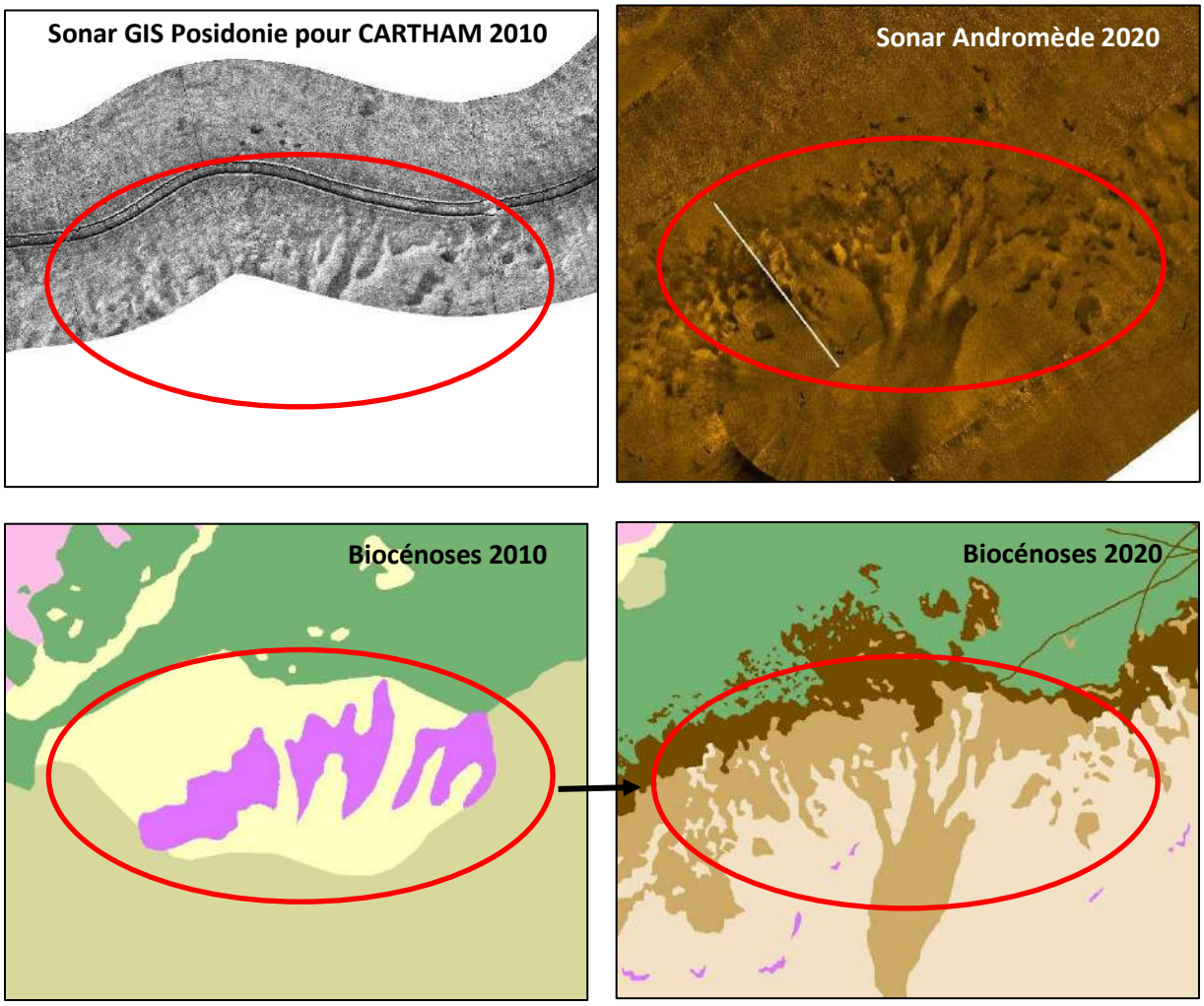


Figure 13 : Comparaison des mosaïques sonar de 2010 à gauche (source : Astruch et *al.*, 2012) et 2020 à droite (source : Andromède Océanologie) dans le secteur de la Baie de Cassis.

Une actualisation de la cartographie des biocénoses marines de la Baie de Cassis a été faite en 2019 dans le cadre d'une étude d'impact des stations d'épuration de la Métropole de Toulon (Andromède Océanologie, 2020) et **aucune différence notable n'a été observée en termes de régression de l'herbier entre 2019 et 2020.**

Les principales différences observées entre les cartographies de 2010 et de 2020 sont dues à l'interprétation des données sonar acquises en 2020 par Andromède Océanologie. Dans le cadre du programme CARTHAM (2010-2012) un grand massif de coralligène situé à l'Ouest de la baie avait été cartographié mais l'indice de confiance de la cartographie était très faible (absence de vérités-terrain, uniquement des données sonar). **A l'emplacement de ce massif de coralligène on observe sur les données sonar de 2020 une limite d'herbier régressive sur un plateau de matte morte, suivi d'une étendue de sable envasé** (voir images ci-dessous). Le coralligène cartographié dans la zone ne se limite qu'à de petits massifs (possiblement des tombants) alignés sur l'isobathe des -40 m**. La limite supérieure d'herbier** a également été recartographiée et **se situe visiblement beaucoup moins profond que dans la cartographie de 2010** (voir Figure 14 page suivante).



Les deux illustrations page suivante permettent de visualiser l'évolution de la cartographie des biocénoses marines entre **2010** et **2020**.

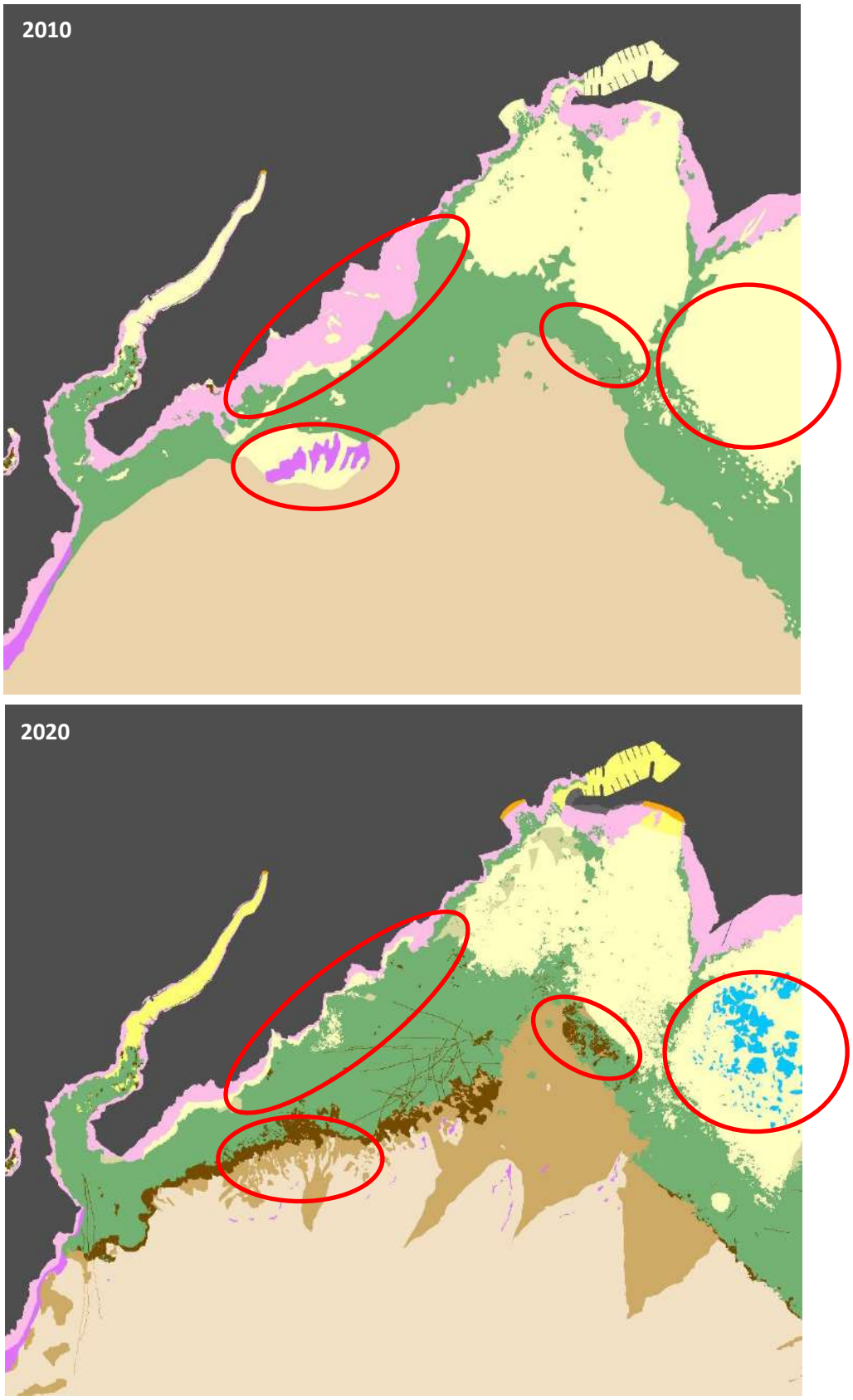
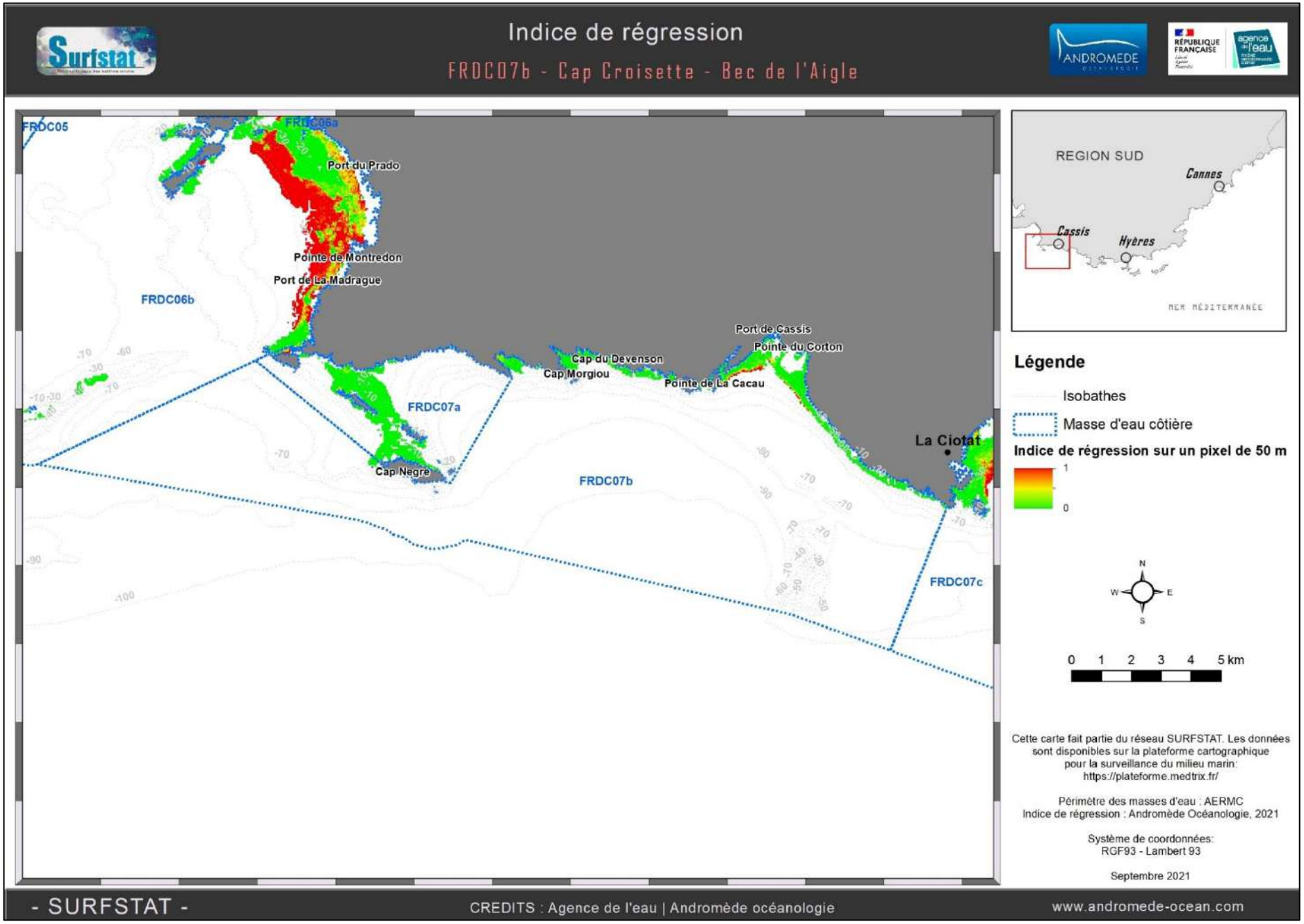
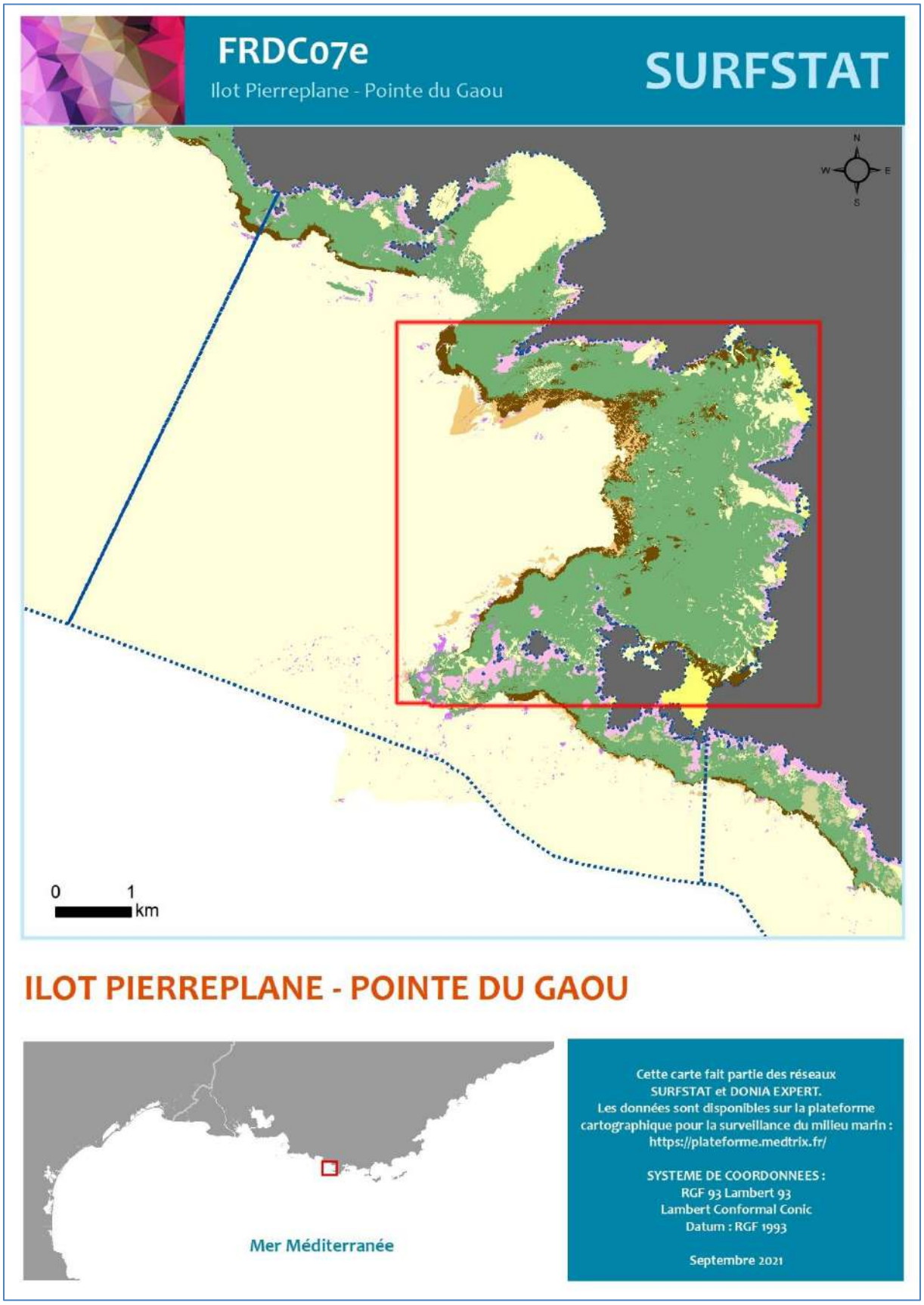


Figure 14 : Comparaison des cartographies des biocénoses marines dans la Baie de Cassis entre 2010 (programme CARTHAM) et 2020 (SURFSTAT 2020). La découverte de la présence d'un herbier de Cymodocées dans l'Est de la Baie de Cassis date de l'actualisation de 2019.

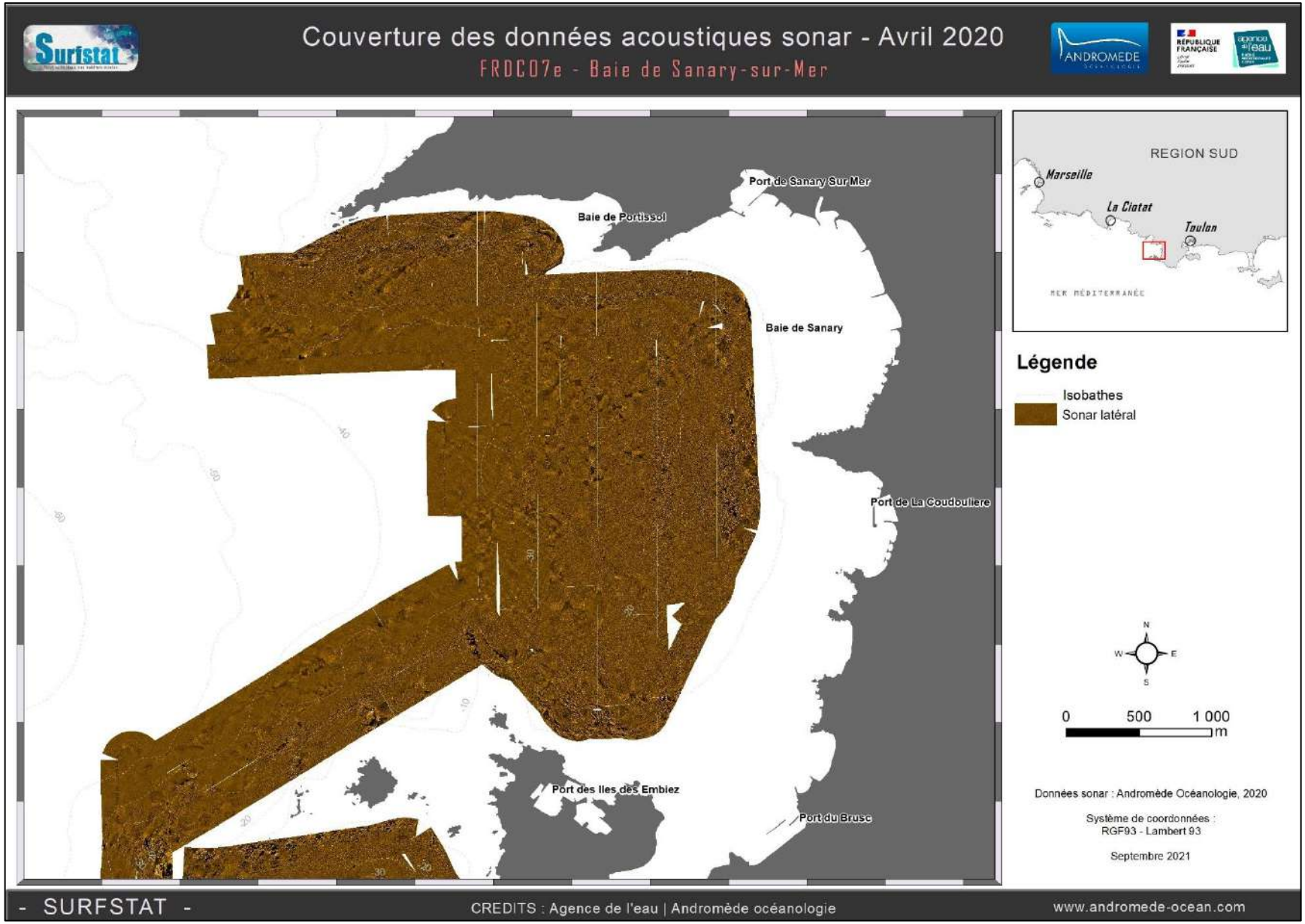

Indice de régression
FRDC07b - Cap Croisette - Bec de l'Aigle
FRDC05
FRDC06a
Port du Prado
Pointe de Montredon
Port de La Madrague
FRDC06b
Port de Cassis
Pointe du Corton
Cap du Devenson
Cap Morgiou
Pointe de La Cacau
FRDC07a
La Ciotat
Cap Negre
FRDC07b
FRDC07c
REGION SUD
Cannes
Cassis
Hyères
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Masse d'eau côtière
Indice de régression sur un pixel de 50 m
1
0
N
W
E
S
0 1 2 3 4 5 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/
Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de régression : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

III.2. Masse d'eau FRDC07e : Baie de Sanary-sur-Mer



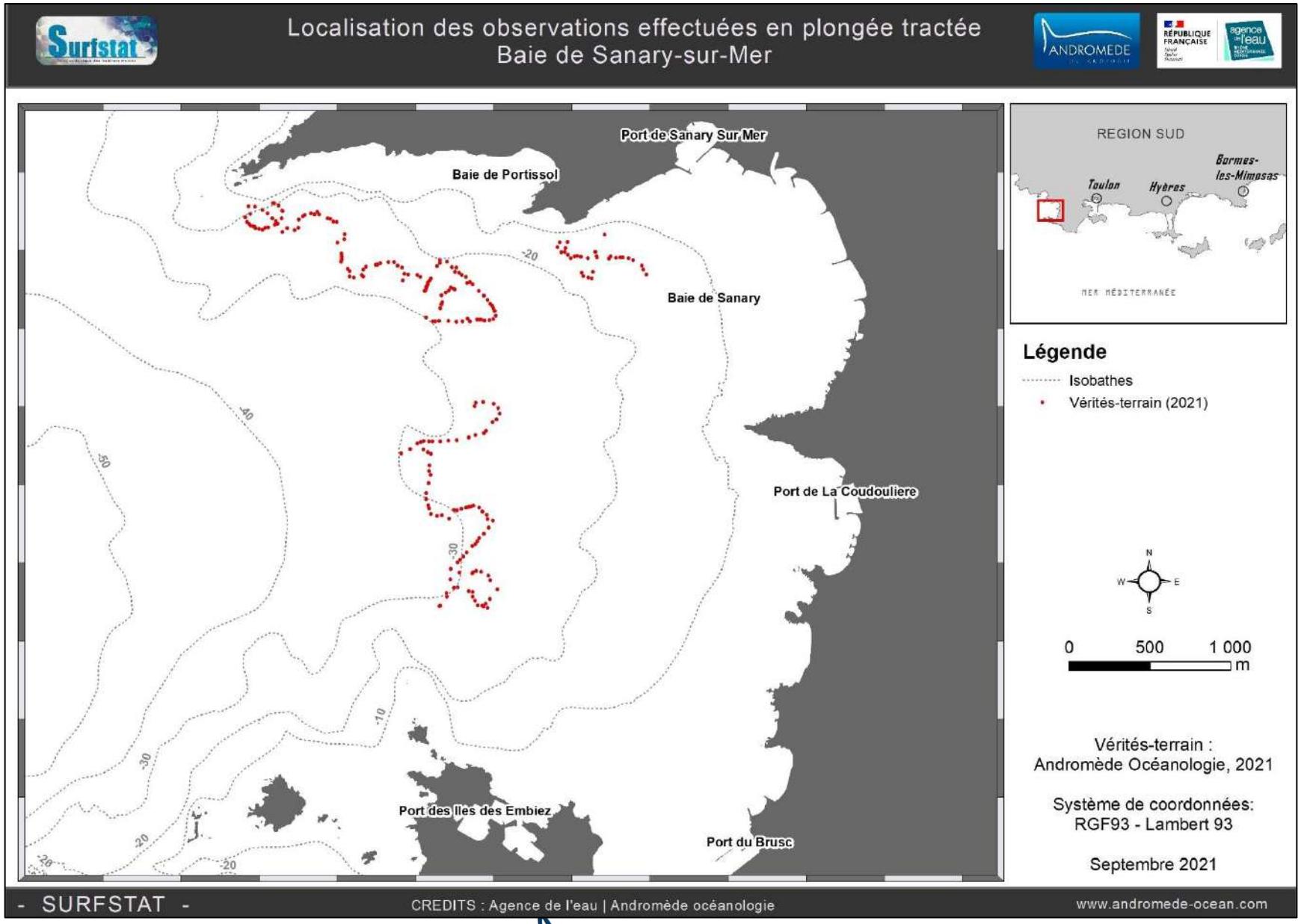
III.2.1. Sonar latéral

Au total, **990 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses de la baie de Sanary-sur-Mer.

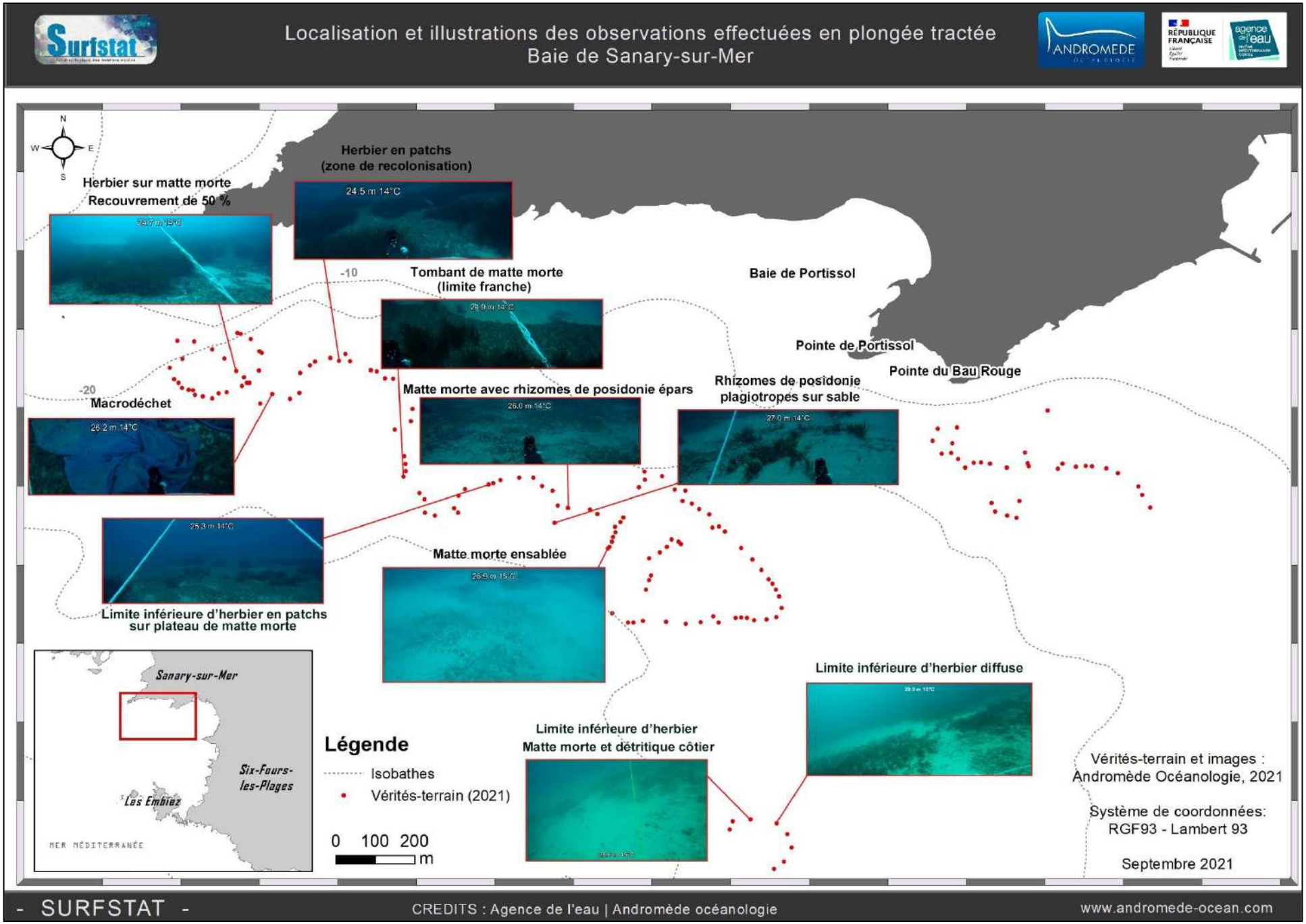


III.2.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée

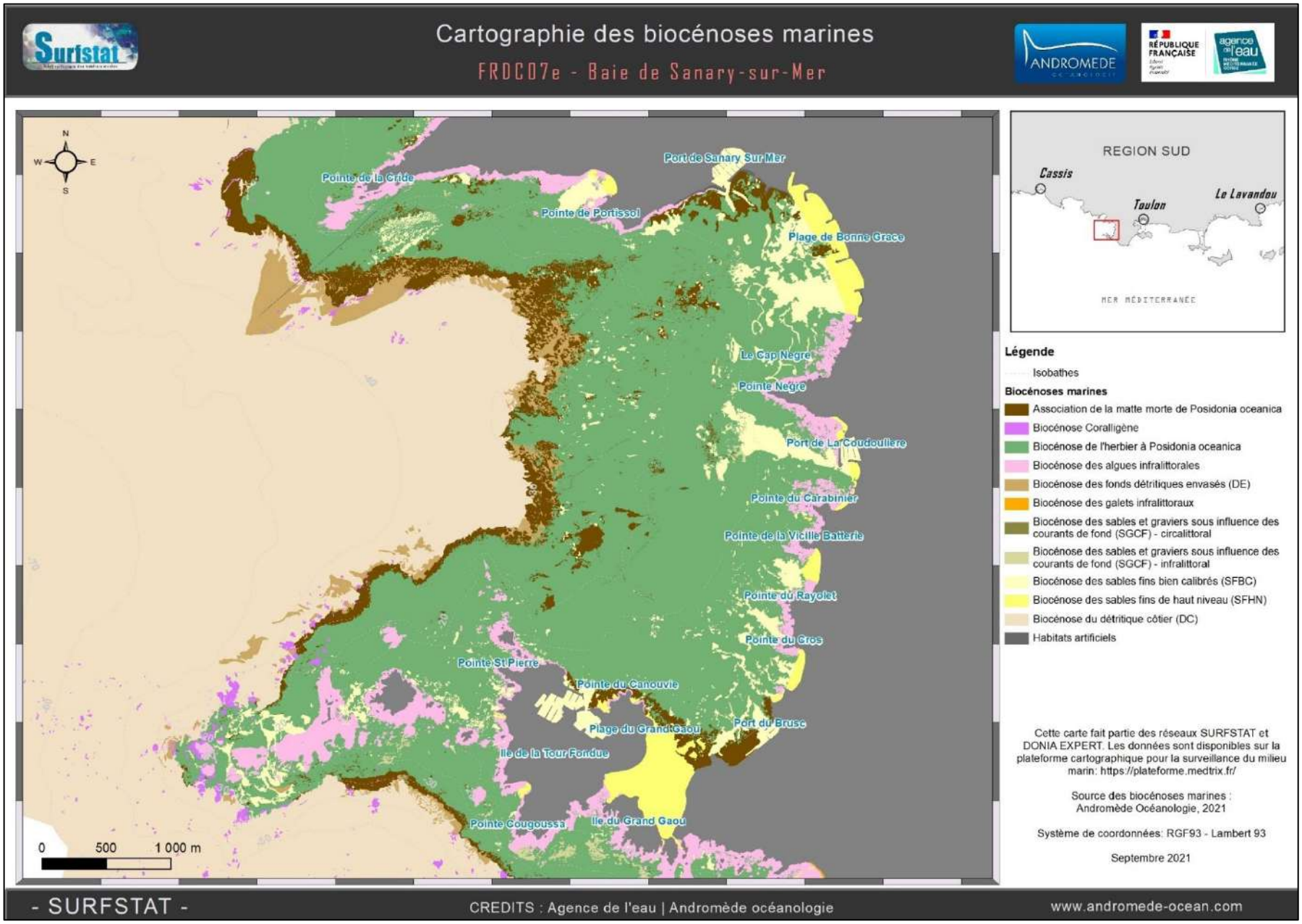
240 observations ont été faites en plongée tractée dans la Baie de Sanary sur Mer pour la validation de la cartographie des biocénoses, dont une partie a été filmée lors de la campagne de vérités terrain (voir carte page suivante).



ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Baie de Sanary-sur-Mer
Herbier sur matte morte
Recouvrement de 50 %
Herbier en patchs
(zone de recolonisation)
24.5 m 14°C
-10
Tombant de matte morte
(limite franche)
Baie de Portissol
Pointe de Portissol
Pointe du Bau Rouge
-20
Macrodéchet
26.2 m 14°C
Matte morte avec rhizomes de posidonie épars
26.0 m 14°C
Rhizomes de posidonie
plagiotropes sur sable
27.0 m 14°C
25.3 m 14°C
Limite inférieure d'herbier en patchs
sur plateau de matte morte
Matte morte ensablée
Limite inférieure d'herbier diffuse
Limite inférieure d'herbier
Matte morte et détritique côtier
Sanary-sur-Mer
Six-Fours-
les-Plages
Les Embiez
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Vérités-terrain (2021)
0 100 200
m
Vérités-terrain et images :
Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

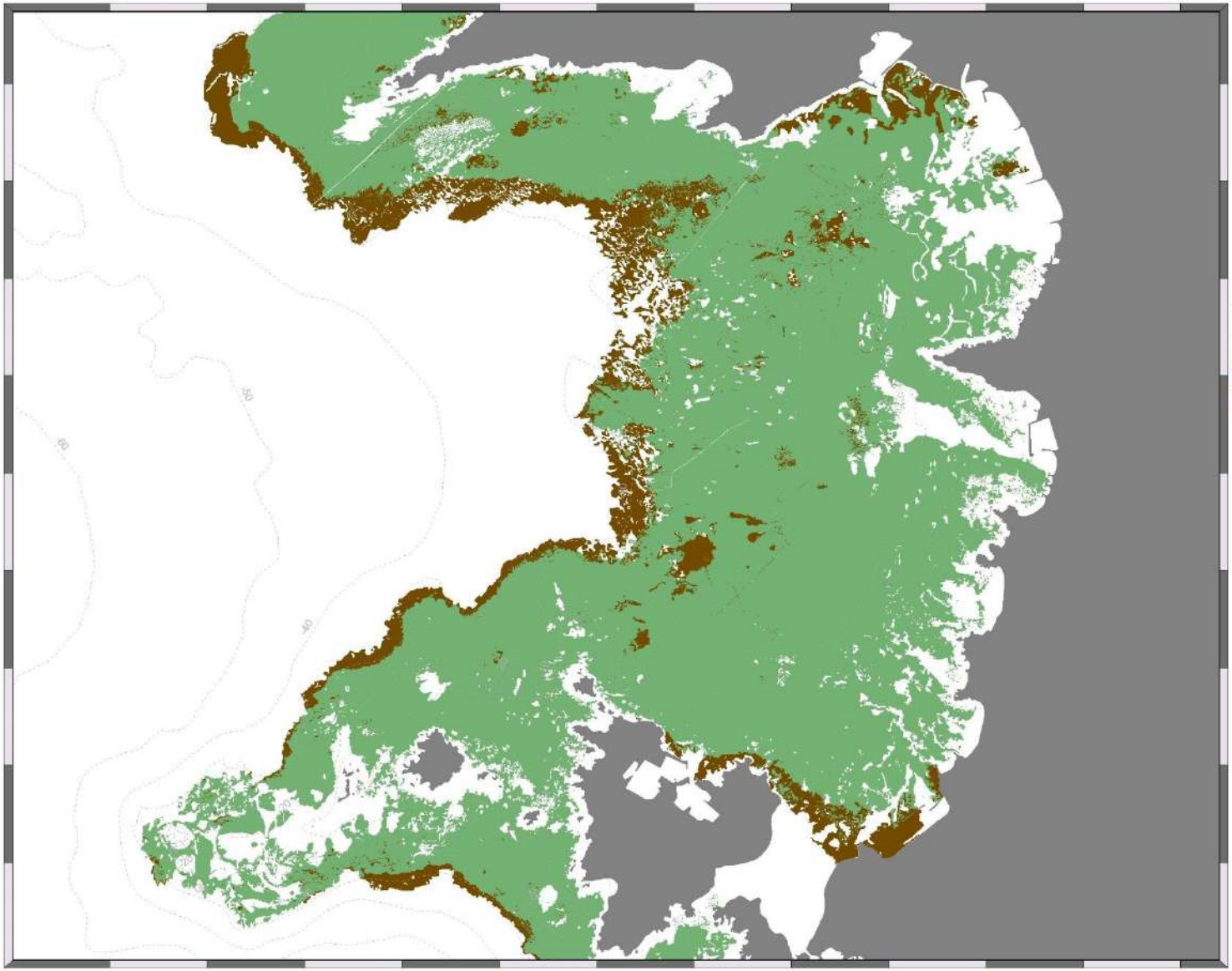
III.2.3. Cartographie des biocénoses marines : Sanary-sur-Mer

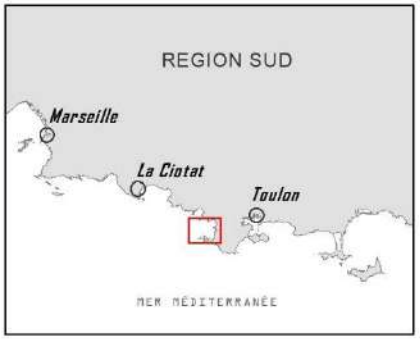


ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC07e - Baie de Sanary-sur-Mer





Légende

Isobathes

Biocénoses marines

Association de la matte morte de Posidonia oceanica

Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 250 500
m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

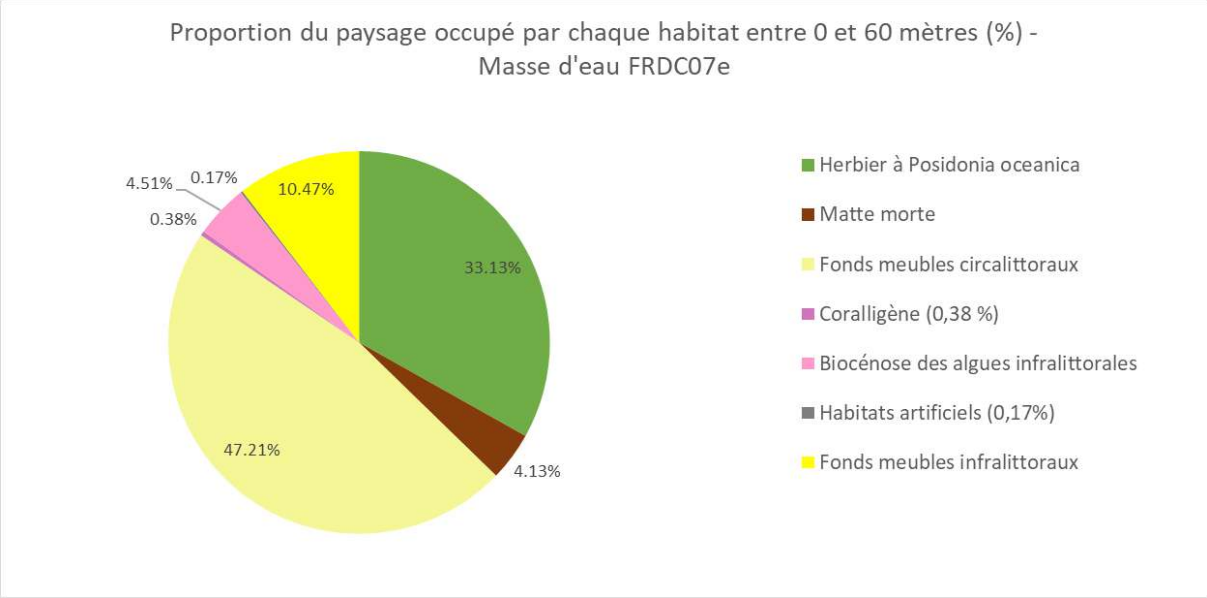
Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

III.2.4. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC07e « Ilot Pierreplane – Pointe du Gaou» comprend 7 biocénoses entre 0 et -60 mètres dont les deux principaux (>10 % de recouvrement du paysage) sont la biocénose de l'herbier à posidonie (33,13 %) et les fonds meubles circalittoraux (47,21 %). Presque la moitié du paysage est dominée par une tâche unique de fonds meubles circalittoraux.

Cette masse d'eau présente une **diversité paysagère très forte**. En effet, la valeur de l'indice de Simpson (0,76) est proche de la valeur maximale régionale. Il est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte page suivante.

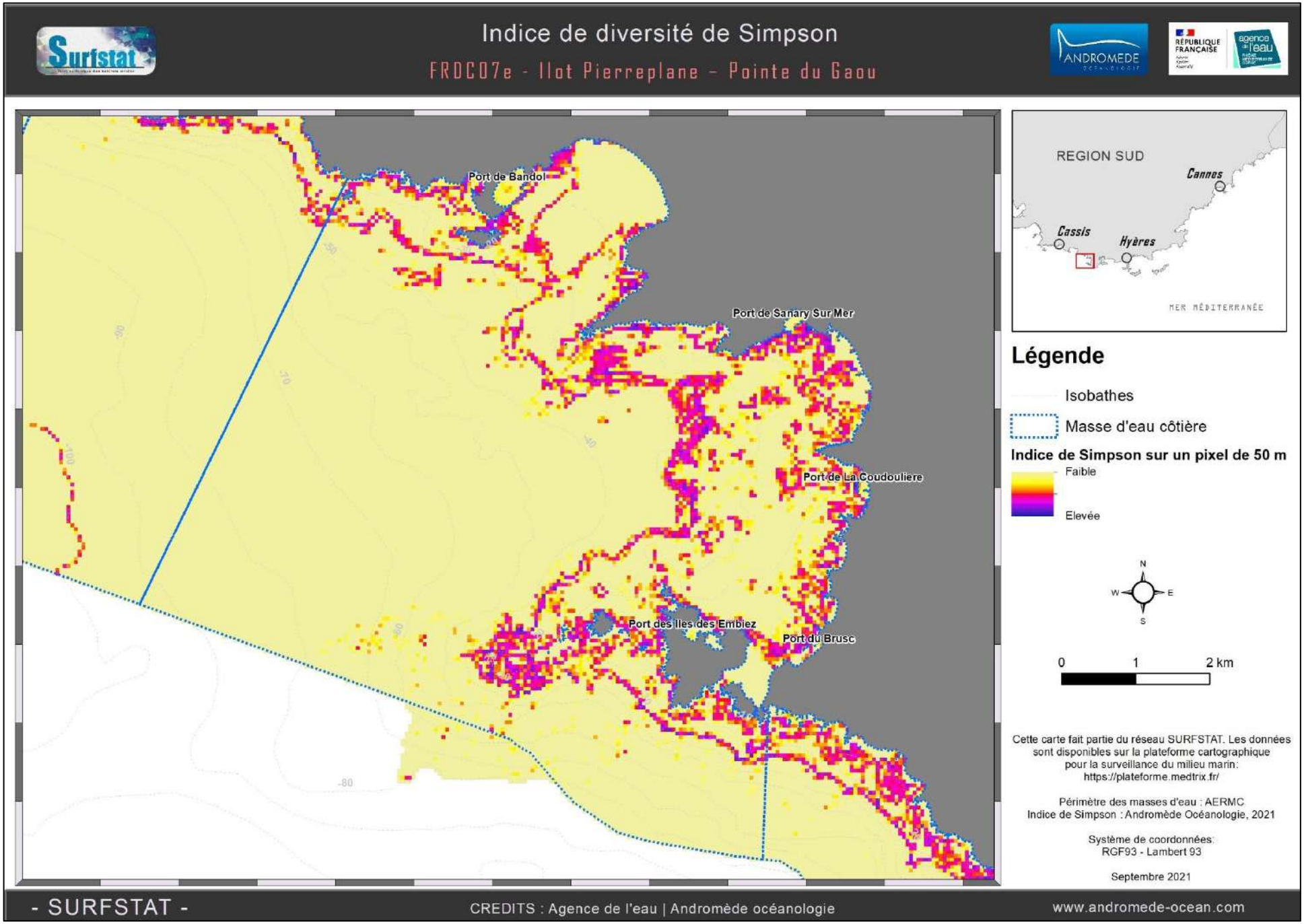
Le nombre d'habitats pour 100 ha (0,17) est cependant faible comparativement aux valeurs observées sur toute la région Sud.

Les indices d'agrégation entre les taches et de fragmentation entre 0 et 60 mètres mettent en évidence un paysage sous-marin particulièrement fragmenté. Cinq habitats sur sept ont un indice d'agrégation inférieur à 90 % et un indice de fragmentation supérieur à 0,95. La densité de taches est moyenne (147/100ha) en comparaison aux autres valeurs obtenues sur la région.

Seuls les fonds meubles circalittoraux sont considérés comme étant continus (AI>98 % ; DIVISION=0,78). Cependant, les habitats « herbier de Posidonie » et « fonds meubles infralittoraux » ont un indice d'agrégation très proche de 90 % (AI=91,1 et AI=85,1 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 FRDC07e

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07e	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	4163.35	86.85 – 4008.79 – 16846.79
Nombre d'habitats dans le paysage	7	7 – 8.4 – 10
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	147.31	12.8 – 162.81 – 548.39
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	46.88	25.7 – 51.37 – 78.51
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.17	0.05 – 0.92 – 8.06
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.76	0.44 – 0.66 – 0.84


Indice de diversité de Simpson
FRDC07e - Ilot Pierreplane - Pointe du Gaou
Port de Bandol
Port de Sanary Sur Mer
Port de La Coudouliere
Port des Iles des Embiez
Port du Brusc
REGION SUD
Cannes
Cassis
Hyères
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Masse d'eau côtière
Indice de Simpson sur un pixel de 50 m
Faible
Elevée
N
W
E
S
0
1
2 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/
Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de Simpson : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

L'herbier occupe 48,16 % du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce taux de recouvrement est assez élevé par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières en région Sud.

En comparaison aux masses d'eau côtières en région Sud, l'herbier à Posidonie de la masse d'eau FRDC07e est continu. 47,48 % du paysage est occupé par une tache unique d'herbier. Il se caractérise par un nombre de taches moyen (46,2 taches/100 ha) et de taille moyenne (1 ha). Les taches sont proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux taches les plus proches est de 14 mètres entre 0 et 40 mètres).

L'herbier de la masse d'eau FRDC07e a un indice de fragmentation assez faible (DIVISION=0,77) et un indice d'agrégation assez élevé en comparaison à la moyenne régionale (AI=87,9 %). Cela montre donc que l'herbier de posidonie est peu fragmenté dans cette zone (probabilité faible que deux pixels appartiennent à deux taches différentes) et que le taux de recouvrement est dense (connexion des pixels moyennement forte) pour la tranche bathymétrique 0-40 m.

L'indice de régression pour la masse d'eau FRDC07e (0,11) est en-dessous de la moyenne régionale, ce qui indique une régression de l'herbier légèrement plus basse par rapport aux autres masses d'eau. L'indice de régression est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte page 47.

Tableau 8 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07e.

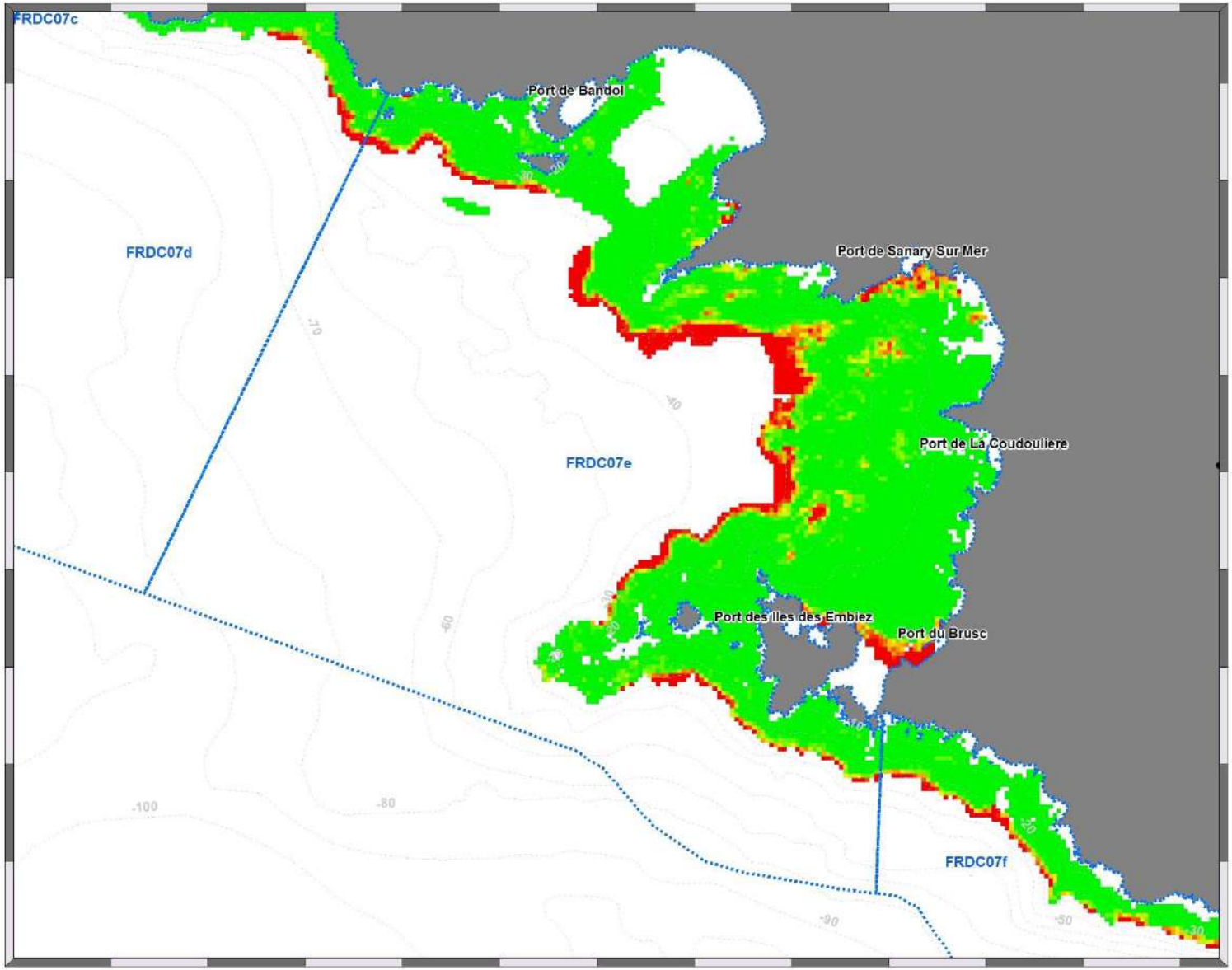
Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07e	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	48.16	1.79 – 77.82 ; 36.88
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	46.18	1.67 – 141.69 ; 42.35
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	47.48	0.61 – 77.49 ; 28.87
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	1.04	0.15 – 3.71 ; 1.19
Indice de complexité des formes	1.06	1.05 – 1.13 ; 1.07
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	13.97	7.49 – 94.76 ; 23.84
Indice de fragmentation de l'herbier	0.77	0.4 – 1 ; 0.87
Indice d'agrégation entre les taches (%)	91.12	76.73 – 97.25 ; 87.94
Indice de régression de l'herbier	0.11	0.01 – 0.59 ; 0.18

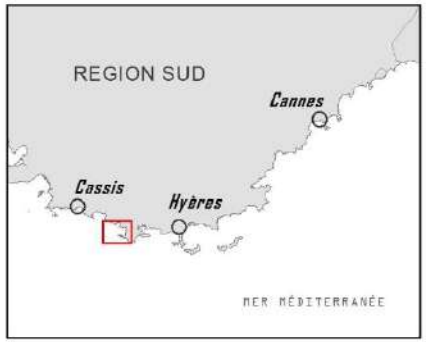
Dans la Baie de Sanary, deux grandes zones de régression de l'herbier liées à l'ancrage de navires ont été cartographiées (voir Figure 15 page 48). L'action des ancres y est particulièrement visible. Elles se situent en face du port au Nord de la baie et plus au Sud de la baie, en face des Embiez. Ces deux zones sont respectivement constituées de 4 ha et 7 ha de matte morte. Une carte d'évolution des limites d'herbier est visible page 52. En effet, deux études récentes ont été menées dans le secteur d'étude : en **2014**, dans le cadre du réseau SURFSTAT, Andromède Océanologie a actualisé la **limite inférieure de l'herbier** grâce à des levés au sonar latéral ; en **2016**, dans le cadre de l'étude d'impact du projet d'aménagement d'un coffre d'amarrage destiné à l'accueil des navires de croisière dans la baie de Sanary (OTEIS, 2018), SEMANTIC a réalisé des levés bathymétriques et sonar latéral au **Nord-Est de la baie**. Nous avons donc pu calculer les surfaces d'herbier perdues entre 2014 / 2020 et entre 2016 / 2020. Au total, **2,6 ha d'herbier vivant ont été perdus entre 2014 et 2020 et 2,8 ha entre 2016 et 2020.** La Figure 19 montre la corrélation entre la présence des navires (données AIS de 2014 à 2020) et les surfaces d'herbier perdus.

Plusieurs zones de progression d'herbier en patchs ont été également cartographiées à l'Ouest du port de Sanary (voir Figure 18).

Indice de régression

FRDC07e - Ilot Pierreplane – Pointe du Gaou





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de régression sur un pixel de 50 m

1

0

N
W
E
S

0 1 2 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de régression : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

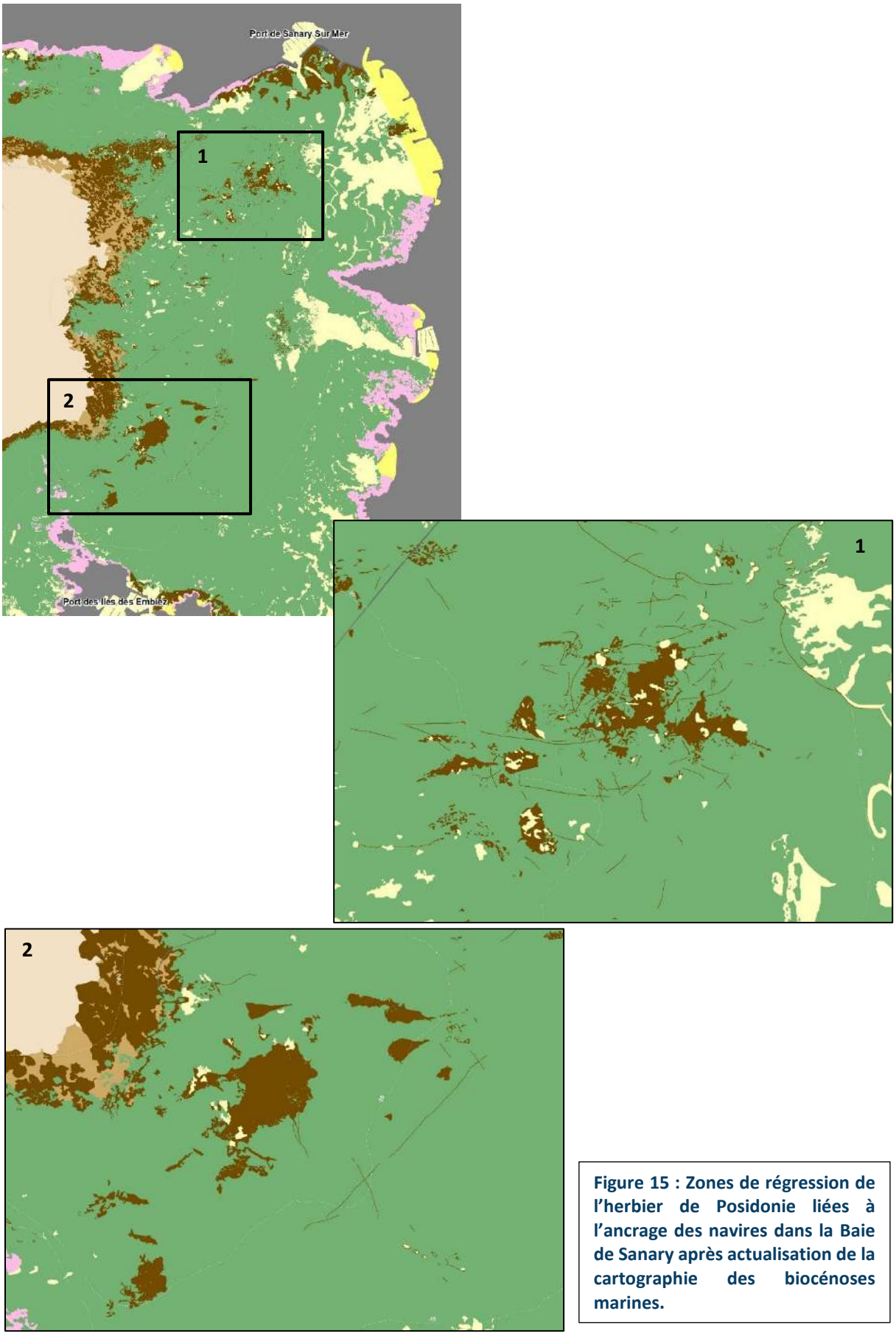


Figure 15 : Zones de régression de l'herbier de Posidonie liées à l'ancrage des navires dans la Baie de Sanary après actualisation de la cartographie des biocénoses marines.

Les cartes suivantes comparent les données sonar de 2014 et de 2020 acquises en limite inférieure de l'herbier. Des zooms présentent des zones de régression de l'herbier.

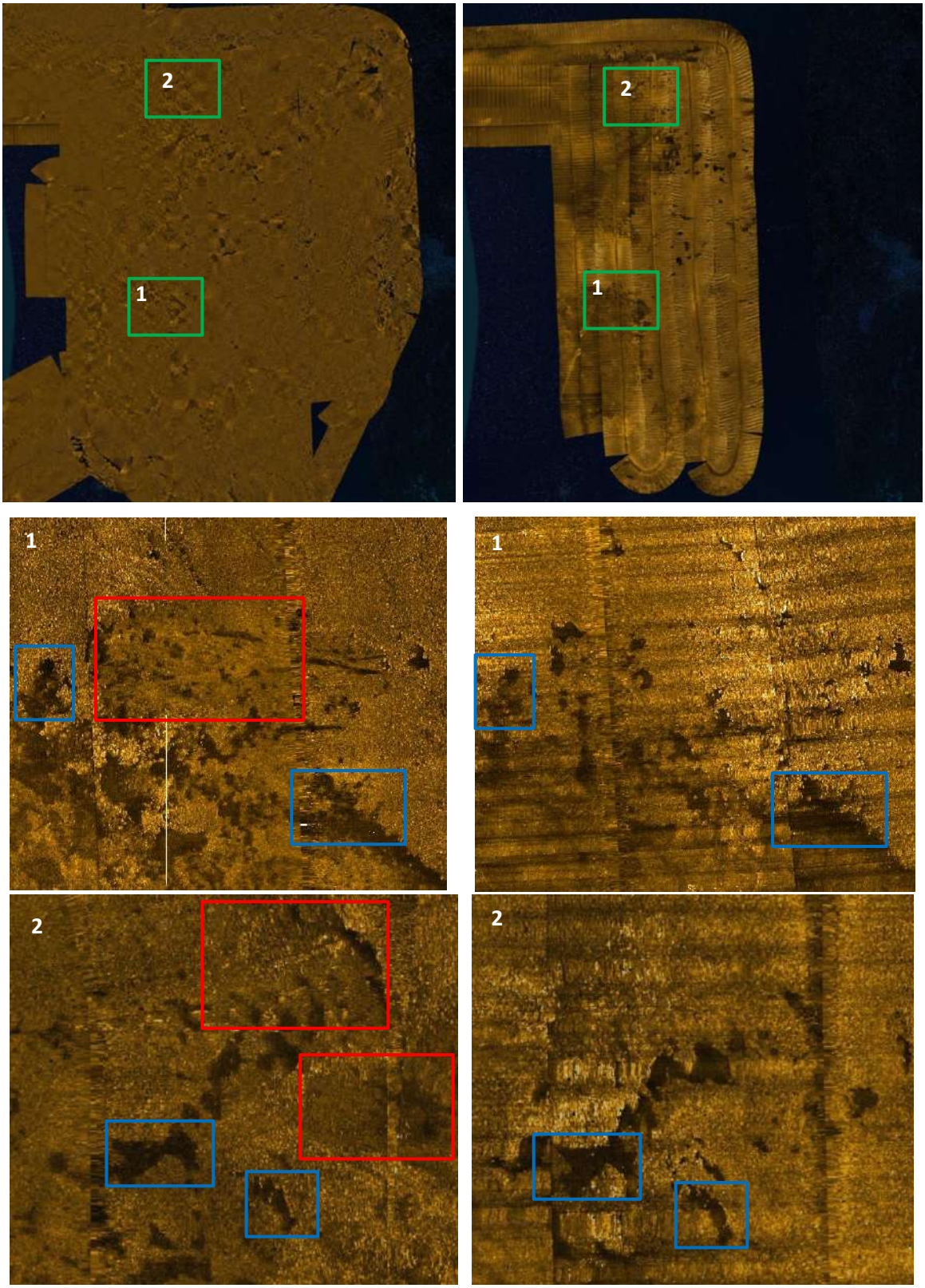


Figure 16 : Comparaison des données acquises au sonar en 2020 par Andromède Océanologie (à gauche) et en 2014 par Andromède Océanologie (à droite). Les rectangles verts indiquent deux zooms qui mettent en évidence une régression de l'herbier (rectangles rouges) en comparaison à des zones stables de matte morte ou de sable (rectangles bleus).

Les cartes suivantes comparent les données sonar de 2016 et de 2020 acquises au Nord-Est de la baie. Des zooms présentent des zones de régression de l'herbier de posidonie.

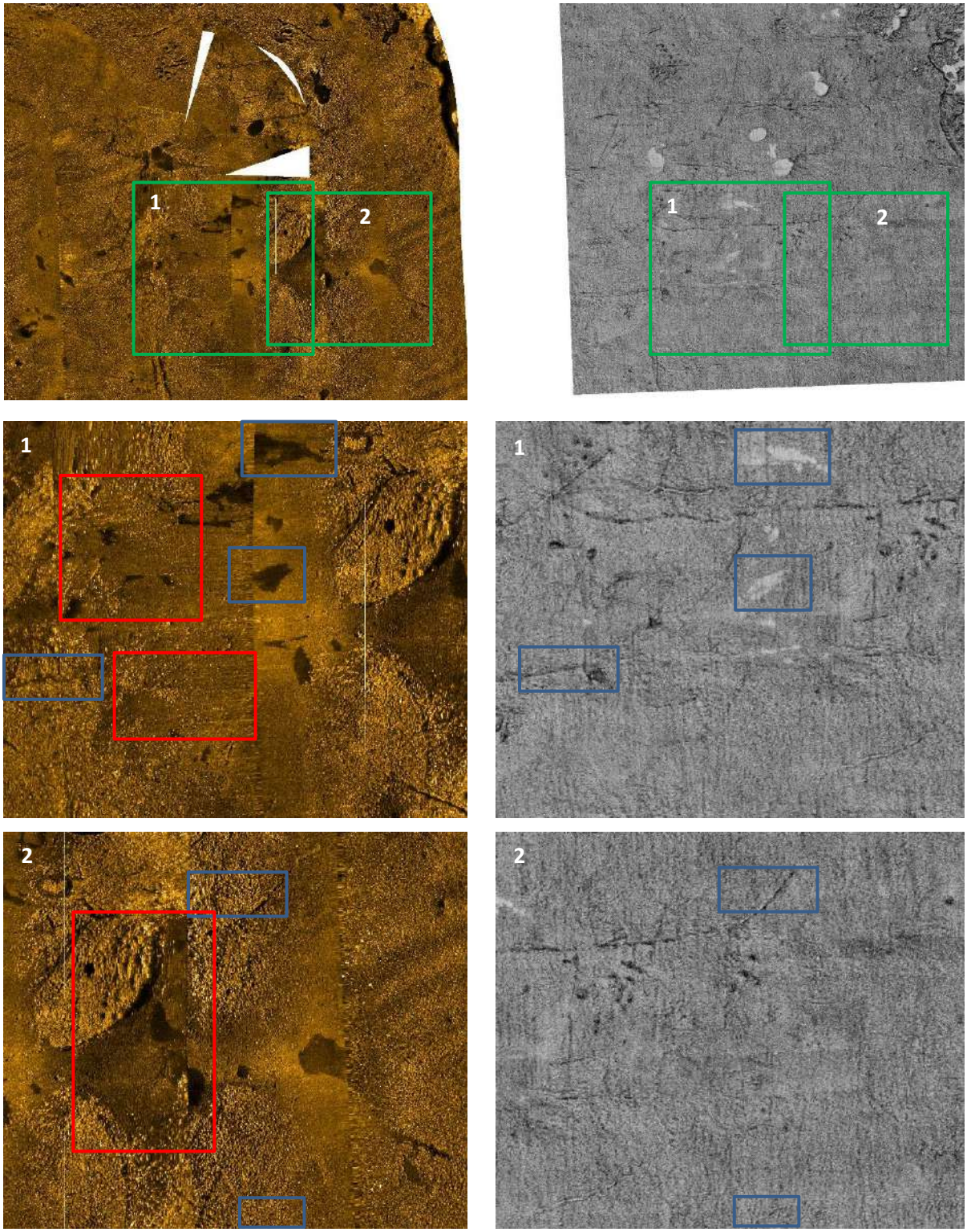


Figure 17 : Comparaison des données acquises au sonar en 2020 par Andromède Océanologie (à gauche) et en 2016 par SEMANTIC (à droite). Les rectangles verts indiquent deux zooms qui mettent en évidence une régression de l'herbier (rectangles rouges) en comparaison à des zones stables de matte morte / sable / traces de mouillage (rectangles bleus).

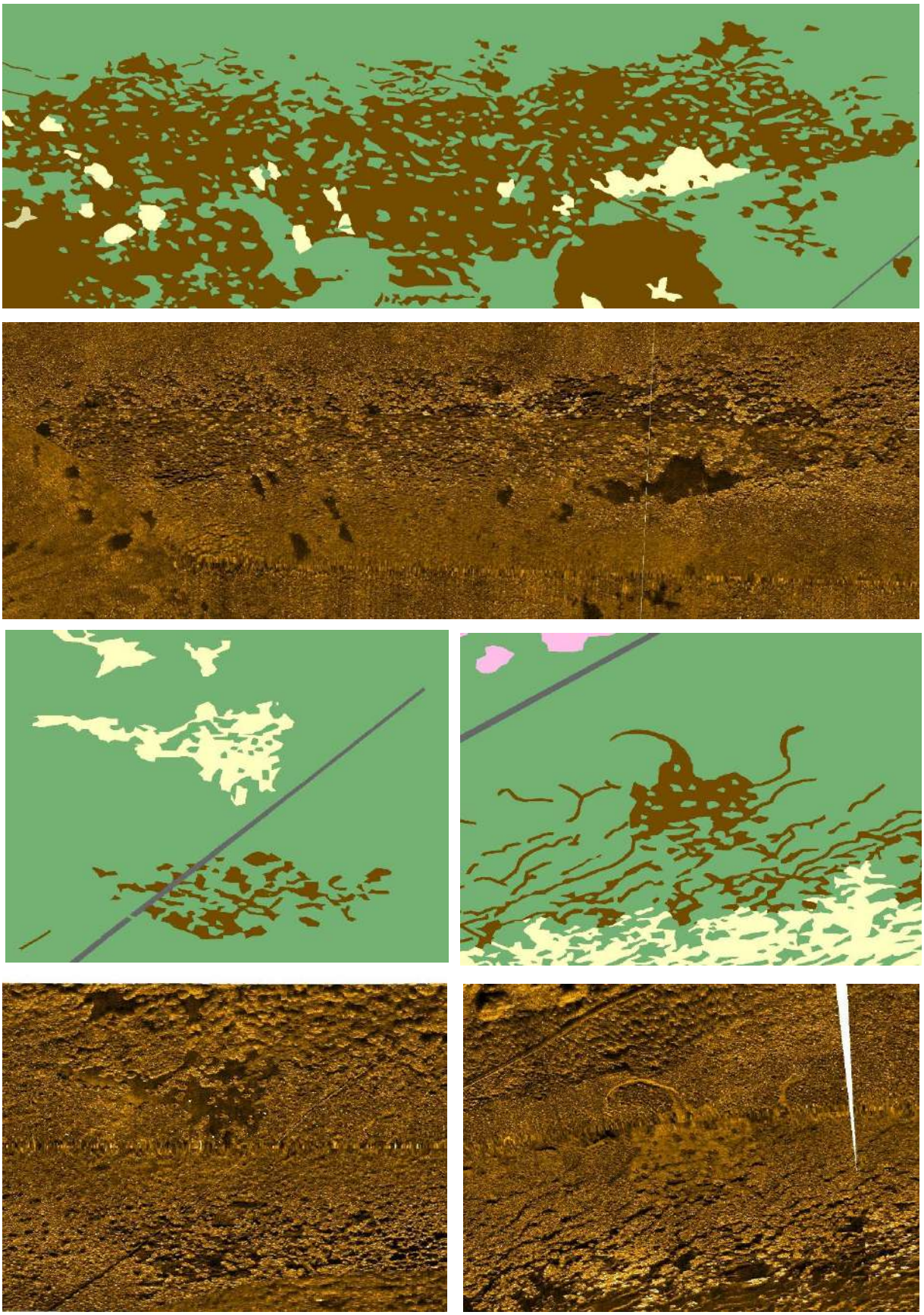
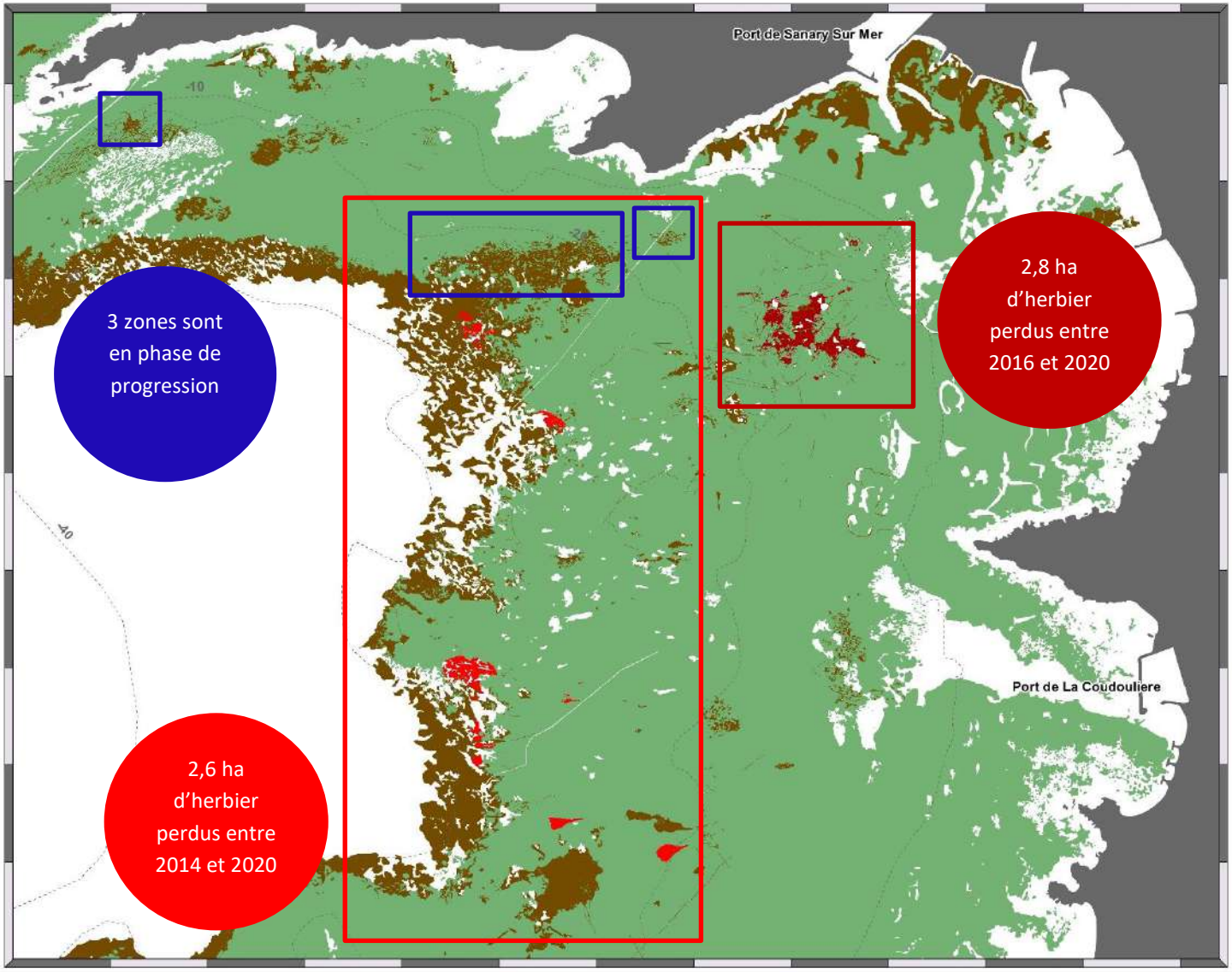
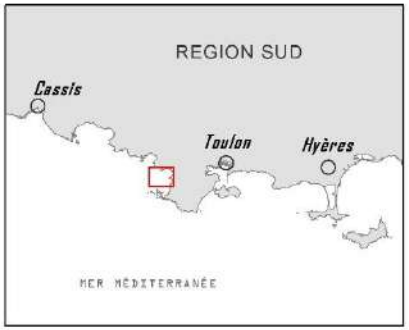


Figure 18 : Zones de progression observées dans la Baie de Sanary sur mer au sonar latéral et les cartographies obtenues (vert : herbier de posidonie ; marron : matte morte ; jaune : sable ; gris : émissaire en mer).

Evolution de l'herbier de posidonie et de la matte morte associée

FRDC07e - Baie de Sanary-sur-Mer





Légende

Isobathes

Evolution de l'herbier de posidonie

- Herbier de posidonie en régression entre 2014 et 2020
- Herbier de posidonie en régression entre 2016 et 2020
- Association de la matte morte de Posidonia oceanica stable
- Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica stable

N W E S

0 250 500 m

Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et SUIVI DU MOUILLAGE.
Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin: https://plateforme.medtrix.fr/

Biocénoses marines : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

ANDROMÈDE OCÉANOLOGIE

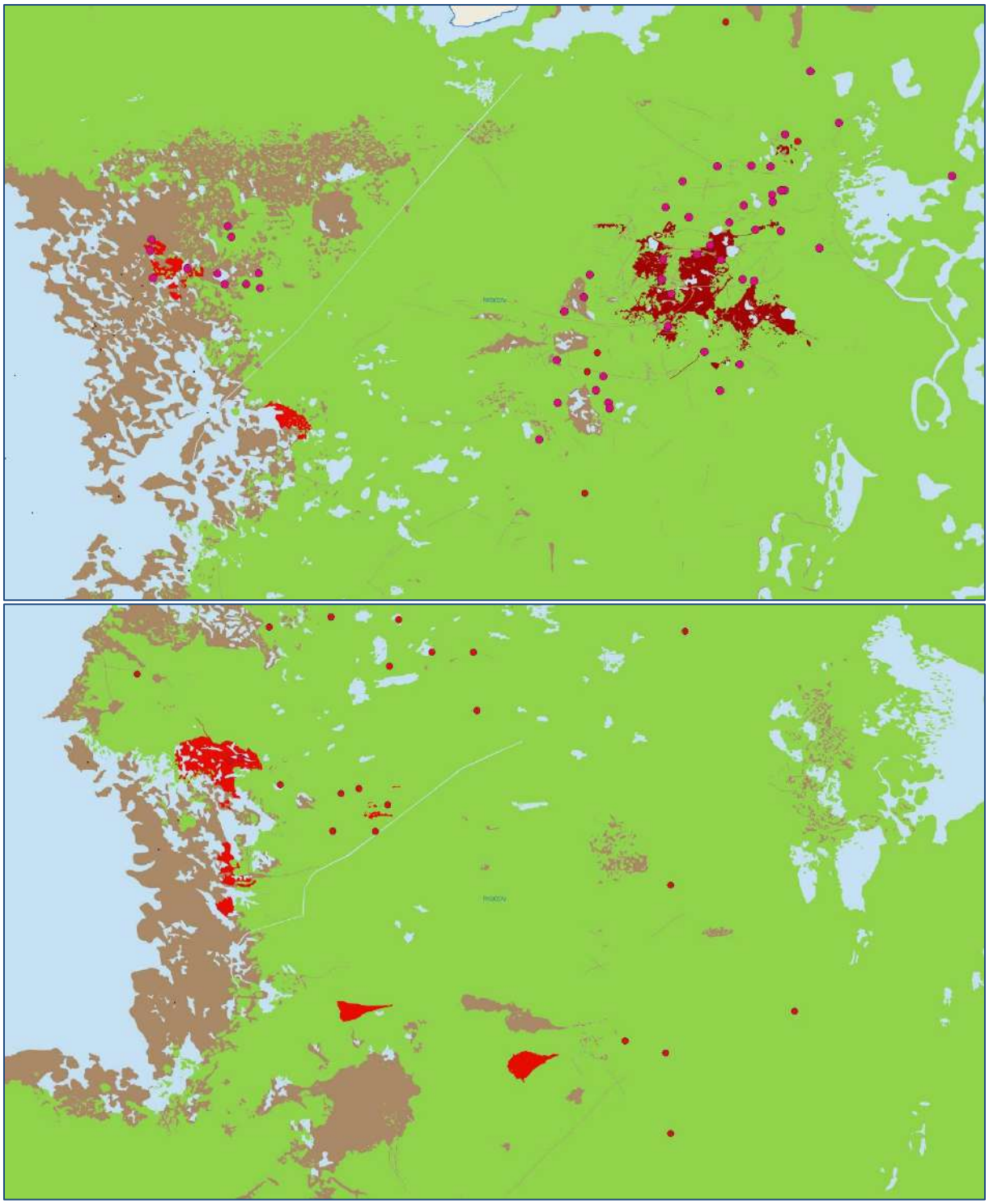
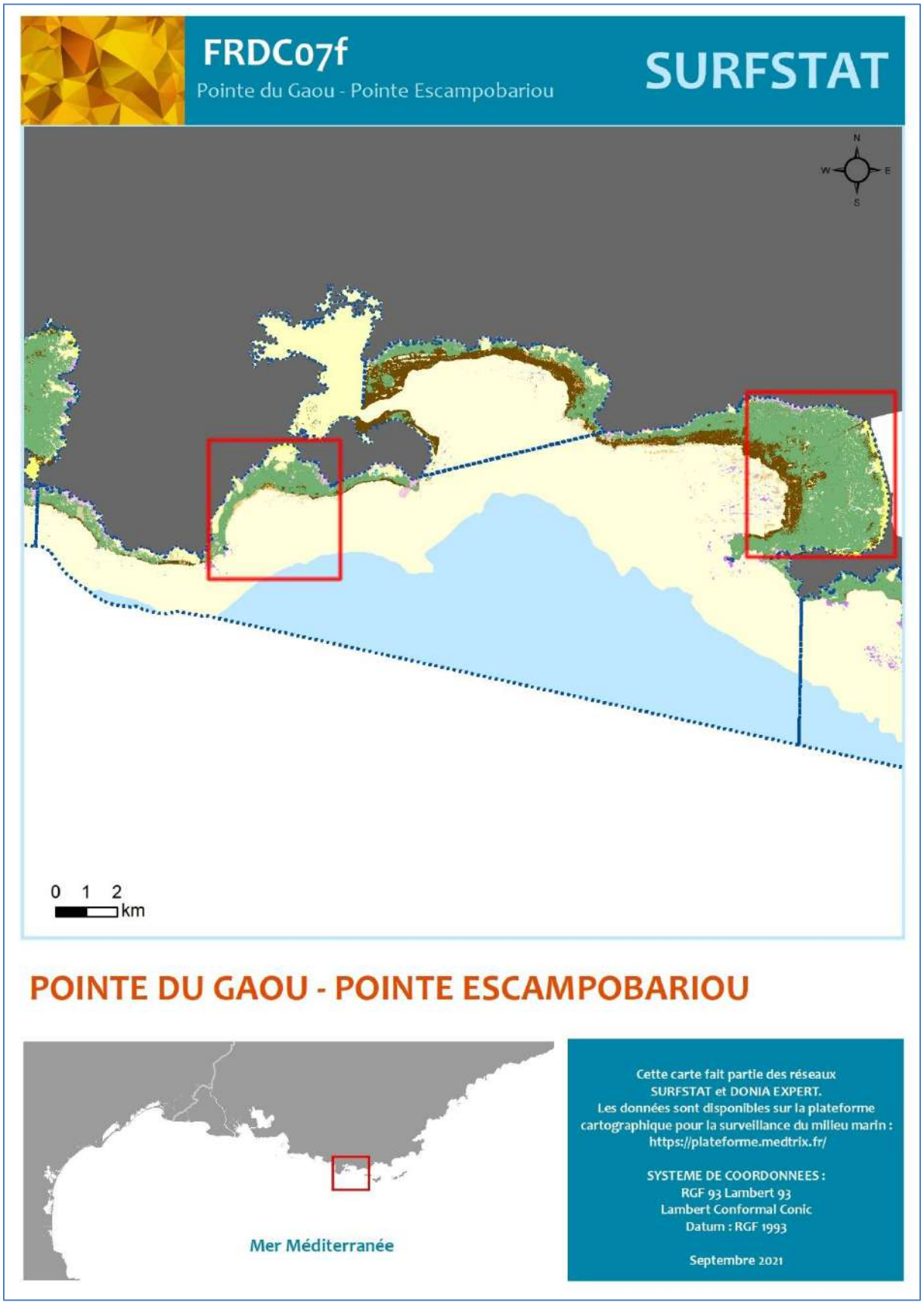


Figure 19 : Superposition entre la cartographie de l'herbier et de la matte morte et les données AIS disponibles de 2014 à 2020 dans la Baie de Sanary. Les zones rouges correspondent aux surfaces d'herbier perdues entre 2014 et 2020 (2,6 ha, en rouge clair) et entre 2016 et 2020 (2,8 ha en rouge foncé). Les points roses représentent les positions AIS de navires dépassant les 80 mètres de longueur (image en haut) et les points rouges les navires compris entre 40 et 80 m de longueur.

III.3. Masse d'eau FRDC07f : Fabregas, les Sablettes et Rade de Giens



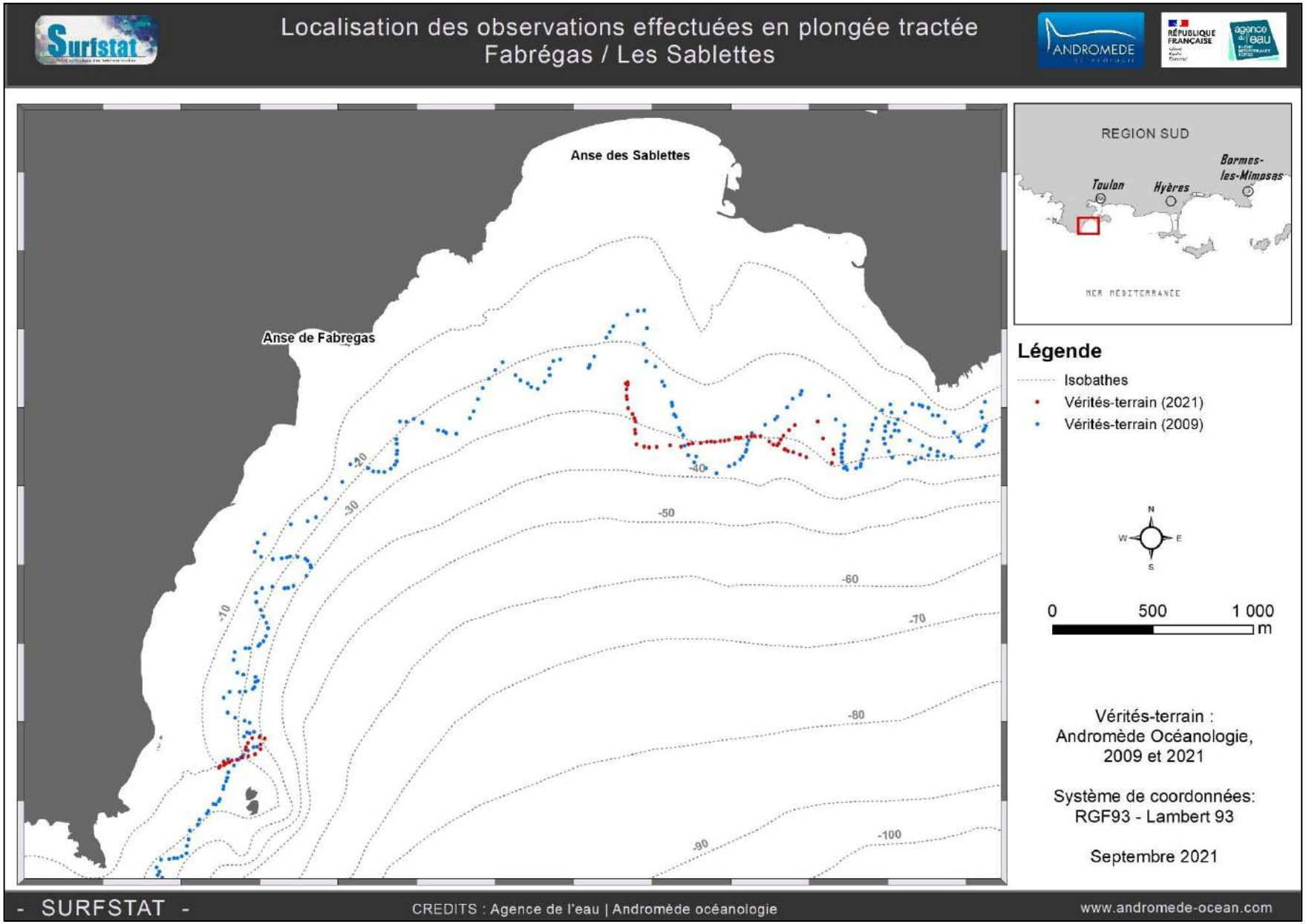
III.3.1. Fabrégas et les Sablettes

Sonar latéral

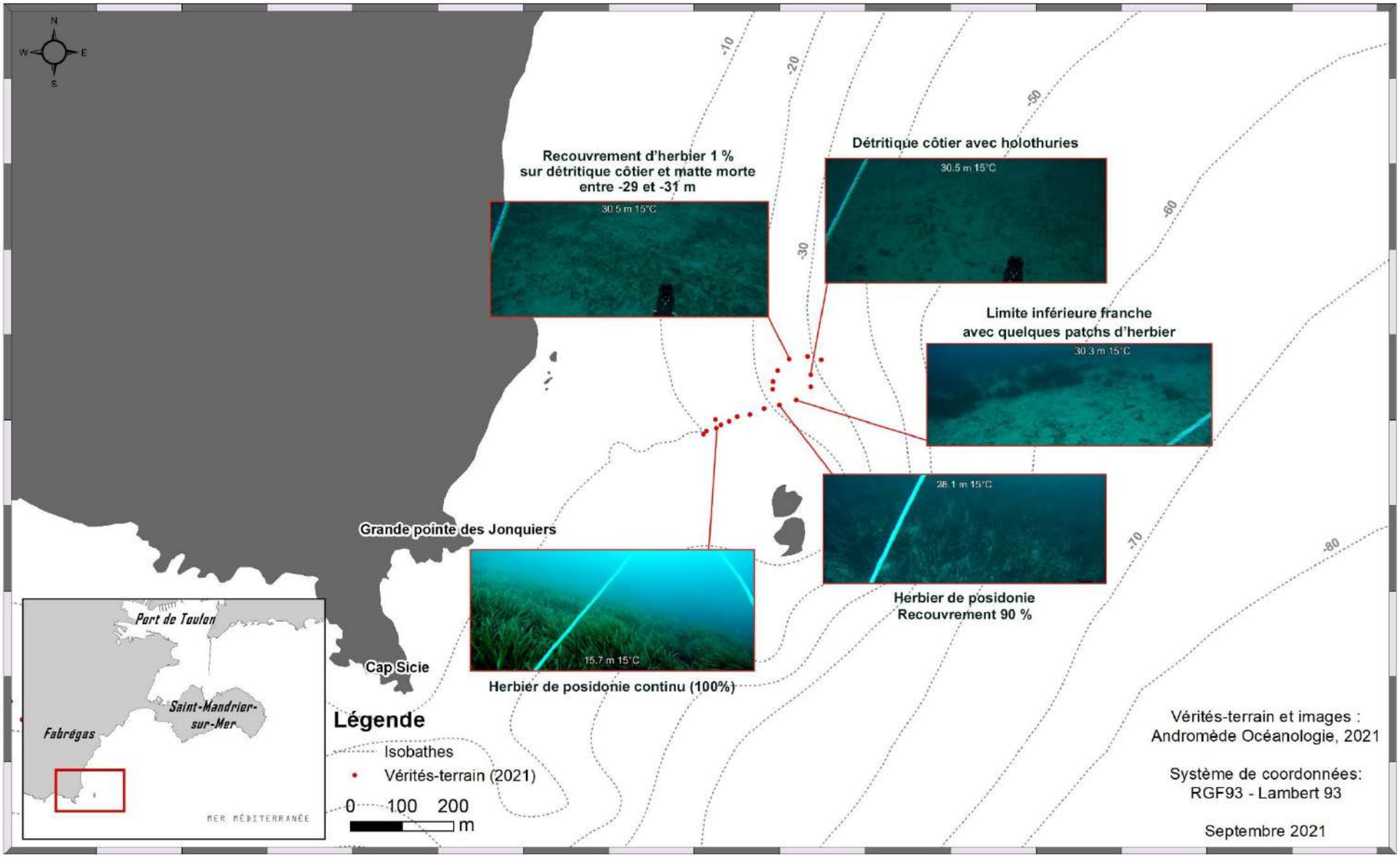
Au total, **515 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses dans le secteur de l'Anse des Sablettes.

Vérités-terrain

Près de **70 observations** ont été faites en plongée tractée en 2021 au large de l'Anse des Sablettes et de Fabrégas pour la validation de la cartographie des biocénoses (points rouges dans la carte ci-dessous) qui complètent des vérités terrain réalisées en 2009 (points bleus dans la carte ci-dessous).

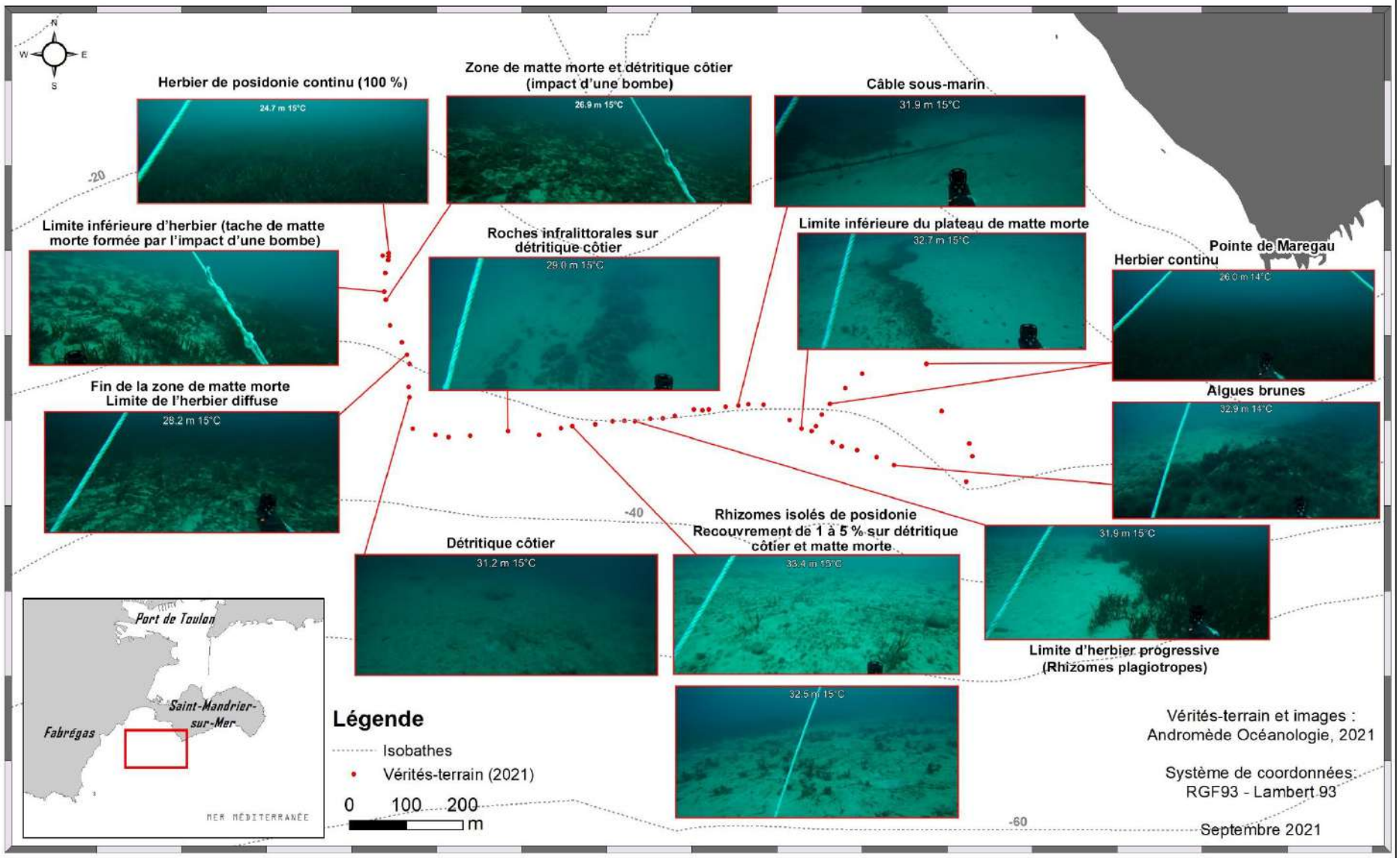


Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Les Deux Frères



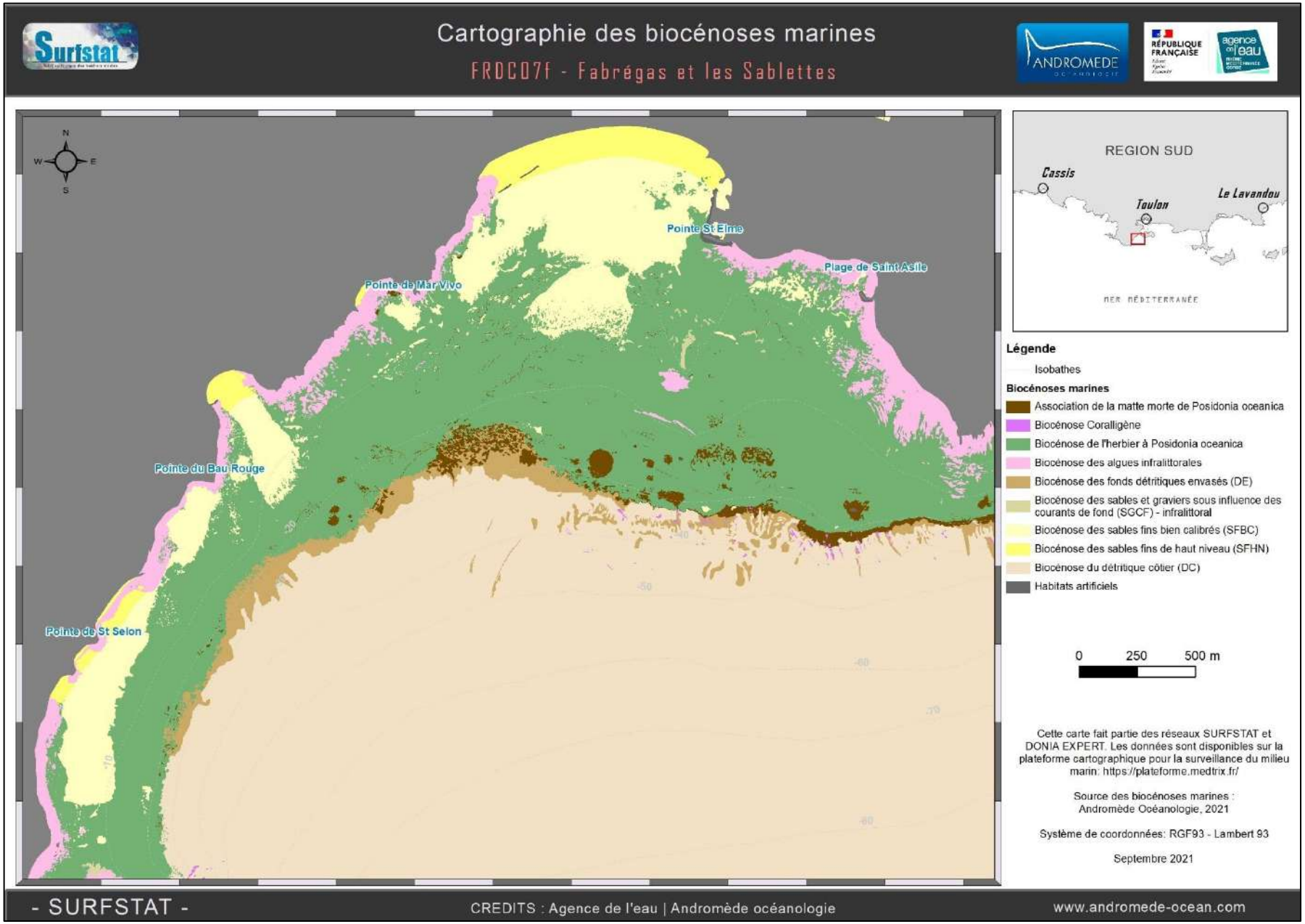
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Les Sablettes



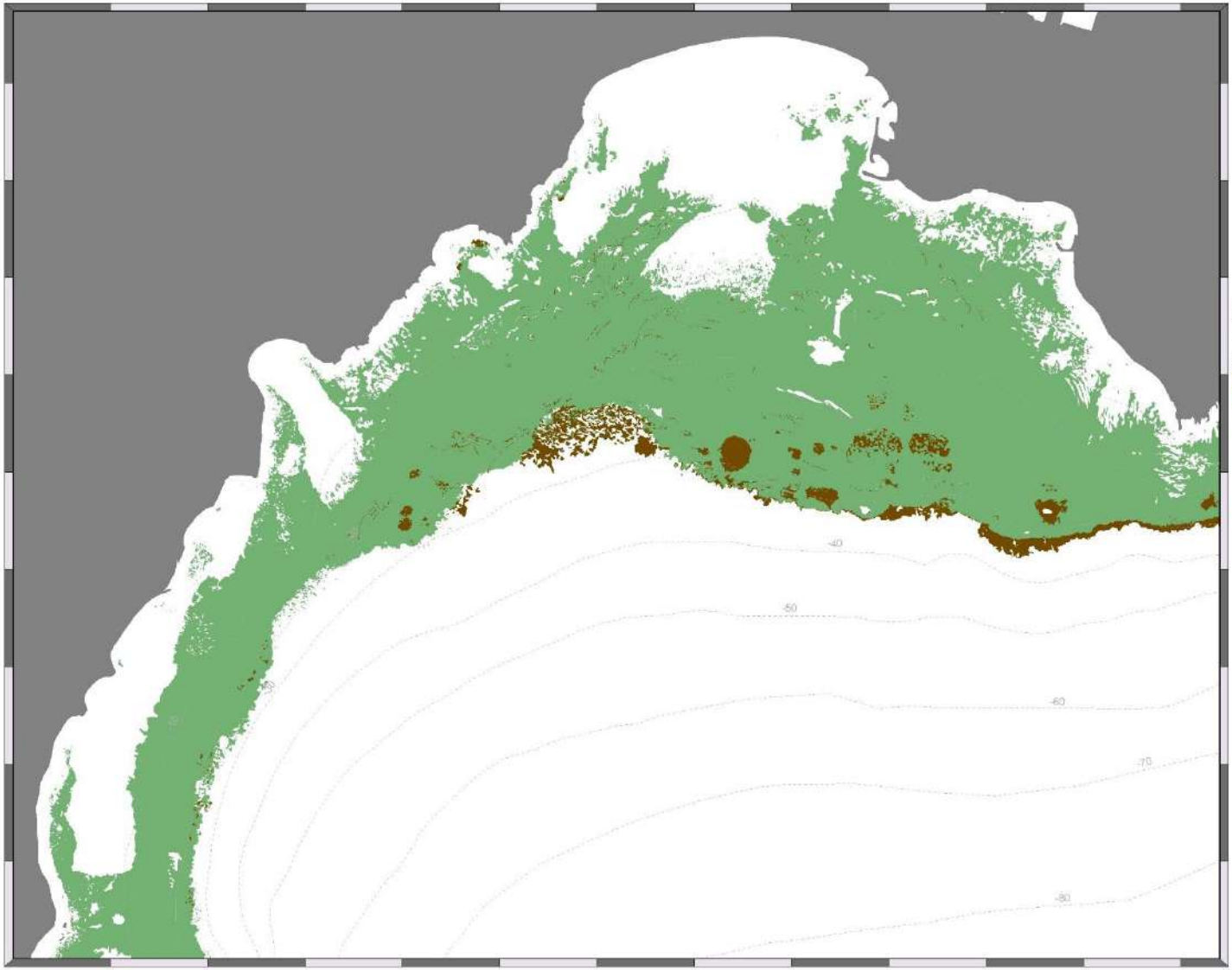
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

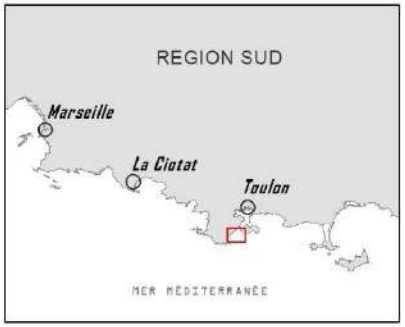
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Cartographie des biocénoses marines
FRDC07f - Fabrégas et les Sablettes
Pointe St Elme
Plage de Saint Asile
Pointe de Mar Vivo
Pointe du Bau Rouge
Pointe de St Selon
REGION SUD
Cassis
Toulon
Le Lavandou
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Biocénoses marines
Association de la matte morte de Posidonia oceanica
Biocénose Coralligène
Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
Biocénose des algues infralittorales
Biocénose des fonds détritiques envasés (DE)
Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (SGCF) - infralittoral
Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)
Biocénose des sables fins de haut niveau (SFHN)
Biocénose du détritique côtier (DC)
Habitats artificiels
0 250 500 m
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et DONIA EXPERT. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin: https://plateforme.medtrix.fr/
Source des biocénoses marines : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC07f - Fabrégas et les Sablettes





Légende

Isobathes

Biocénoses marines

Association de la matte morte de Posidonia oceanica

Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 250 500 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

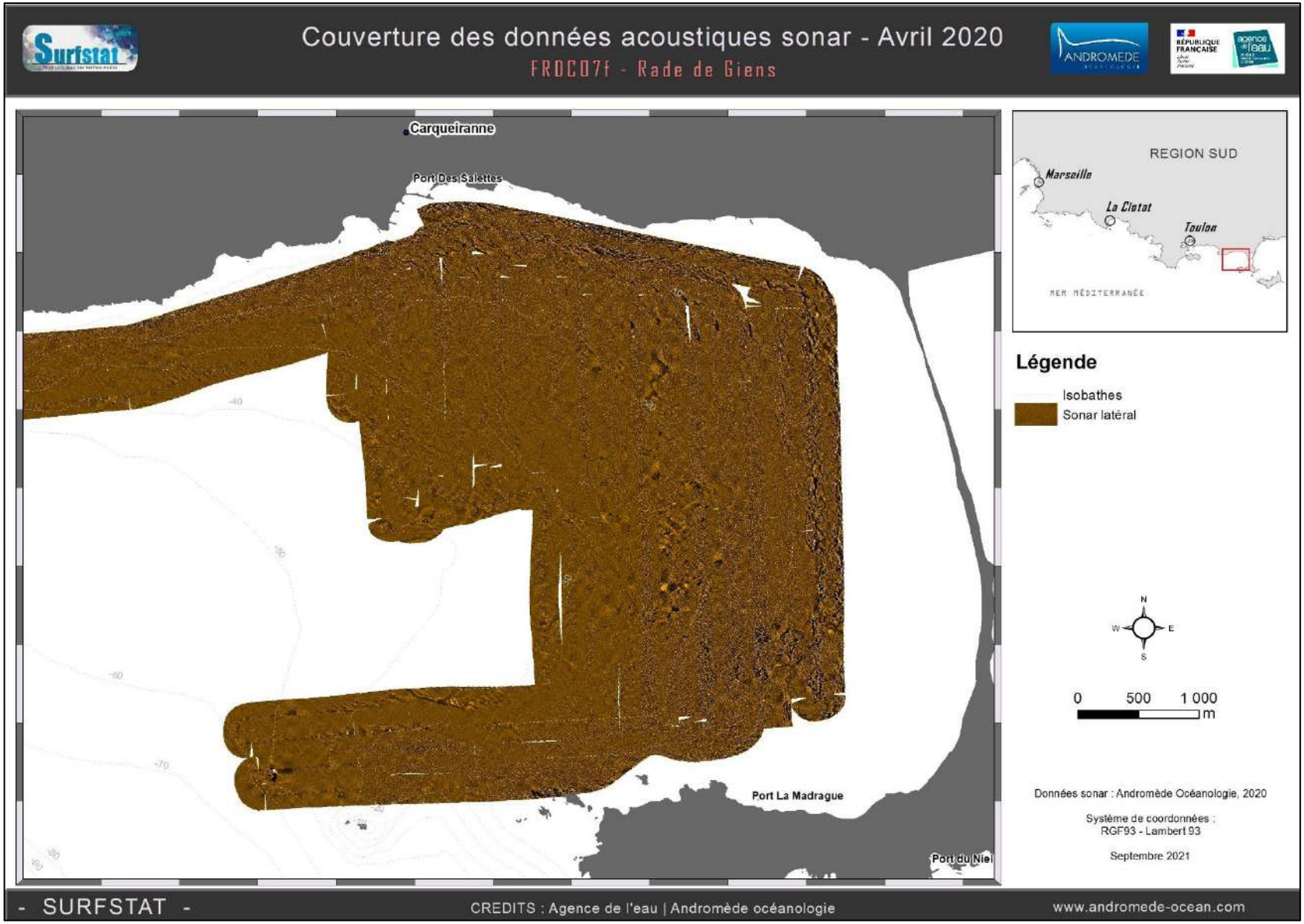
www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.3.2. Rade de Giens

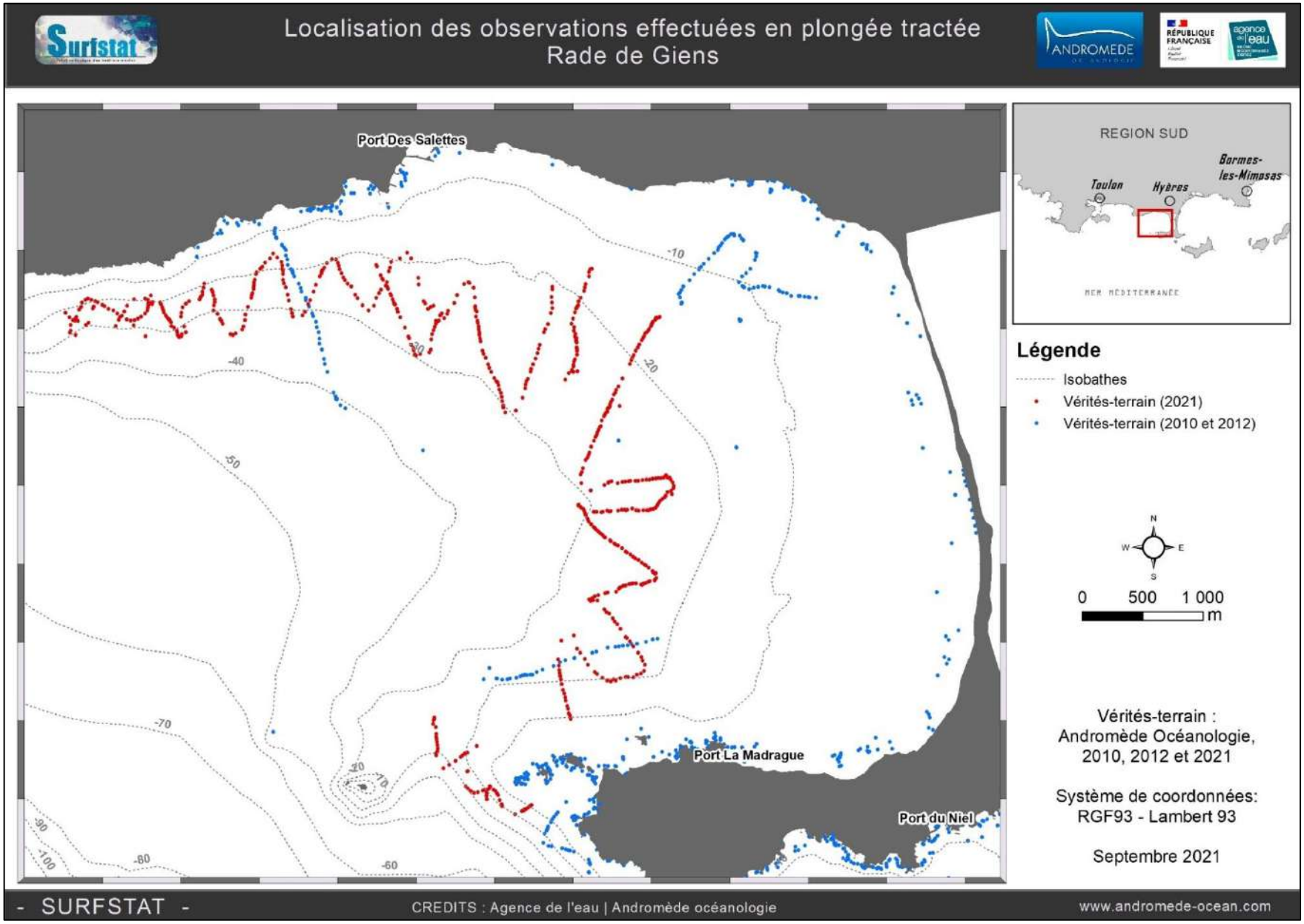
Sonar latéral

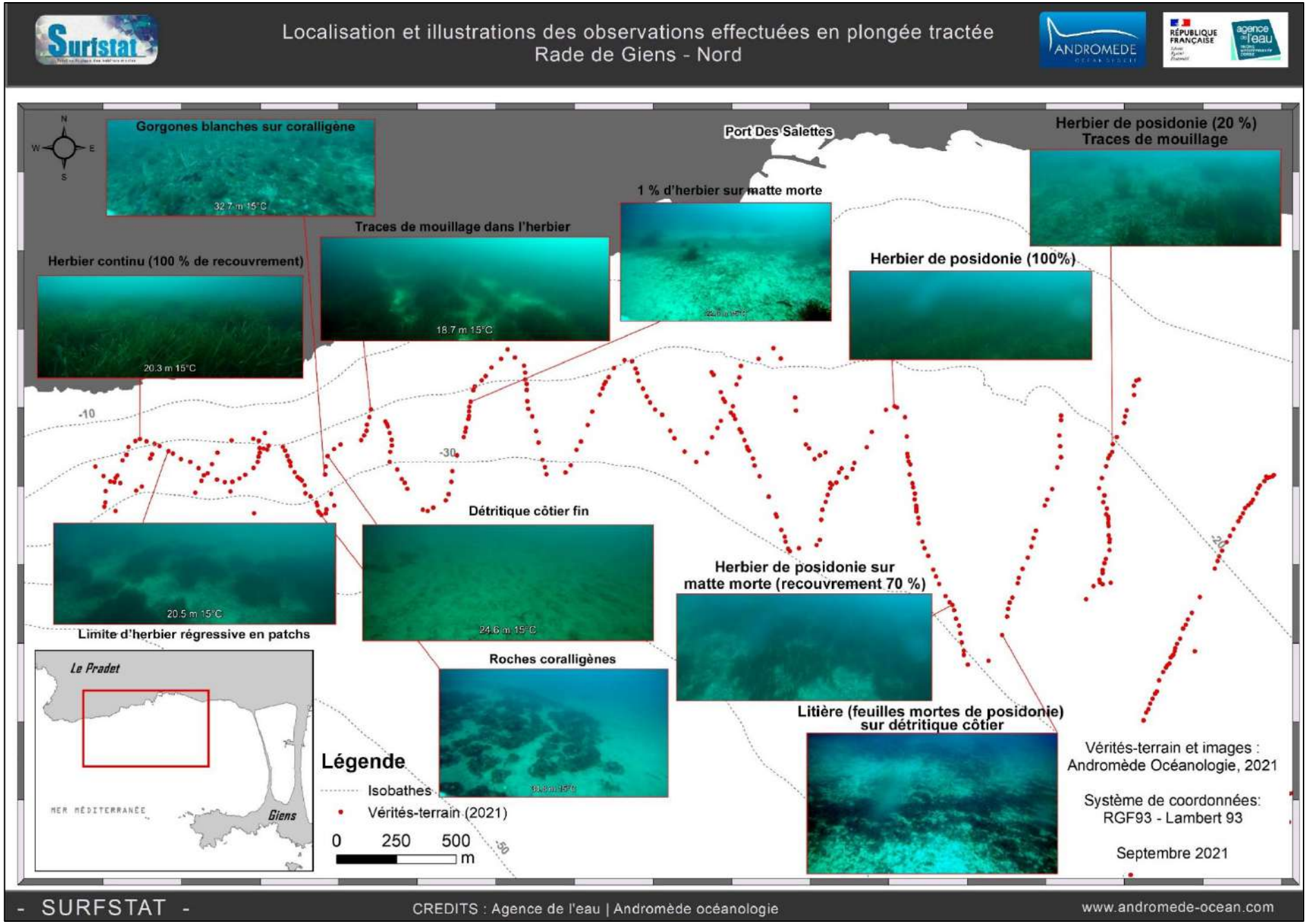
Au total, **1700 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses de la rade de Giens.



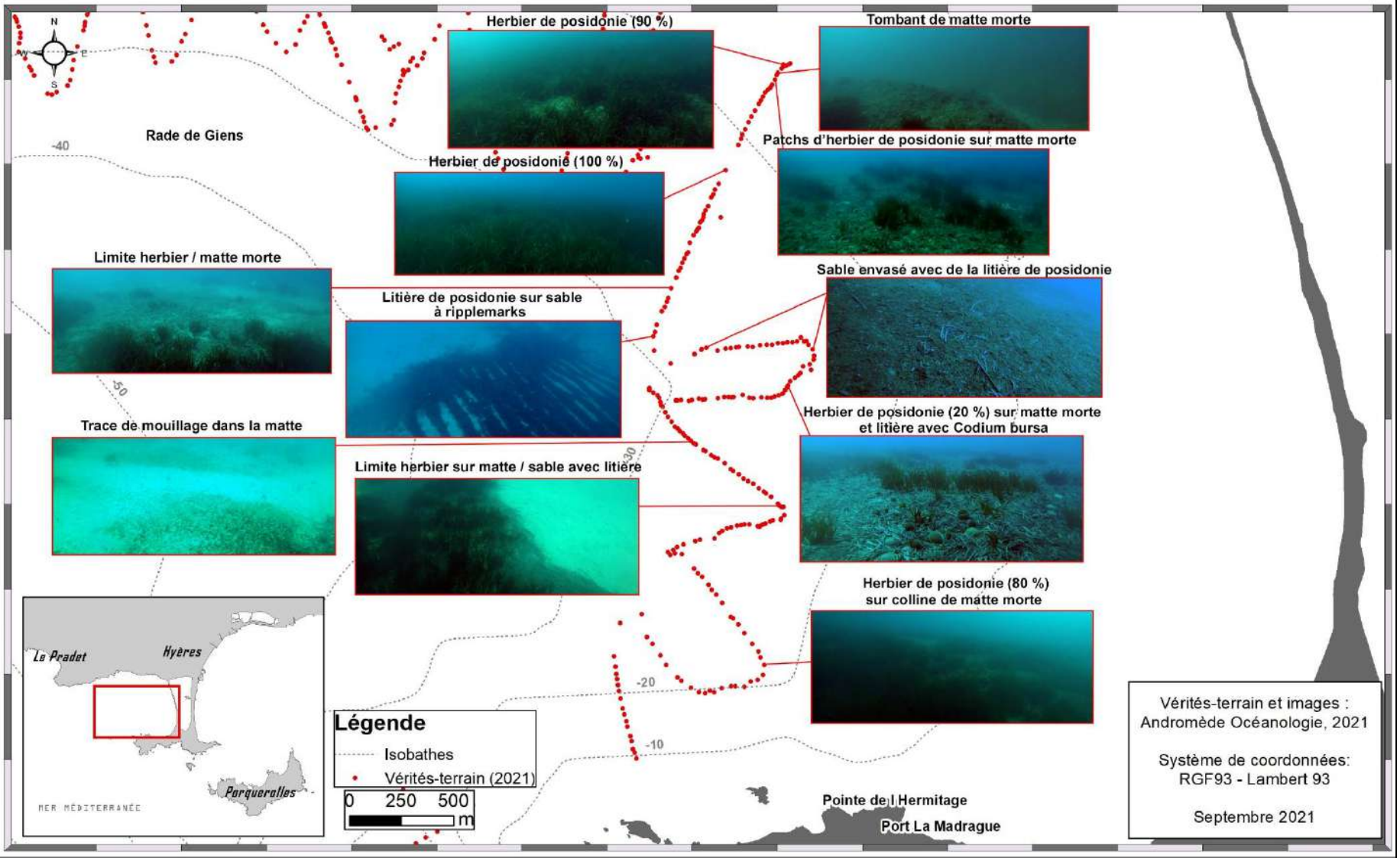
Vérités-terrain

Près de **610 observations** ont été faites en plongée tractée dans la rade de Giens pour la validation de la cartographie des biocénoses en 2021 (points rouges sur ma carte ci-dessous). Elles des vérités terrain existantes réalisées en 2010 et 2012 (points bleus sur ma carte ci-dessous).



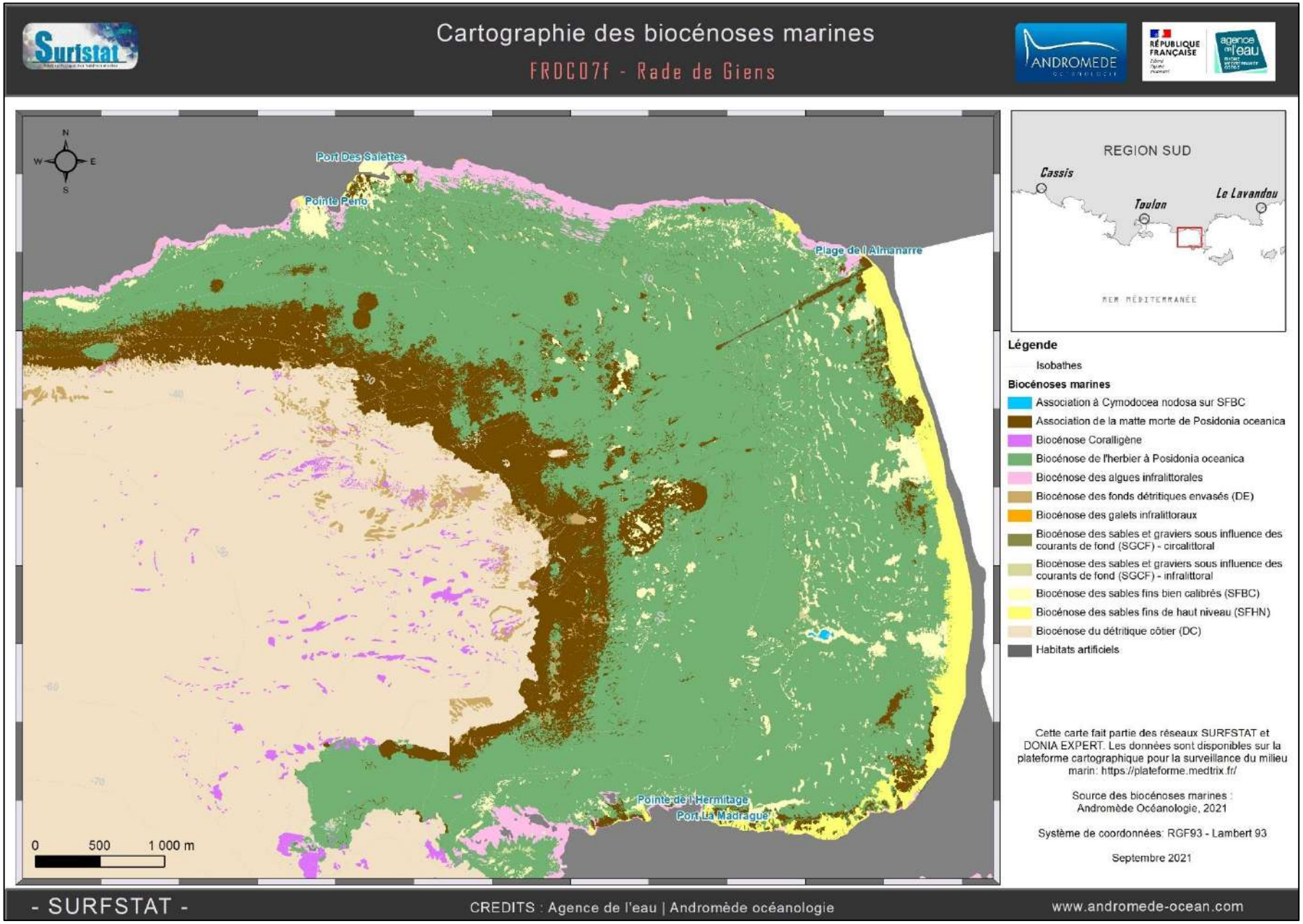

Surfstat
Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Rade de Giens - Nord
ANDROMEDE
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
agence de l'eau
Gorgones blanches sur coralligène
32.7 m 15°C
Port Des Salettes
Herbier de posidonie (20 %)
Traces de mouillage
1 % d'herbier sur matte morte
Traces de mouillage dans l'herbier
18.7 m 15°C
Herbier continu (100 % de recouvrement)
20.3 m 15°C
Herbier de posidonie (100%)
-10
-30
Détritique côtier fin
24.6 m 15°C
20.5 m 15°C
Herbier de posidonie sur
matte morte (recouvrement 70 %)
Limite d'herbier régressive en patchs
Roches coralligènes
Litière (feuilles mortes de posidonie)
sur détritique côtier
Le Pradet
MER MÉDITERRANÉE
Giens
Légende
Isobathes
Vérités-terrain (2021)
0 250 500
m
Vérités-terrain et images :
Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Rade de Giens



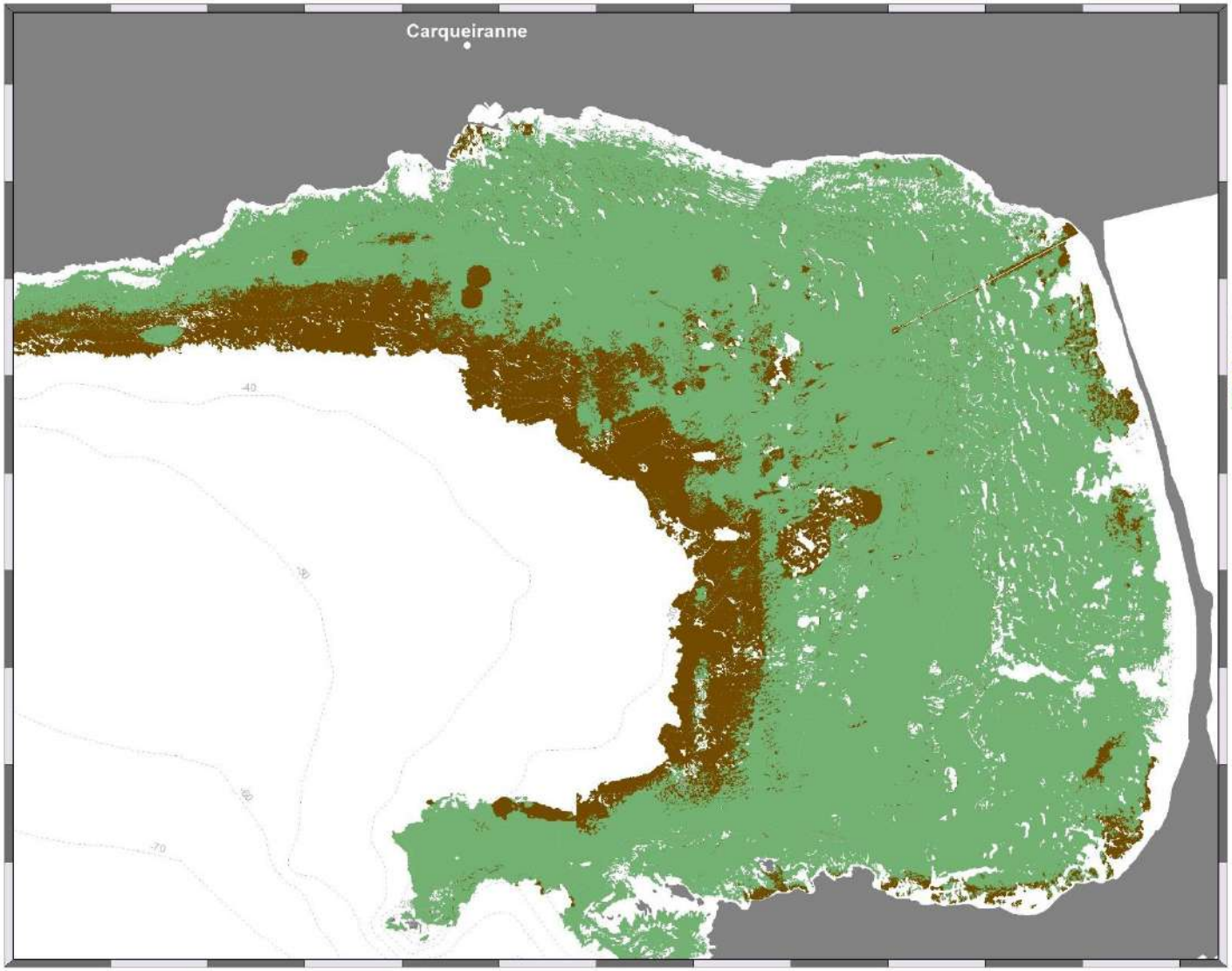
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

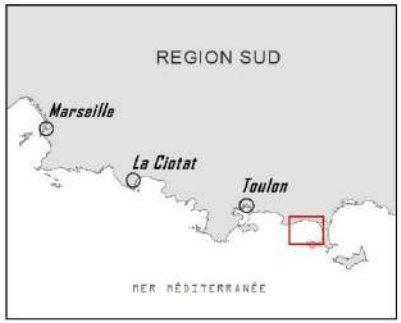
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Cartographie des biocénoses marines
FRDC07f - Rade de Giens
Surfstat
ANDROMEDE
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
agence de l'eau
N
S
W
E
Port Des Salettes
Pointe Péno
Plage de l'Almanarre
Pointe de l'Hermitage
Port La Madrague
0
500
1 000 m
REGION SUD
Cassis
Toulon
Le Lavandou
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Biocénoses marines
Association à Cymodocea nodosa sur SFBC
Association de la matte morte de Posidonia oceanica
Biocénose Coralligène
Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
Biocénose des algues infralittorales
Biocénose des fonds détritiques envasés (DE)
Biocénose des galets infralittoraux
Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (SGCF) - circalittoral
Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (SGCF) - infralittoral
Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)
Biocénose des sables fins de haut niveau (SFHN)
Biocénose du détritique côtier (DC)
Habitats artificiels
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et DONIA EXPERT. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin: https://plateforme.medtrix.fr/
Source des biocénoses marines : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC07f - Rade de Giens





Légende

Isobathes

Biocénoses marines

Association de la matte morte de Posidonia oceanica

Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 500 1 000 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

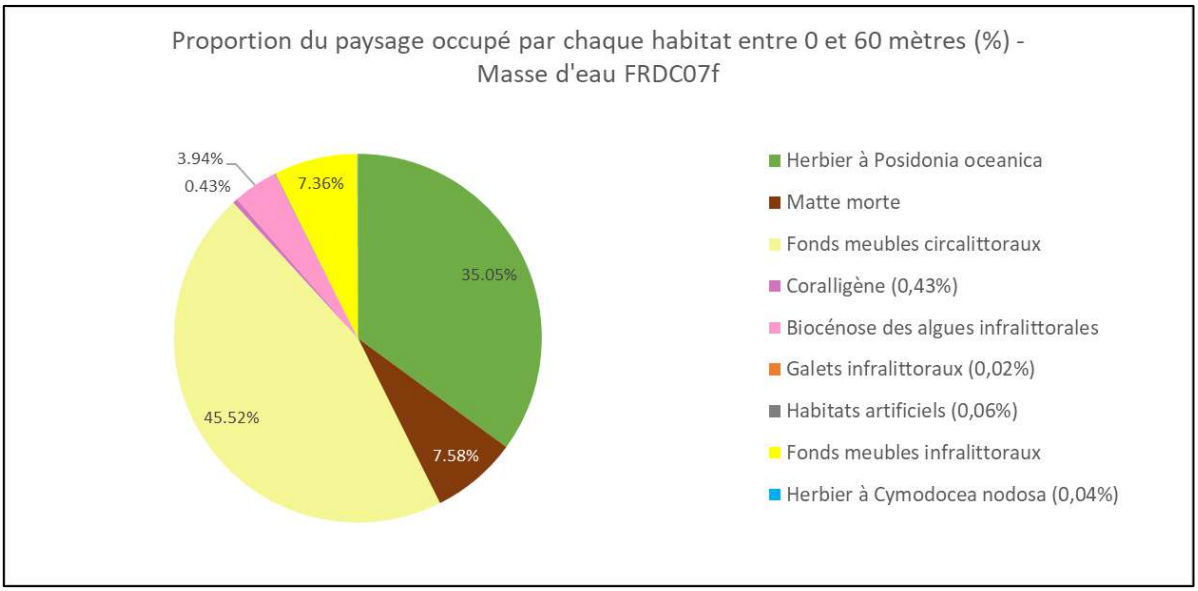
- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.3.3. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC07f « Pointe du Gaou – Pointe Escampobariou » comprend 9 habitats entre 0 et -60 mètres dont les deux principaux (>10 % de recouvrement du paysage) sont la biocénose de l'herbier à Posidonie (35,05 %) et les fonds meubles circalittoraux (45,52 %). 29,2 % du paysage est dominé par une tache unique de fond meuble circalittoral et 26,3 % par une tache unique d'herbier à Posidonie.

Cette masse d'eau présente une diversité paysagère forte. La valeur de l'indice de Simpson (0,74) est au-dessus de la moyenne et celle du nombre d'habitats pour 100 ha (0,15) est faible comparativement à toutes les masses d'eau de la région Sud. L'indice de Simpson est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte suivante.

Entre 0 et -60 mètres, l'indice d'agrégation montre que la grande majorité des habitats est fragmentée. Pour quatre d'entre eux ceci s'explique par leur taux de recouvrement inférieur à 1 % : les habitats artificiels, les herbiers à Cymodocées, les galets infralittoraux et la biocénose coralligène.

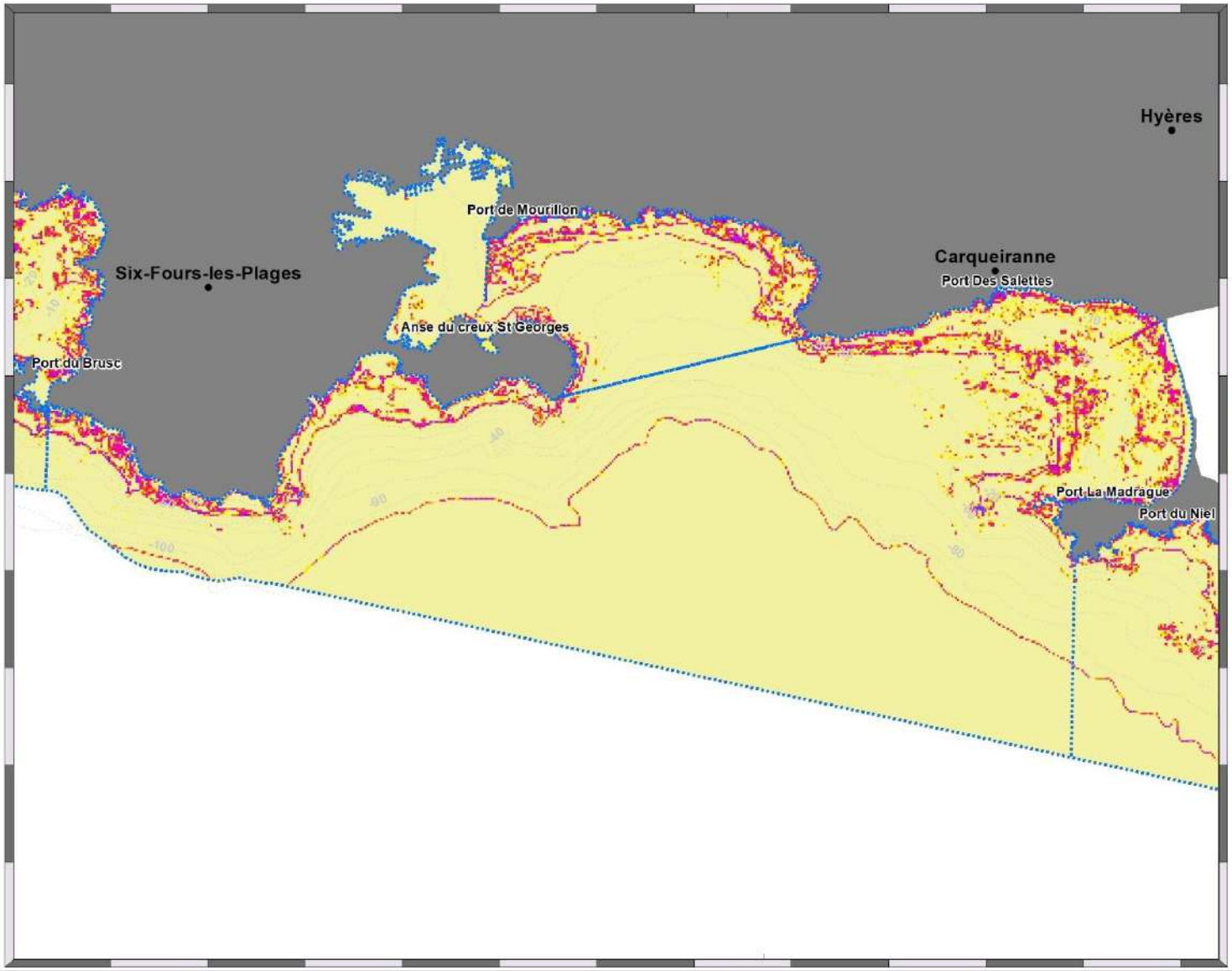
Seul l'habitat « fonds meubles circalittoraux » a un indice d'agrégation supérieur à 95 %, et l'habitat « herbier de posidonie » a un indice d'agrégation de 89 %, il peut être considéré comme peu fragmenté. Les fortes valeurs des indices d'agrégation et de connectivité correspondent à une continuité horizontale de ces habitats se traduisant par un taux de recouvrement élevé.

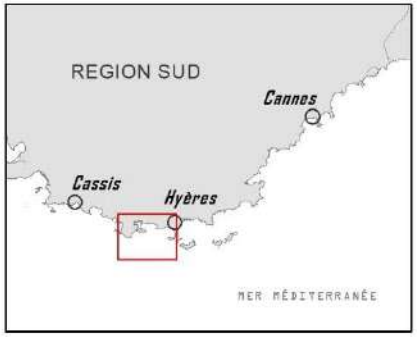
Tableau 9 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07f.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07f	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	5921.44	66.85 – 4008.79 – 16846.79
Nombre d'habitats dans le paysage	9	7 – 8.4 – 10
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	227.09	12.8 – 162.81 – 548.39
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	29.25	25.7 – 51.37 – 78.51
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.15	0.05 – 0.92 – 8.06
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.74	0.44 – 0.66 – 0.84

Indice de diversité de Simpson

FRDC07f - Pointe du Gaou - Pointe Escampobariou





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 50 m

Faible

Elevée

N
W E
S

0 1 2 3 4 5 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de Simpson : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

L'herbier occupe 51,03 % 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 région Sud.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtière de la région, l'herbier de Posidonie de la masse d'eau FRDC07f se caractérise par un nombre moyen de taches (38,19/100 ha) de très petite taille (0,59 ha) et très proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux taches les plus proches est de 10,7 mètres entre 0 et 40 mètres) On note la présence d'une grande tache (38,19 % 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 moyenne des taches entre elles (AI=89,68 %). L'indice de fragmentation de l'herbier pour cette masse d'eau (0,85) est proche de la moyenne observée pour toute la région (0,87).

L'indice de régression de l'herbier à Posidonie dans cette masse d'eau (0,18) est égal à la moyenne régionale (voir page 74). De nombreux **impacts de bombes dans l'herbier ont été observés au large de l'Anse des Sablettes ainsi qu'entre le Cap de Carqueiranne et la rade de Giens** (voir Figure 20 page suivante).

Des **zones de recolonisation d'herbier en patchs** sont également visibles. Cela indique que l'herbier possède les réserves suffisantes pour recoloniser des zones autrefois abimées par l'ancrage ou l'explosion des bombes (voir Figure 21).

Tableau 10 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07f

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07f	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	51.03	1.79 – 77.82 ; 36.88
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	86.93	1.67 – 141.69 ; 42.35
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	38.19	0.61 – 77.49 ; 28.87
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.59	0.15 – 3.71 ; 1.19
Indice de complexité des formes	1.06	1.05 – 1.13 ; 1.07
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	10.68	7.49 – 94.76 ; 23.84
Indice de fragmentation de l'herbier	0.85	0.4 – 1 ; 0.87
Indice d'agrégation entre les taches (%)	89.68	76.73 – 97.25 ; 87.94
Indice de régression de l'herbier	0.18	0.01 – 0.59 ; 0.18

Aucune carte d'évolution des limites de l'herbier de posidonie au large des Sablettes entre 2009 et 2020 n'a pu être générée. La zone qui avait été acquise en 2009 n'est pas complète et ne représente qu'une petite partie de la zone prospectée en 2020 (voir Figure 22). De plus, la méthodologie et la qualité des données sonar ayant évolué depuis, aucune comparaison fiable n'est possible en termes de surfaces perdue et/ou gagnée. Cependant, l'évolution de la colonisation de l'herbier dans certaines zones au large de Fabregas et des Sablettes a pu être observée en comparant les données sonar (Figure 23).

Pour le secteur du golfe de Giens, aucune carte d'évolution des limites n'a pu être générée sur l'ensemble du golfe. Même si la zone prospectée en 2010 est comparable à celle de 2020, les méthodes d'acquisition sonar sont sensiblement différentes : logiciels de traitement des données sonar (CodaMosaïc, Hypack et SonarWiz), qualité des données sonar de 2010 (résolution moindre et trajectoires du bateau créant un décalage entre les bandes), échelle de précision cartographique différente (1/25 000 pour CARTHAM, 1/10 000 pour cette étude). De plus, l'acquisition des données sonar pour cette étude ont été effectuées dans de très bonnes conditions (pas de houle, aucun filet de pêche et aucun bateau présent en mer en raison du confinement au début de la crise sanitaire en mars/avril 2020) permettant d'avoir des levés sonar d'excellente qualité. La limite inférieure d'herbier étant très diffuse et difficile à interpréter à partir des données sonar de 2010, aucune comparaison précise n'est possible. Cependant, de nombreuses zones de sable et de matte morte dans l'herbier ont pu être retrouvées en comparant les données sonar de 2010 et 2020, permettant ainsi d'en déduire que la recolonisation naturelle de l'herbier du golfe de Giens est lente voire quasi-inexistante (voir Figure 24 et Figure 25 pages suivantes).

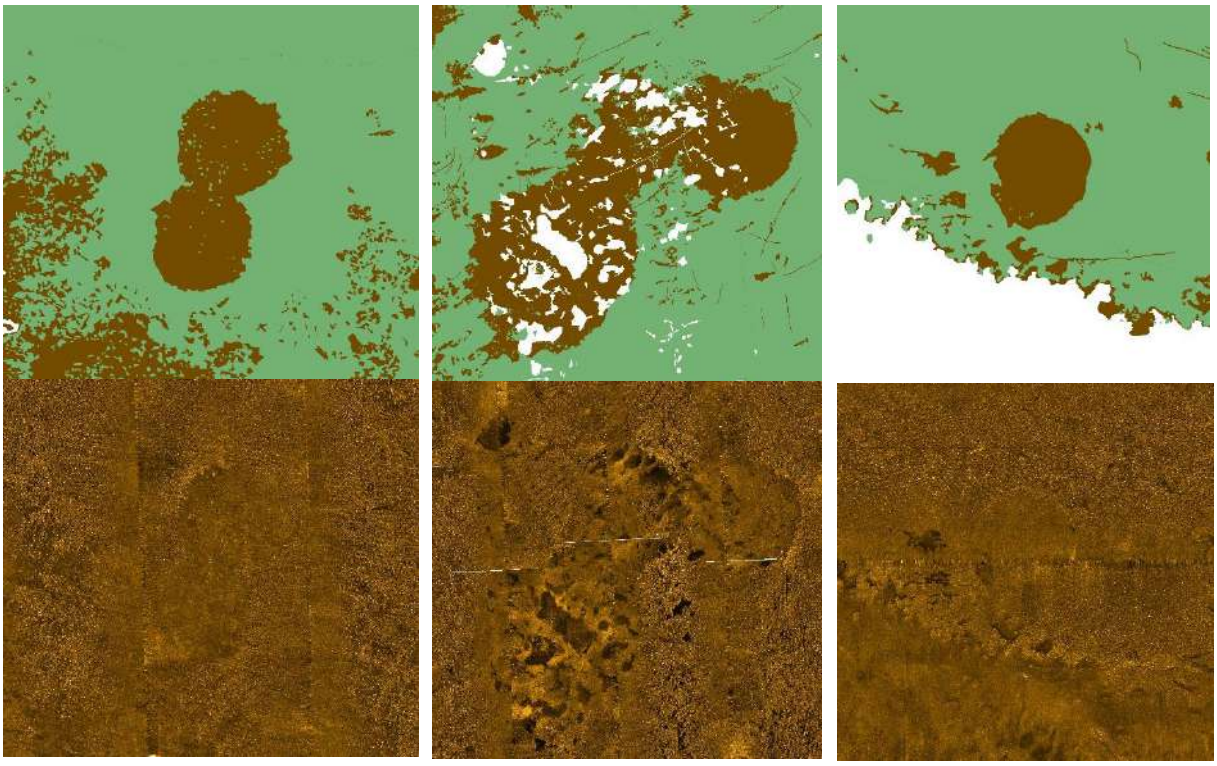


Figure 20 : Impacts de bombes observés dans l'herbier de Posidonie dans la rade de Giens (gauche et milieu) et au large de l'Anse des Sablettes (à droite) (cartographies au-dessus et images sonar correspondantes en-dessous).

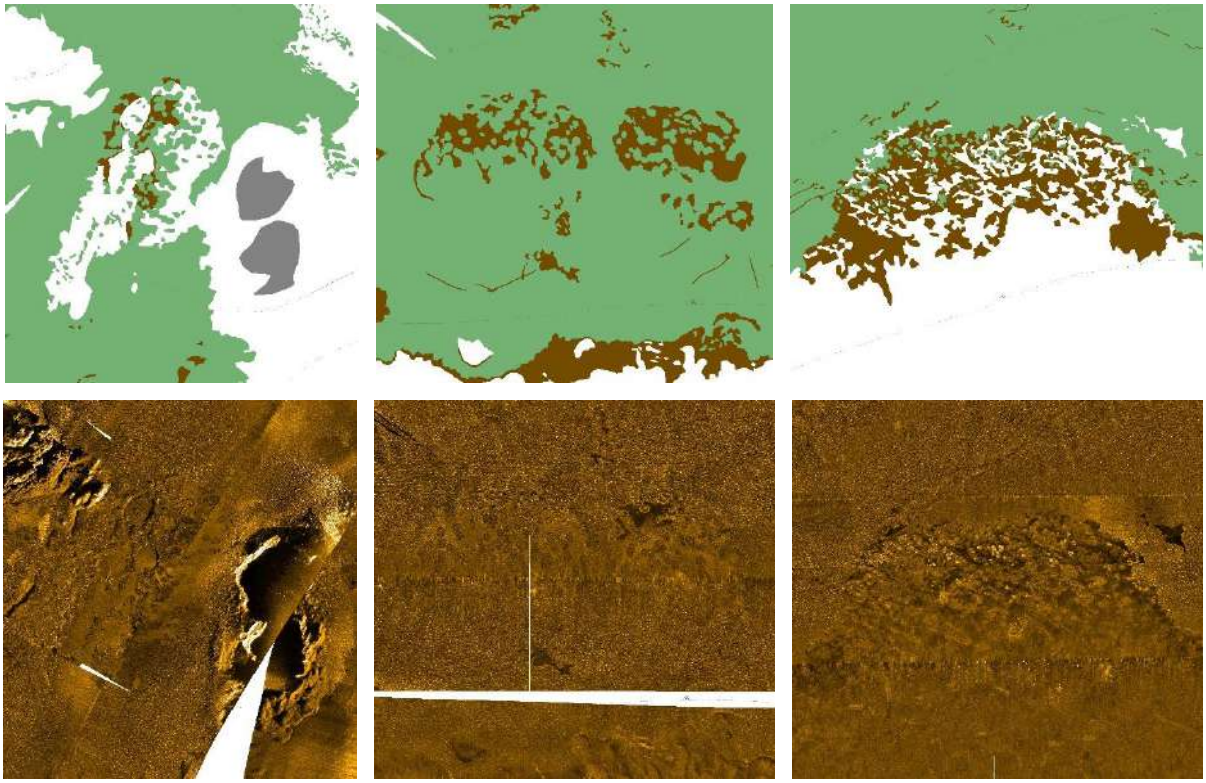


Figure 21 : Zones de recolonisation de l'herbier en « patchs » dans des secteurs autrefois abimés par des impacts de bombes ou par l'ancrage des navires (à gauche : site des Deux Frères ; milieu et à droite : large des Sablettes).

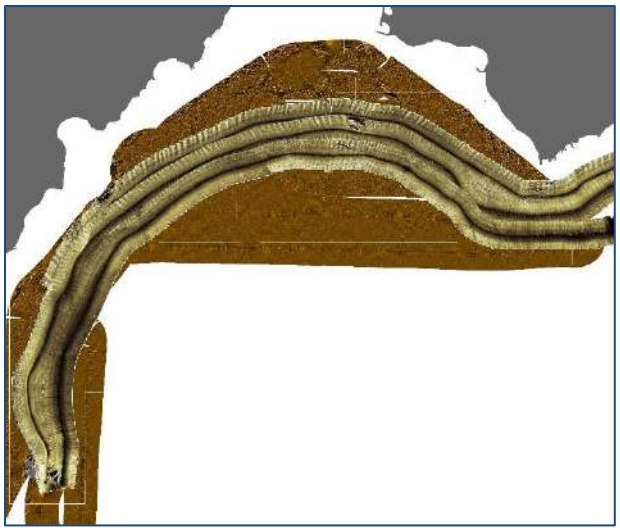


Figure 22 : Données sonar disponibles pour le secteur de Fabregas/les Sablettes (données de 2009 au-dessus de celles de 2020)

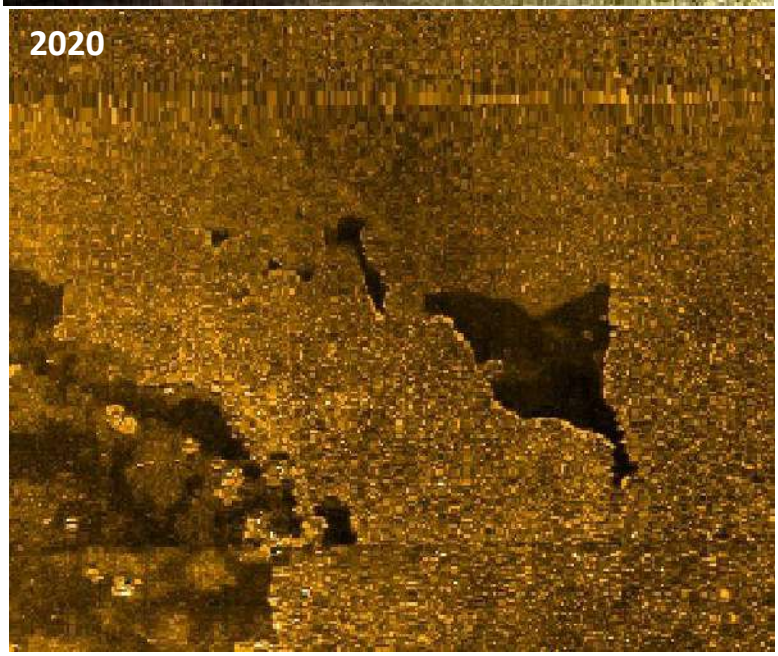
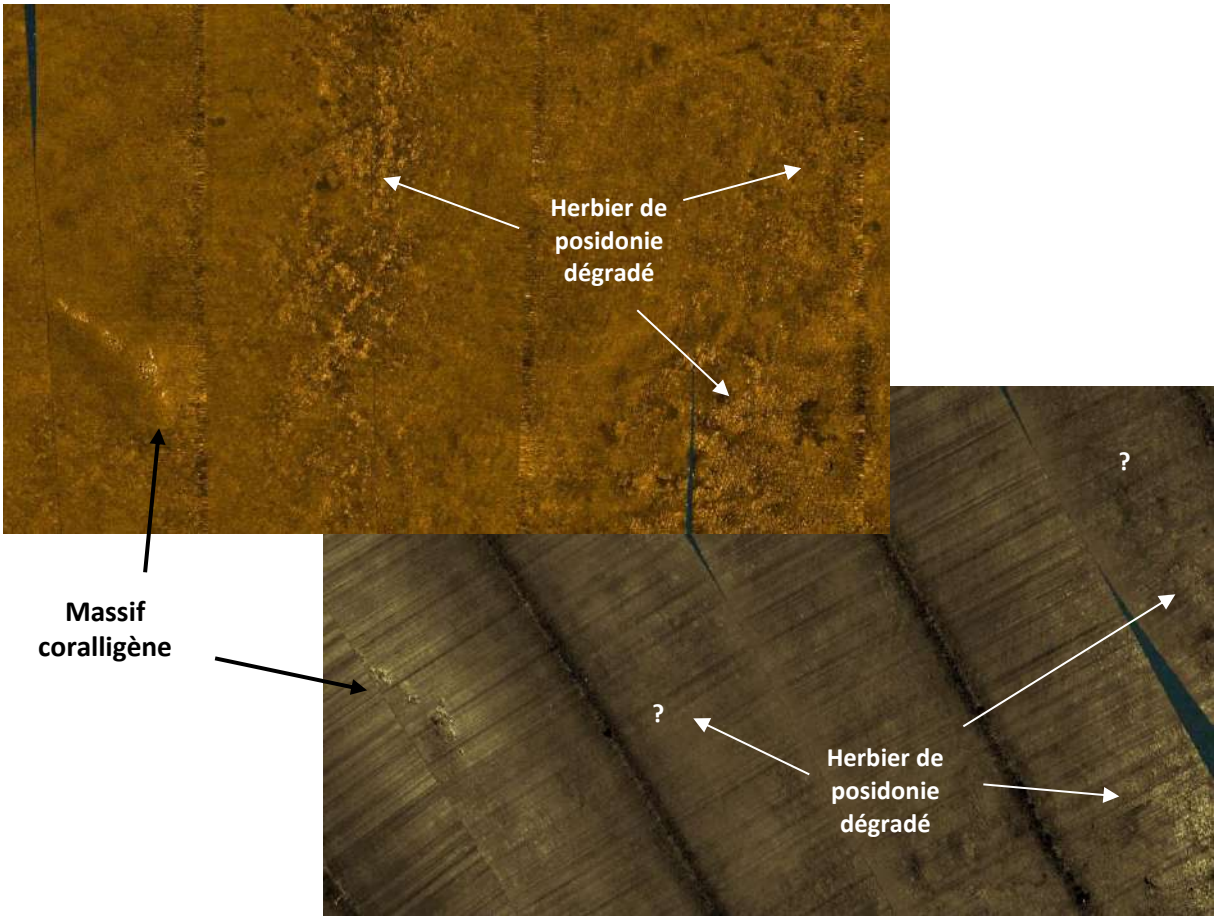


Figure 23 : Exports sonar d'une zone de recolonisation observée au large des Sablettes. On peut voir qu'une partie de la tache de matte morte a été colonisée par de l'herbier de posidonie probablement à la suite de la fusion de plusieurs patchs de posidonie.



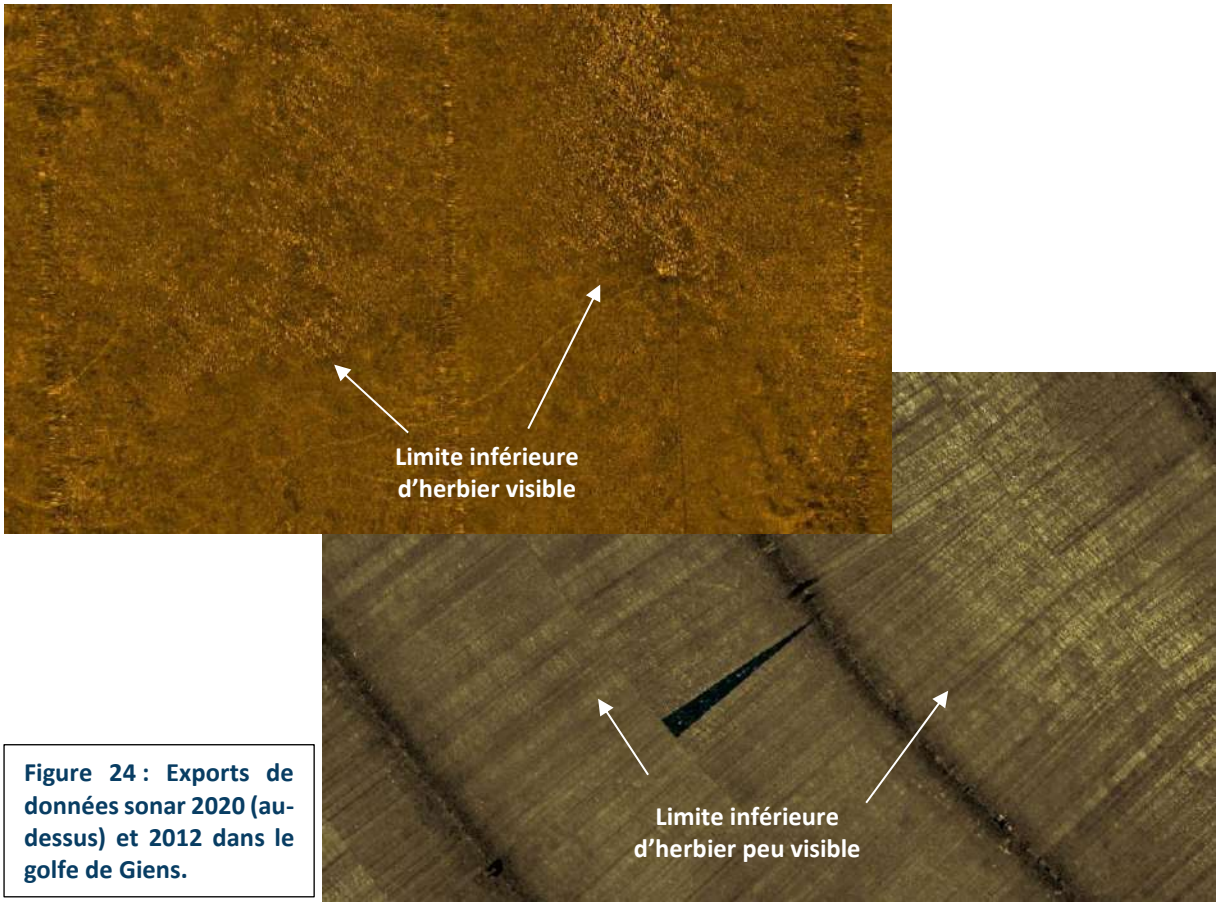


Figure 24 : Exports de données sonar 2020 (au-dessus) et 2012 dans le golfe de Giens.

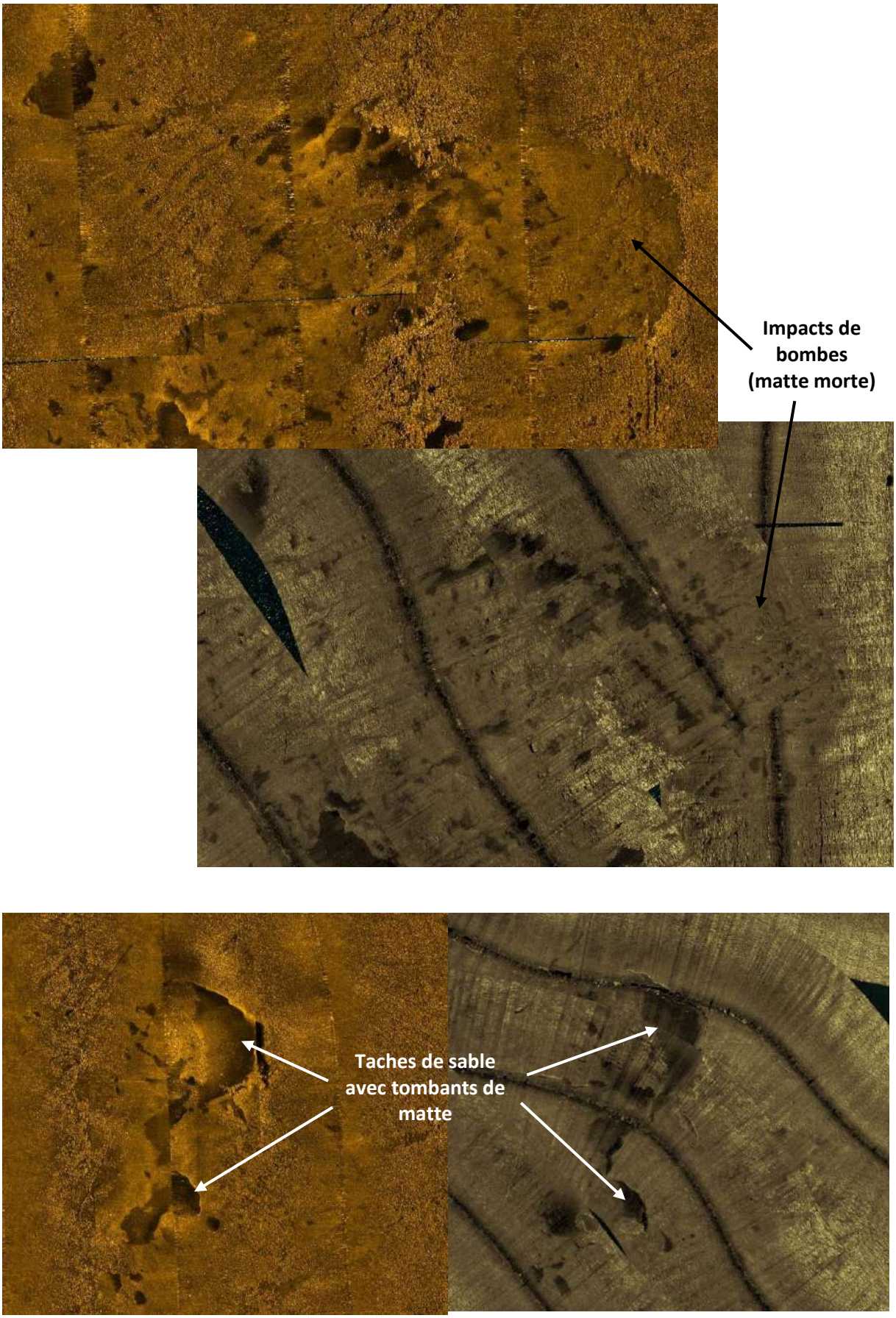
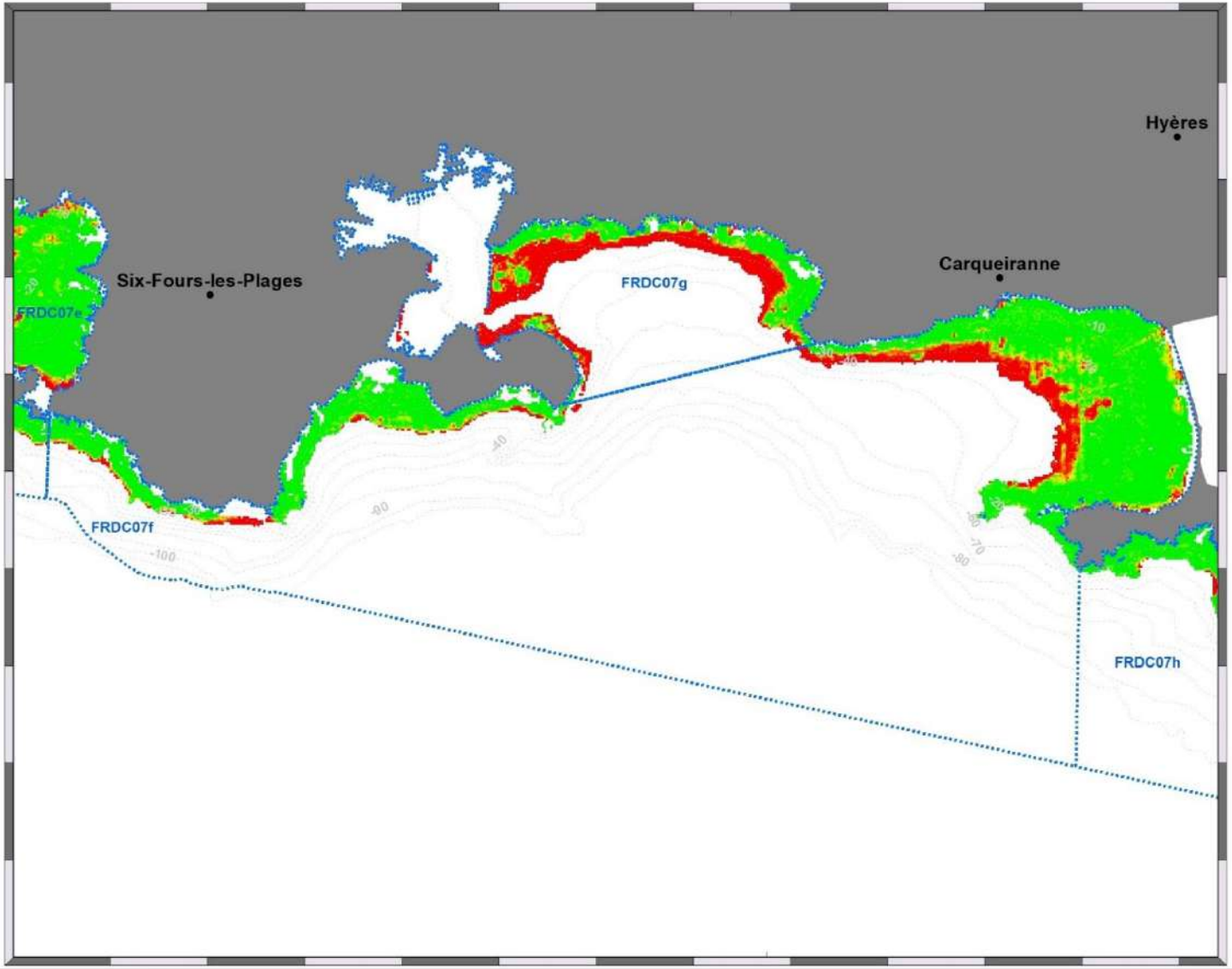
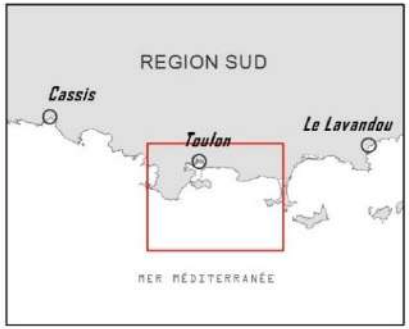


Figure 25 : Exports de données sonar 2020 (au-dessus et à gauche) et 2012 dans le Golfe de Giens.

Indice de régression

FRDC07f - Pointe du Gaou - Pointe Escampobariou





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de régression sur un pixel de 50 m

1

0

N
W
E
S

0 1 2 3 4 5 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de régression : Andromède Océanologie, 2021

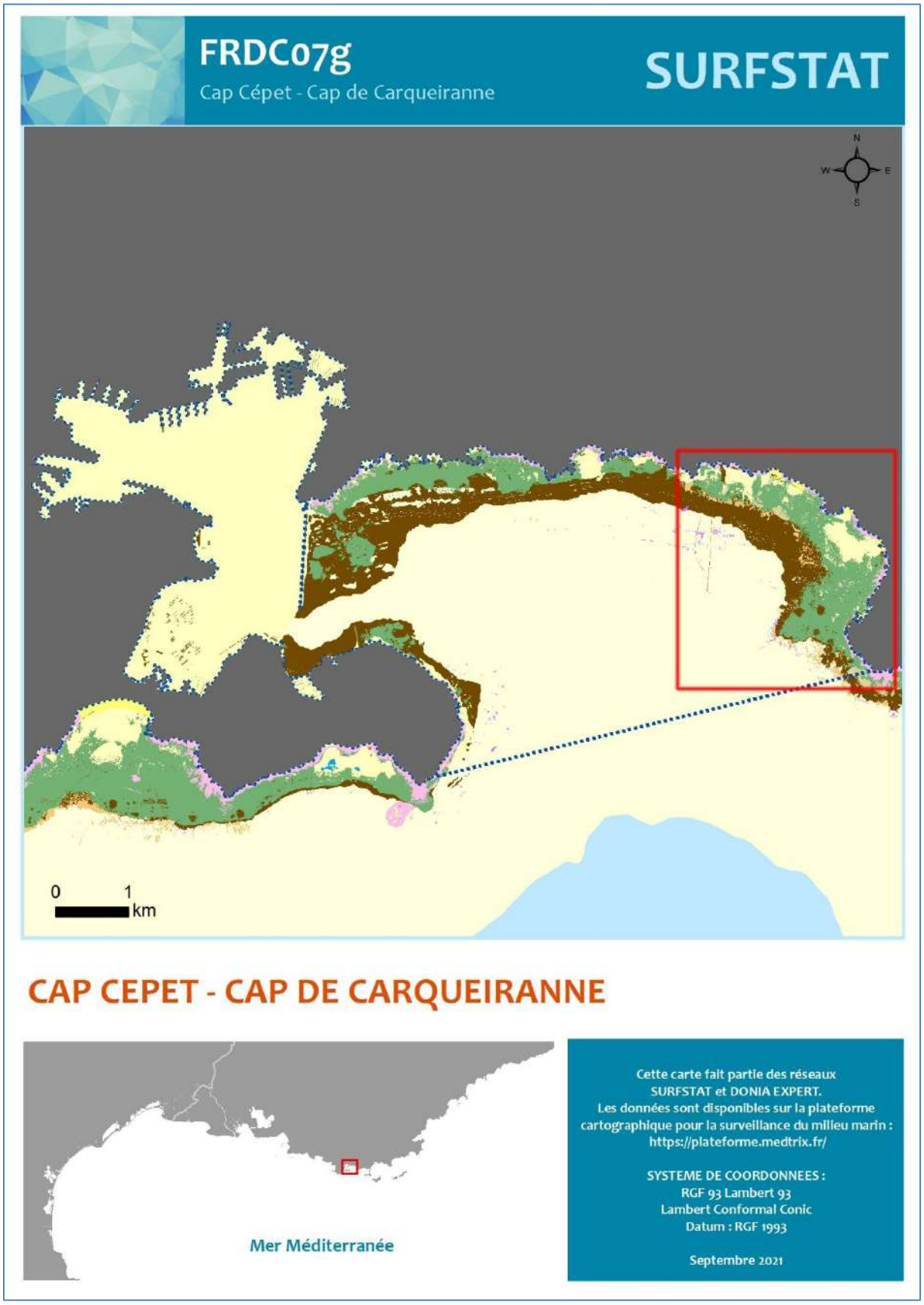
Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

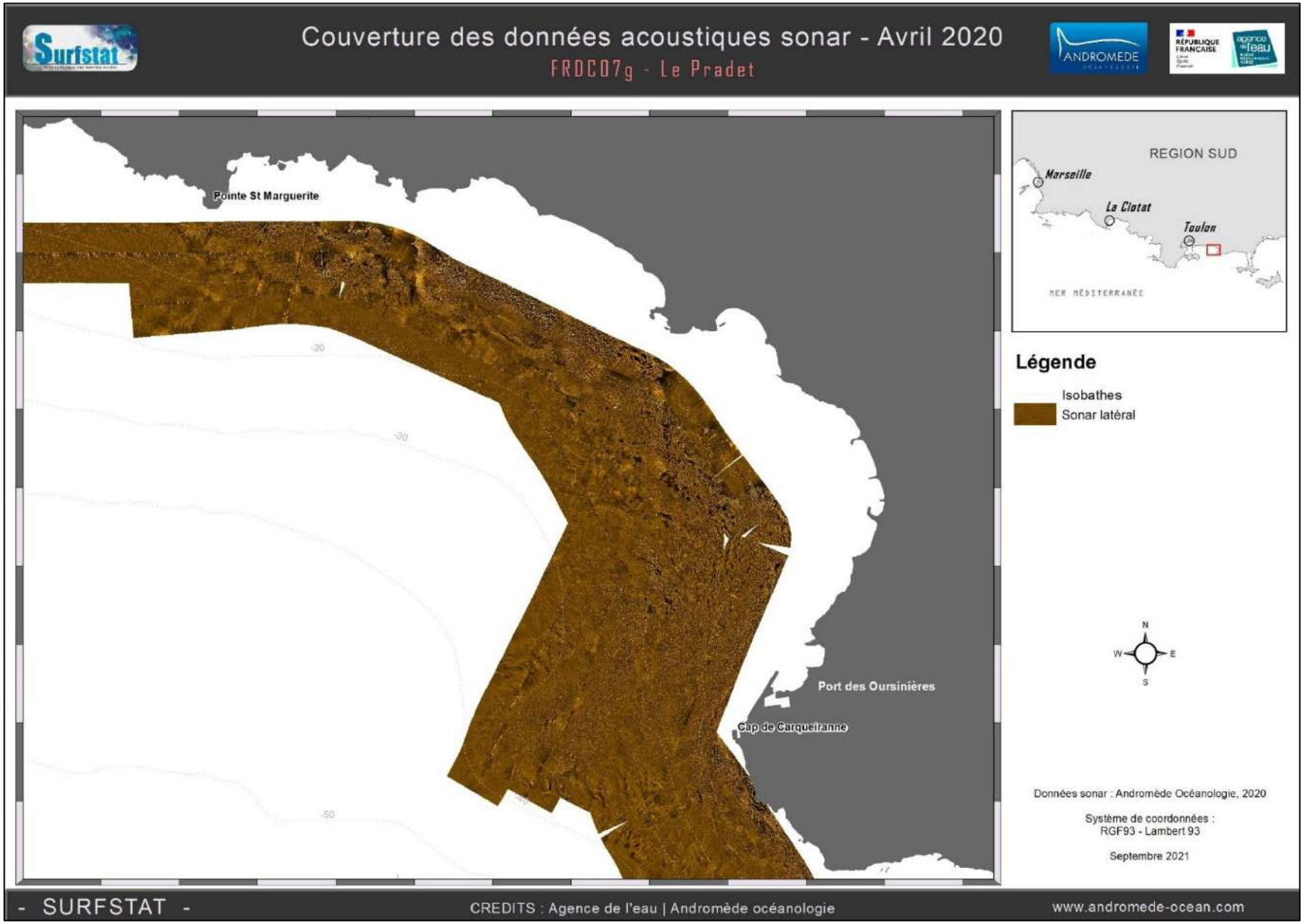
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.4. Masse d'eau FRDC07g : Le Pradet



III.4.1. Sonar latéral

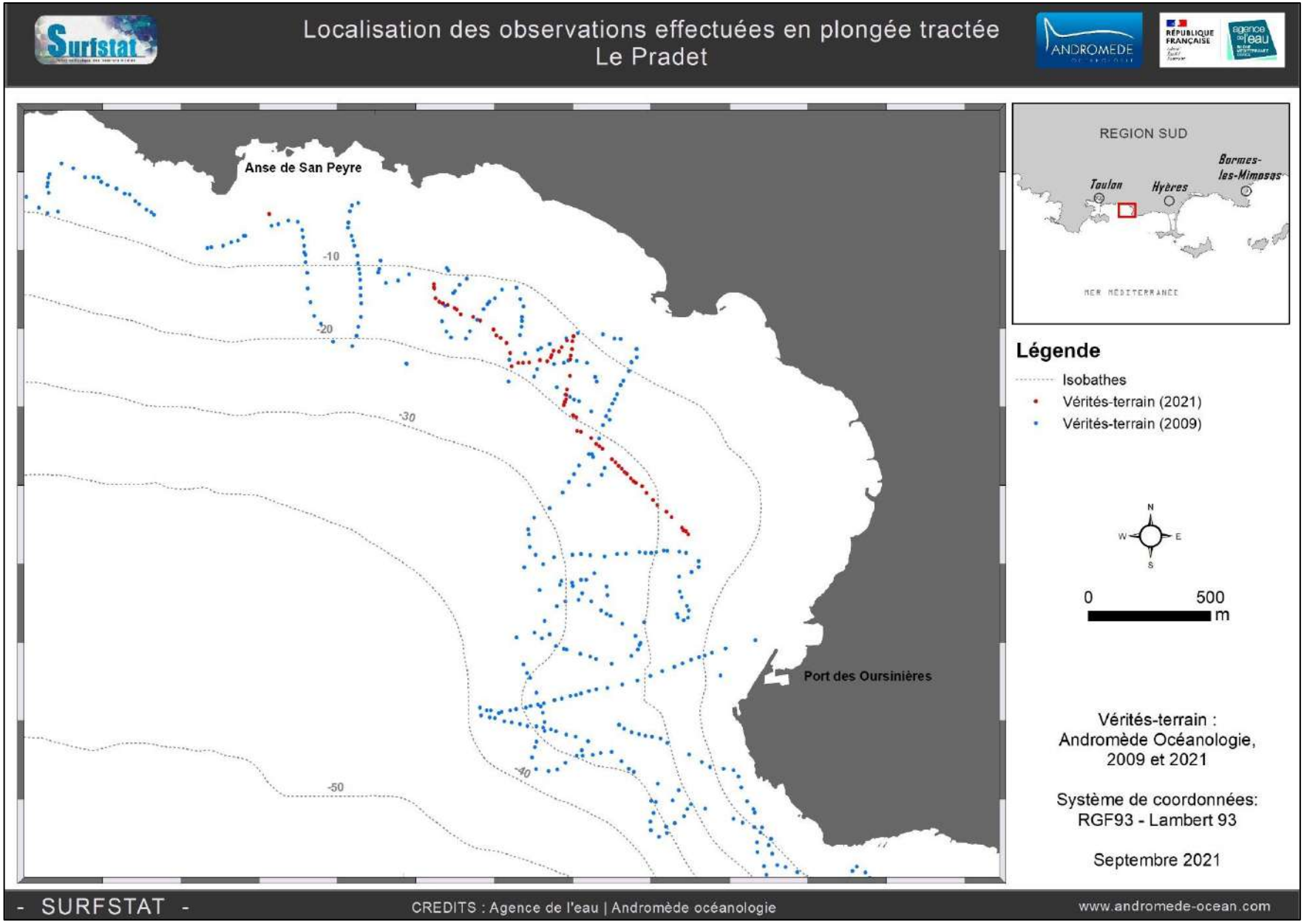
Au total, **400 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses en face du Pradet et du Cap Carqueiranne.



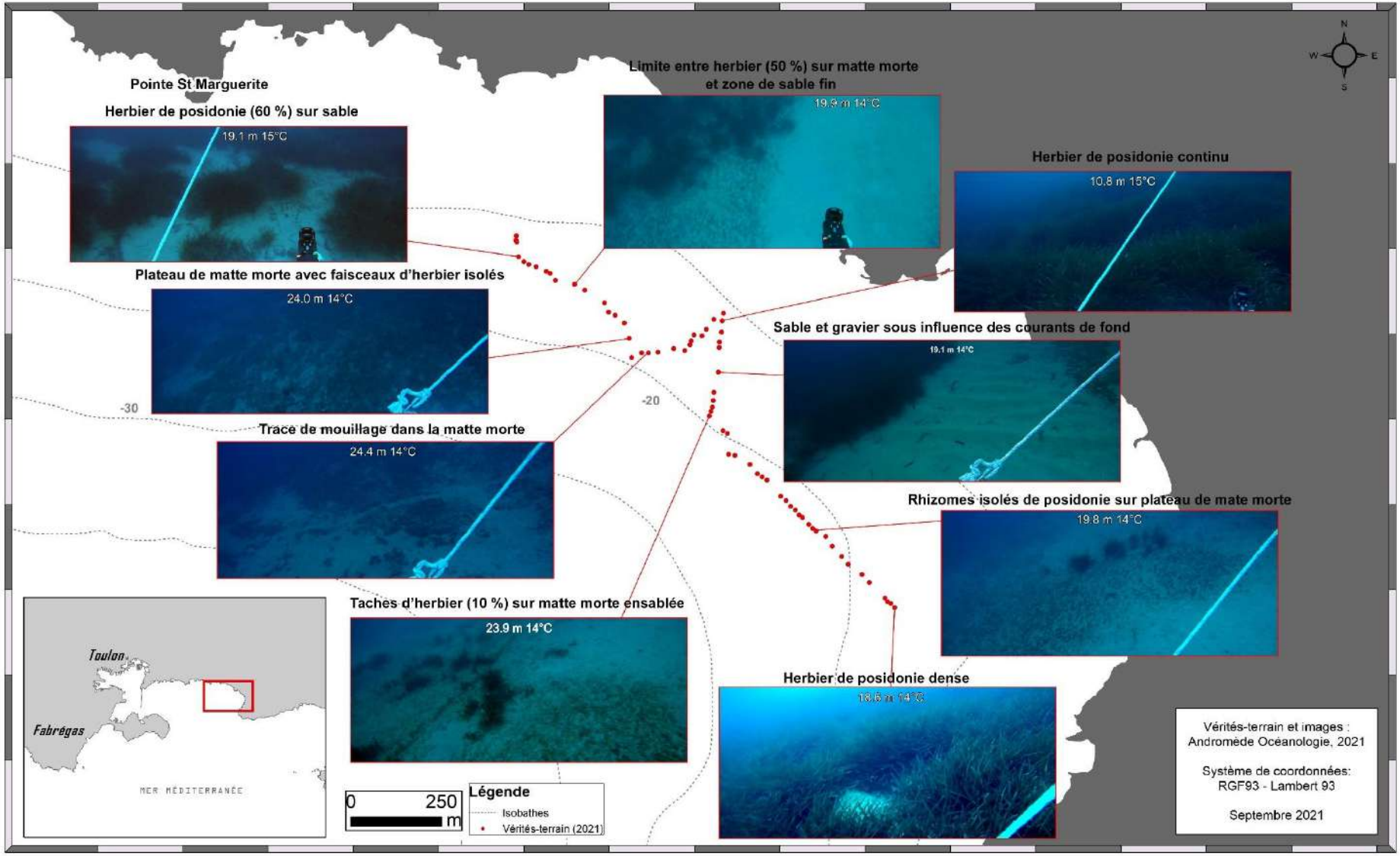
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

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

Près de **70 observations** ont été faites en plongée tractée en 2021 en face du Pradet pour la validation de la cartographie des biocénoses (points rouges dans la carte ci-dessous), elles complètent les données de vérités terrain existantes réalisées en 2009 (points bleus dans la carte ci-dessous).



Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Le Pradet



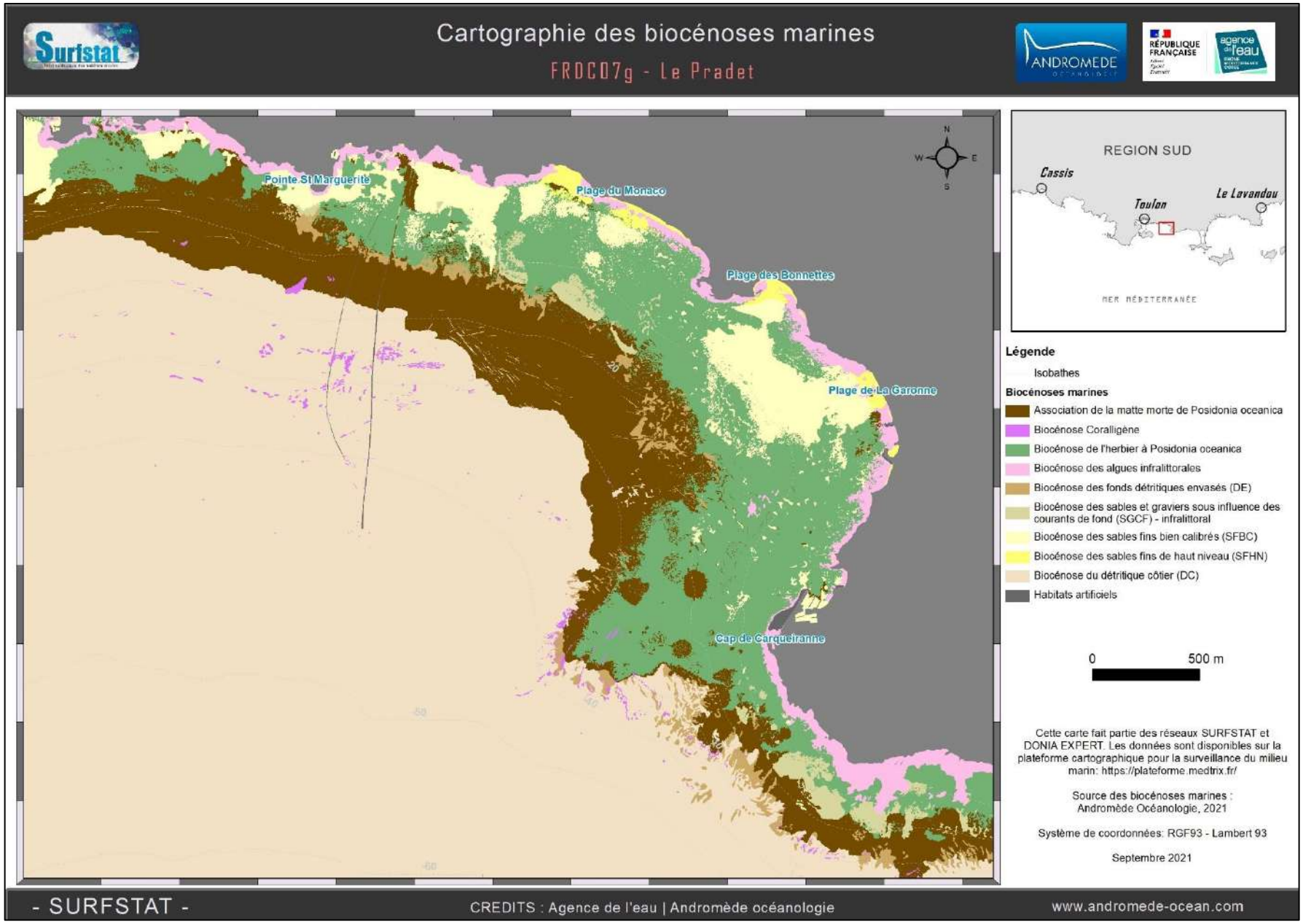
- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

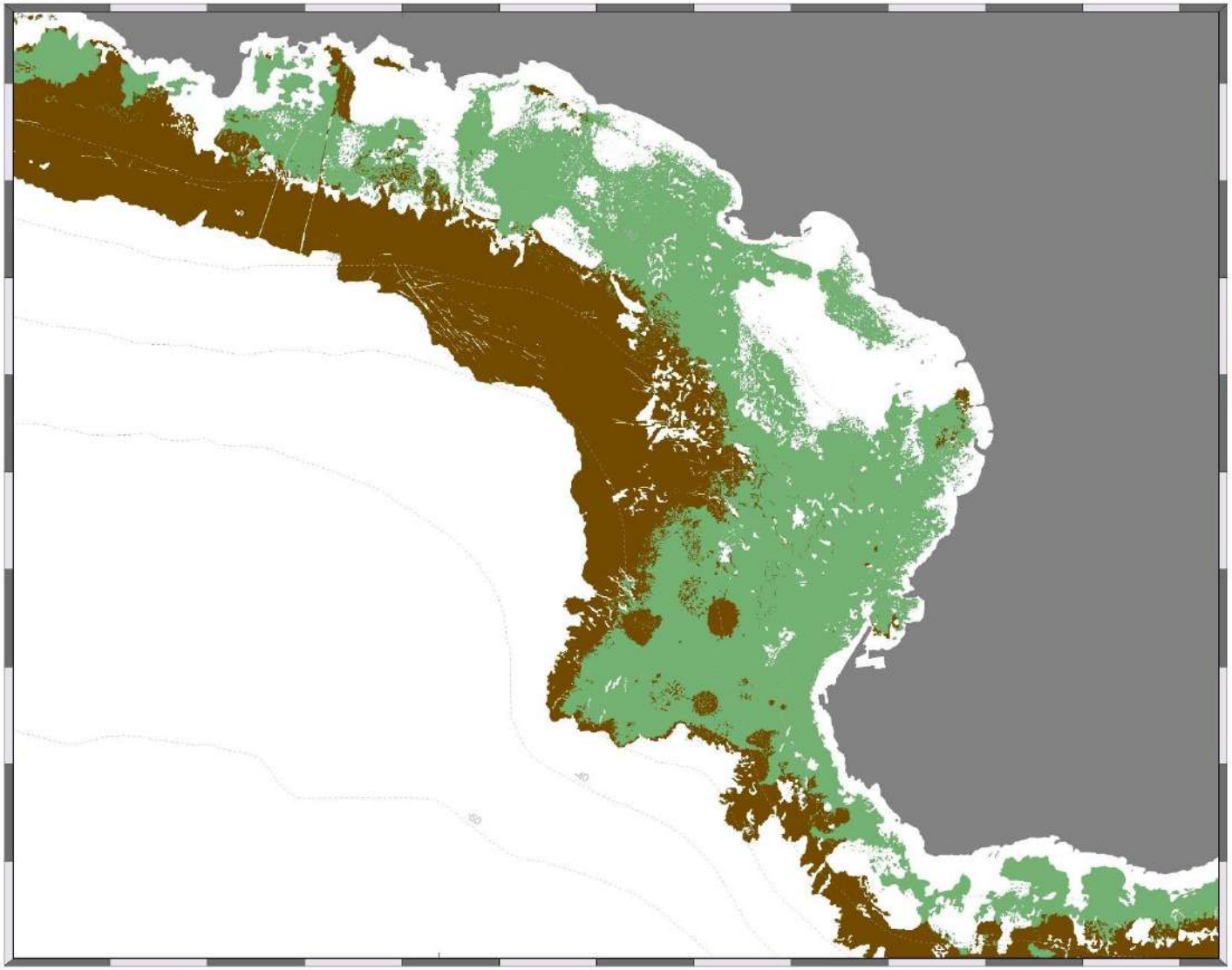
ANDROMÈDE OCÉANOLOGIE

III.4.3. Cartographie des biocénoses marines : Le Pradet



Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC07g - Le Pradet



Légende

Isobathes

Biocénoses marines

Association de la matte morte de Posidonia oceanica

Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 250 500 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

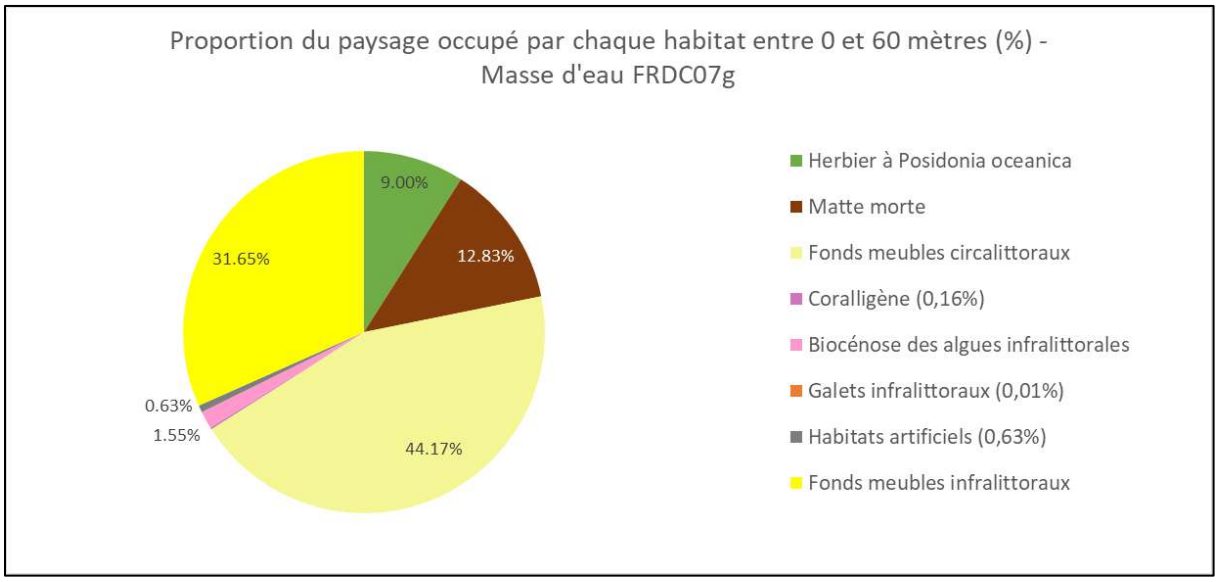
- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.4.4. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC07g « Cap Cepet – Cap de Carqueiranne» comprend 8 habitats entre 0 et 60 mètres dont les trois principaux (>10 % de recouvrement du paysage) sont les fonds meubles infralittoraux (31,65 %) et circalittoraux (44,17 %) et l'association de la matte morte de posidonie (12,8 3%). 43,42 % du paysage est dominé par une tâche unique de fonds meubles circalittoraux. Cette masse d'eau comprend un nombre de tâches jugé moyennement faible (127,79/100 ha) par rapport aux autres masses d'eau.

Tableau 11 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07g.

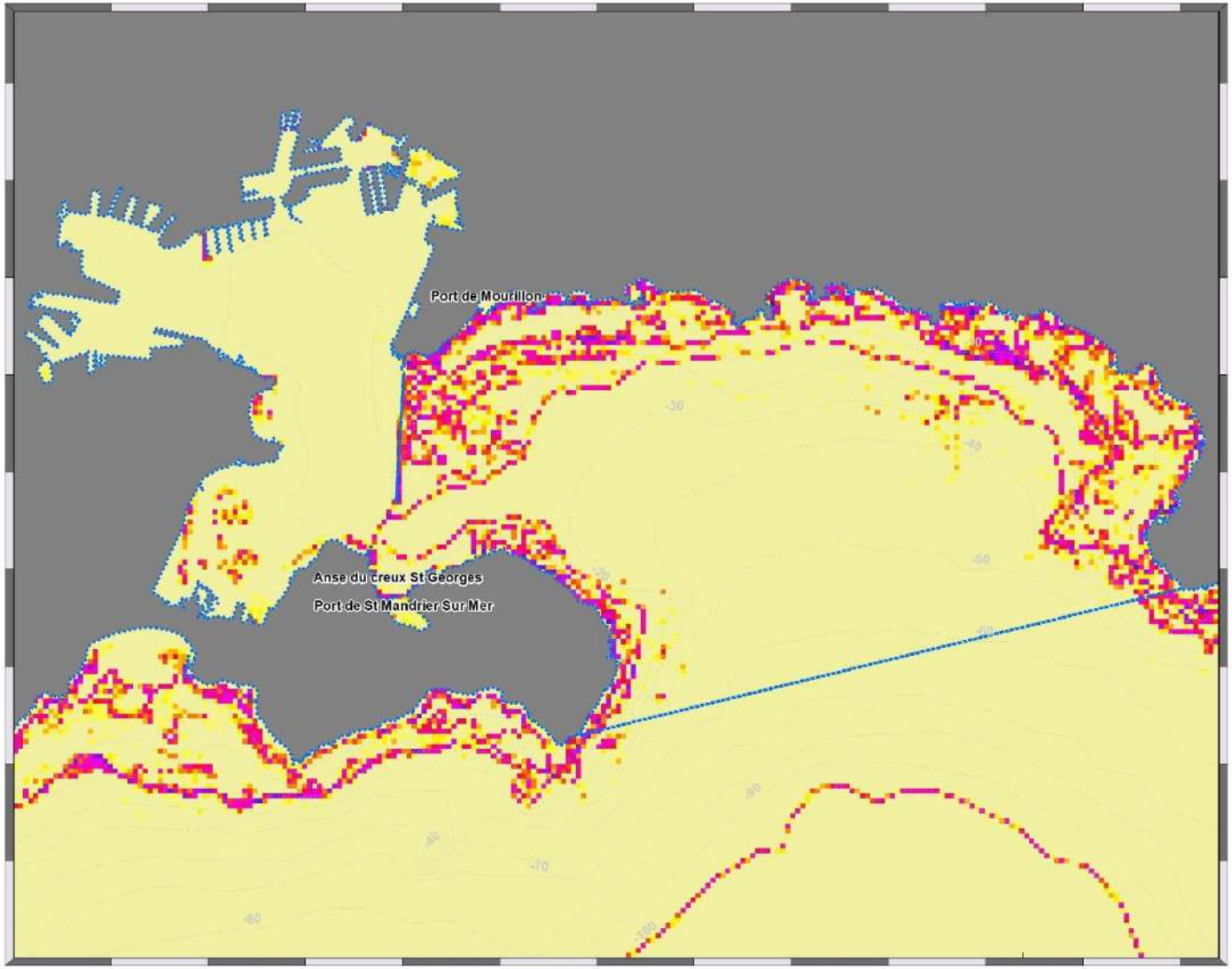
Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07g	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	3487.85	86.85 / 0 / 4008.79 / 16846.79
Nombre d'habitats dans le paysage	8	7 / 0 / 8.4 / 10
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	127.79	12.8 / 0 / 162.81 / 548.39
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	43.42	25.7 / 0 / 51.37 / 78.51
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.23	0.05 / 0 / 0.92 / 8.06
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.78	0.44 / 0.66 / 0 / 0.84

Cette masse d'eau présente une diversité paysagère très forte. La valeur de l'indice de Simpson (0,78) est élevée comparativement aux valeurs régionales. Cet indice est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte suivante. La densité d'habitats dans le paysage est cependant très faible (0,23 habitats/100ha).

L'indice d'agrégation met en évidence une masse d'eau recouverte d'habitats moyennement fragmentés. La biocénose des algues infralittorales (AI=69,8 %), les habitats artificiels (AI=53,1 %), la biocénose Coralligène (AI=34,8 %) et la biocénose des galets infralittoraux (AI=65,3 %) sont les plus fragmentés (AI<90 %) ce qui s'explique surtout par leur faible représentativité dans le paysage. Les habitats matte morte et fonds meubles circalittoraux ont des AI respectifs de 90,81 % et 98,4 %, ce qui sous-entend une compacité des pixels forte et donc un taux de recouvrement élevé.

Indice de diversité de Simpson

FRDC07g - Cap Cepet - Cap de Carqueiranne



Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 50 m

Faible

Elevée

N
W E
S

0 1 2 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de Simpson : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

L'herbier occupe une faible proportion du paysage entre 0 et 40 mètres de fond (11,41 %) liée à la grande rade de Toulon dont la majeure partie est constituée de fonds meubles. Ce taux de recouvrement est faible par rapport à la proportion moyenne relevée sur l'ensemble des masses d'eau en région SUD (36,88 %). En enlevant la surface de la grande rade de Toulon cartographiée en fonds meubles au périmètre de la masse d'eau on constate que l'herbier couvre alors 20 % de la masse d'eau.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières de la région Sud, l'herbier de posidonie de la masse d'eau FRDC07g se caractérise par un nombre moyen de tâches (37,18 taches/100ha), de petite taille (0,31ha) et très proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux tâches les plus proches est de 11,16 mètres entre 0 et 40 mètres). L'indice d'agrégation entre les tâches (84,4 %) et l'indice de fragmentation (DIVISION=1) indiquent une fragmentation assez forte de l'habitat en comparaison avec les autres masses d'eau côtières.

L'indice de régression de l'herbier pour la masse d'eau FRDC07g correspond à la valeur maximale pour la région (0,59). Le pourcentage du paysage compris par la plus grande tache d'herbier est de 5,17 %, une valeur plutôt très faible comparativement aux autres valeurs pour la région et qui explique d'autant plus la valeur élevée de l'indice de fragmentation de cet habitat. Cela s'explique également par une surface de matte morte entre 0 et 40 mètres assez conséquente (447 ha) par rapport à celle de l'herbier de posidonie (314 ha) notamment dû à une pression d'ancrage des navires très élevée.

Tableau 12 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07g.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07g	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	11.41	1.79 – 0 – 36.88 – 77.82
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	37.18	1.67 – 0 – 42.35 – 141.69
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	5.17	0.61 – 0 – 28.87 – 77.49
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.31	0.15 – 0 – 1.19 – 3.71
Indice de complexité des formes	1.06	1.05 – 0 – 1.07 – 1.13
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	11.16	7.49 – 0 – 23.84 – 94.76
Indice de fragmentation de l'herbier	1	0.4 – 0.87 – 1 – 0
Indice d'agrégation entre les taches (%)	84.4	76.73 – 0 – 87.94 – 97.25
Indice de régression de l'herbier	0.59	0.01 – 0.18 – 0.59 – 0

Sept zones de matte morte correspondant à des impacts de bombes dans l'herbier ont été nouvellement cartographiées en face du port des Oursinières et du Cap de Carqueiranne. On peut observer dans plusieurs d'entre elles des taches d'herbier circulaires traduisant une recolonisation en patchs de l'herbier dans ces zones fortement dégradées (voir ci-dessous).

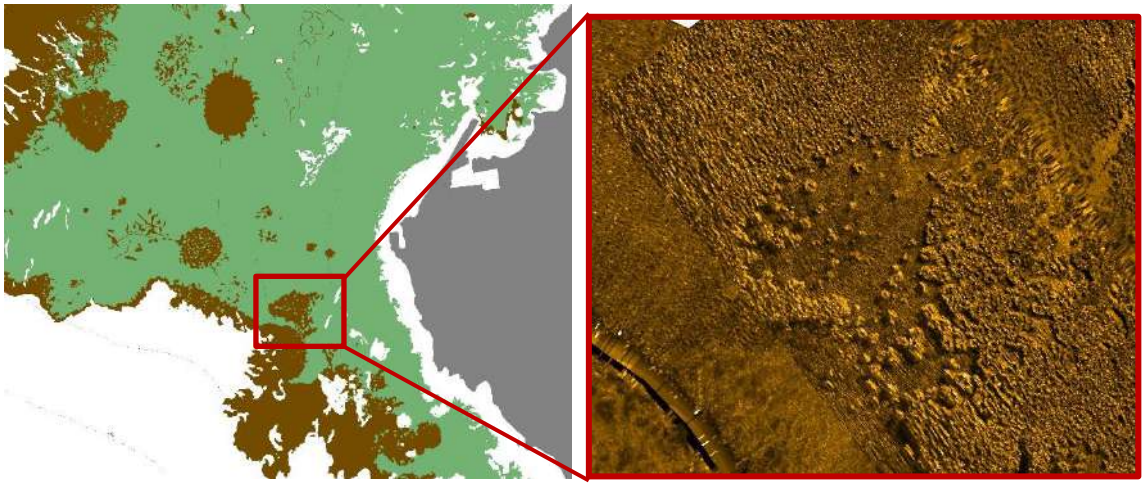


Figure 26 : Cartographie de l'herbier de posidonie et de la matte morte associée en face du Port des Oursinières. A droite, une image sonar d'un des impacts de bombes recensés dans ce secteur. On y observe des patchs d'herbier circulaires, signe d'une recolonisation déjà engagée de la zone dégradée.

À la suite de la comparaison des données sonar de 2009 et 2020, aucune évolution notable n'a été remarquée au niveau des surfaces et des limites de l'herbier de Posidonie à l'Est de la rade de Toulon, en face de la commune du Pradet. La réelle évolution est celle de la cartographie en elle-même. Les nouvelles méthodes d'acquisition de données sonar ayant évolué en plus de dix ans, une meilleure précision a pu être atteinte lors de l'actualisation de la cartographie des biocénoses marines dans ce secteur. L'échelle de précision cartographique a été augmentée (1/10 000 au lieu de 1/15 000) et plus d'observations en plongée tractée ont été réalisées permettant ainsi une délimitation plus précise des biocénoses. De ce fait, certaines zones de matte morte ou de sable ont été recalées, des zones de reprise d'herbier ont pu être cartographiées, certaines limites d'herbier ont pu être affinées. Ci-dessous quelques extraits de l'ancienne et de la nouvelle cartographie des biocénoses marines :

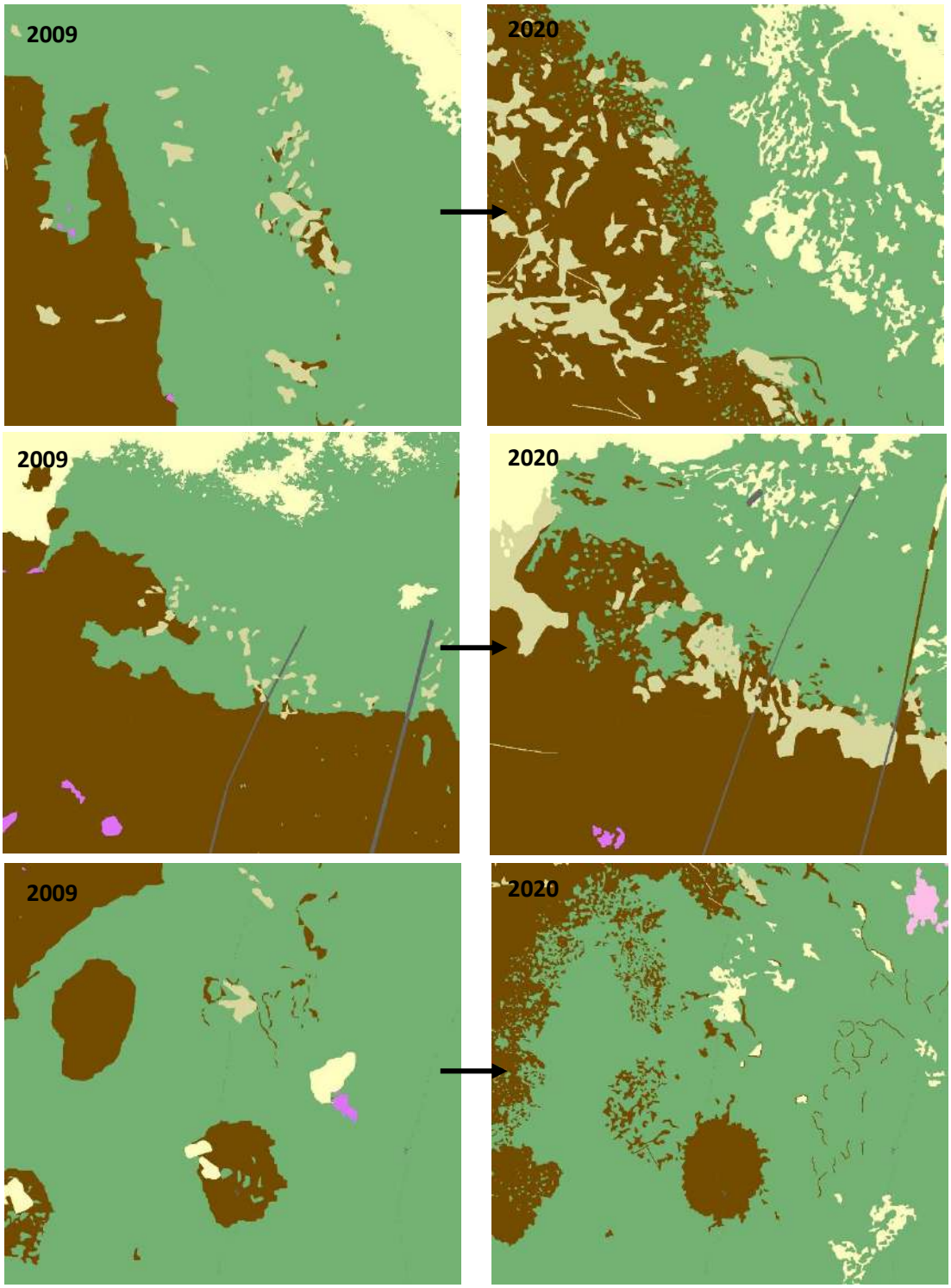
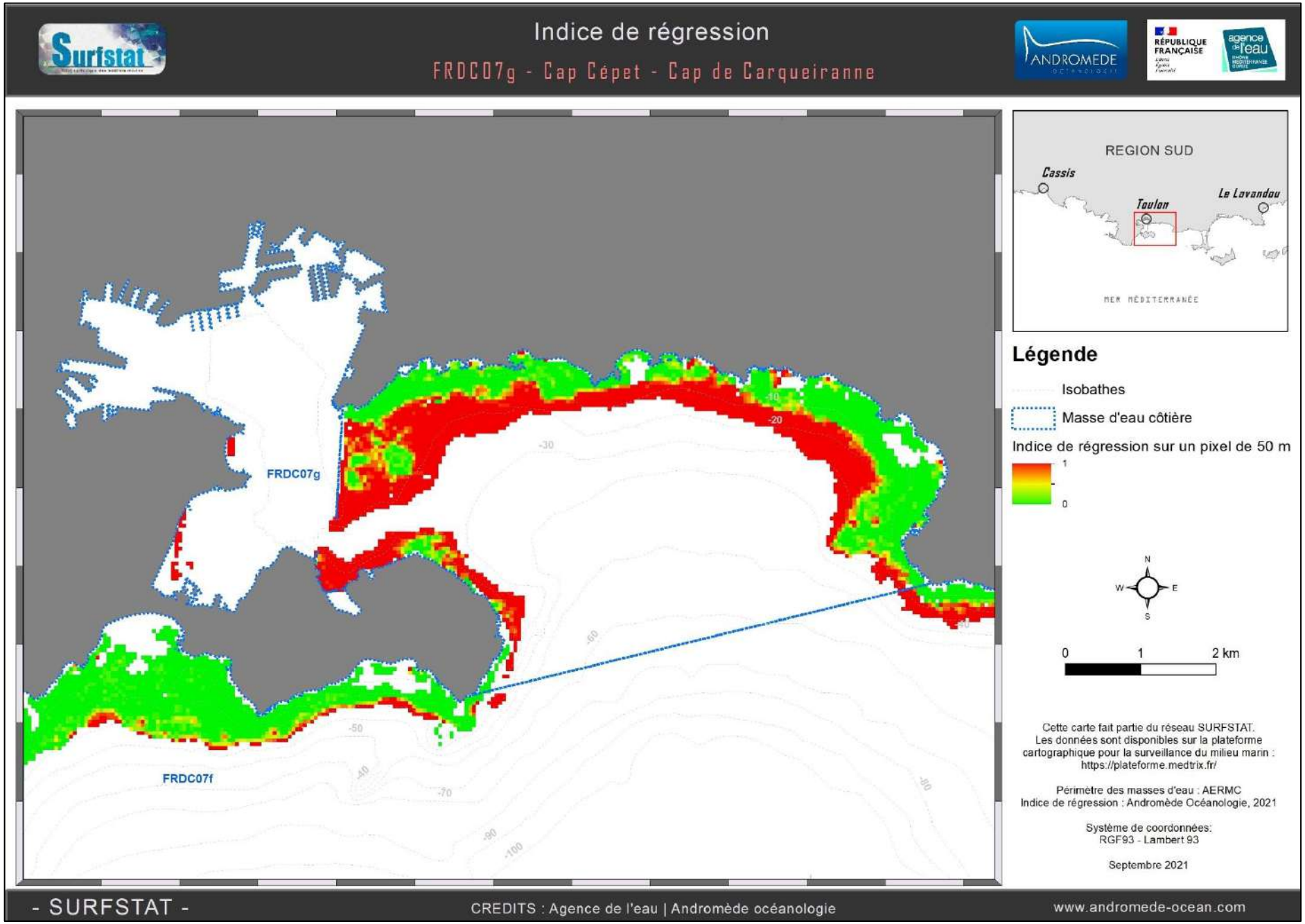
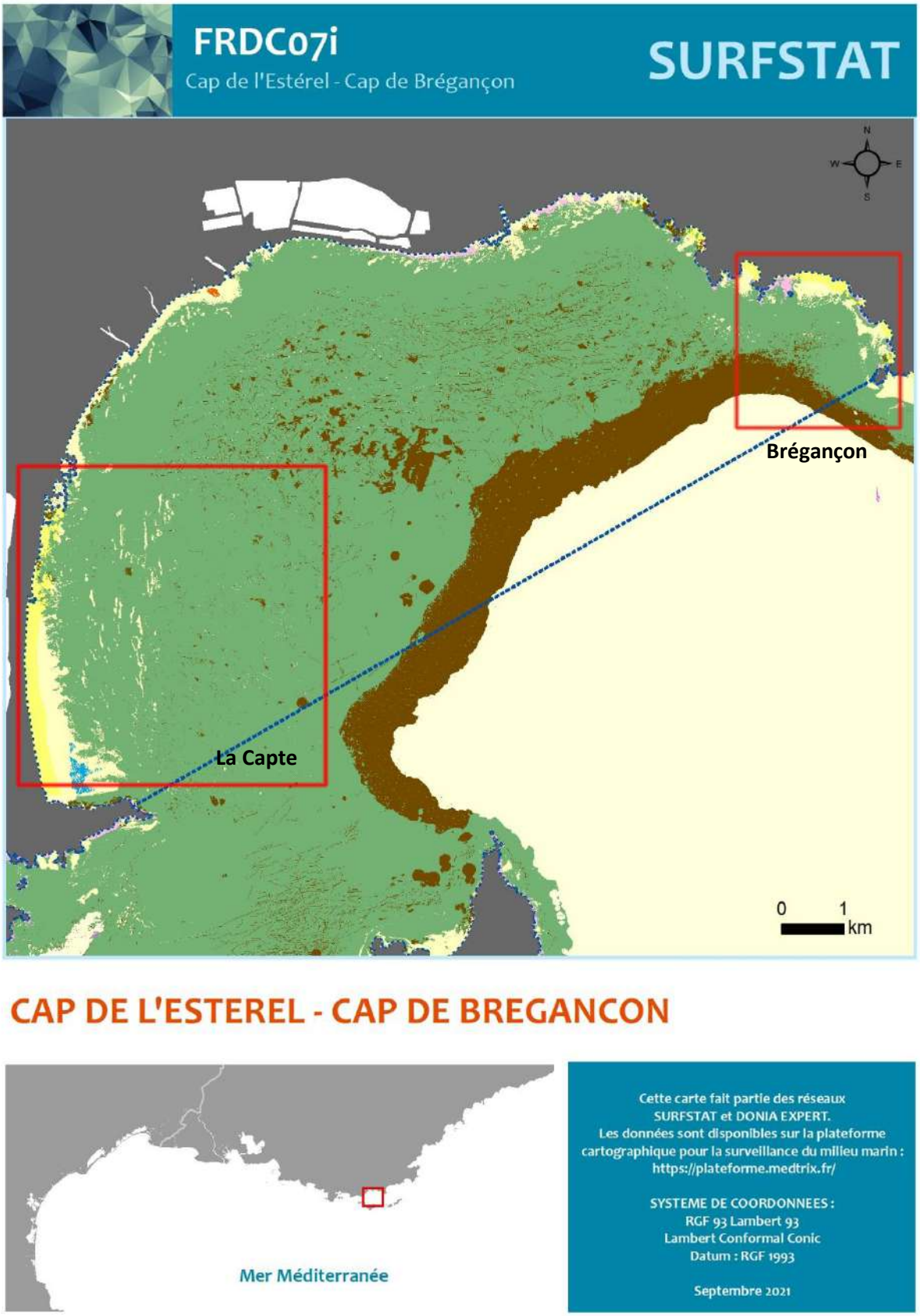


Figure 27 : Comparaison entre l'ancienne (2009) et la nouvelle (2020) cartographie des habitats marins dans le secteur du Pradet (vert : herbier ; marron : matte morte ; jaune/beige : sable ; rose : roche ; gris : émissaires en mer).


Indice de régression
FRDC07g - Cap Cépet - Cap de Carqueiranne
FRDC07g
FRDC07f
-10
-20
-30
-50
-60
-70
-80
-90
-100
REGION SUD
Cassis
Toulon
Le Lavandou
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Masse d'eau côtière
Indice de régression sur un pixel de 50 m
1
0
N
W
E
S
0
1
2 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/
Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de régression : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

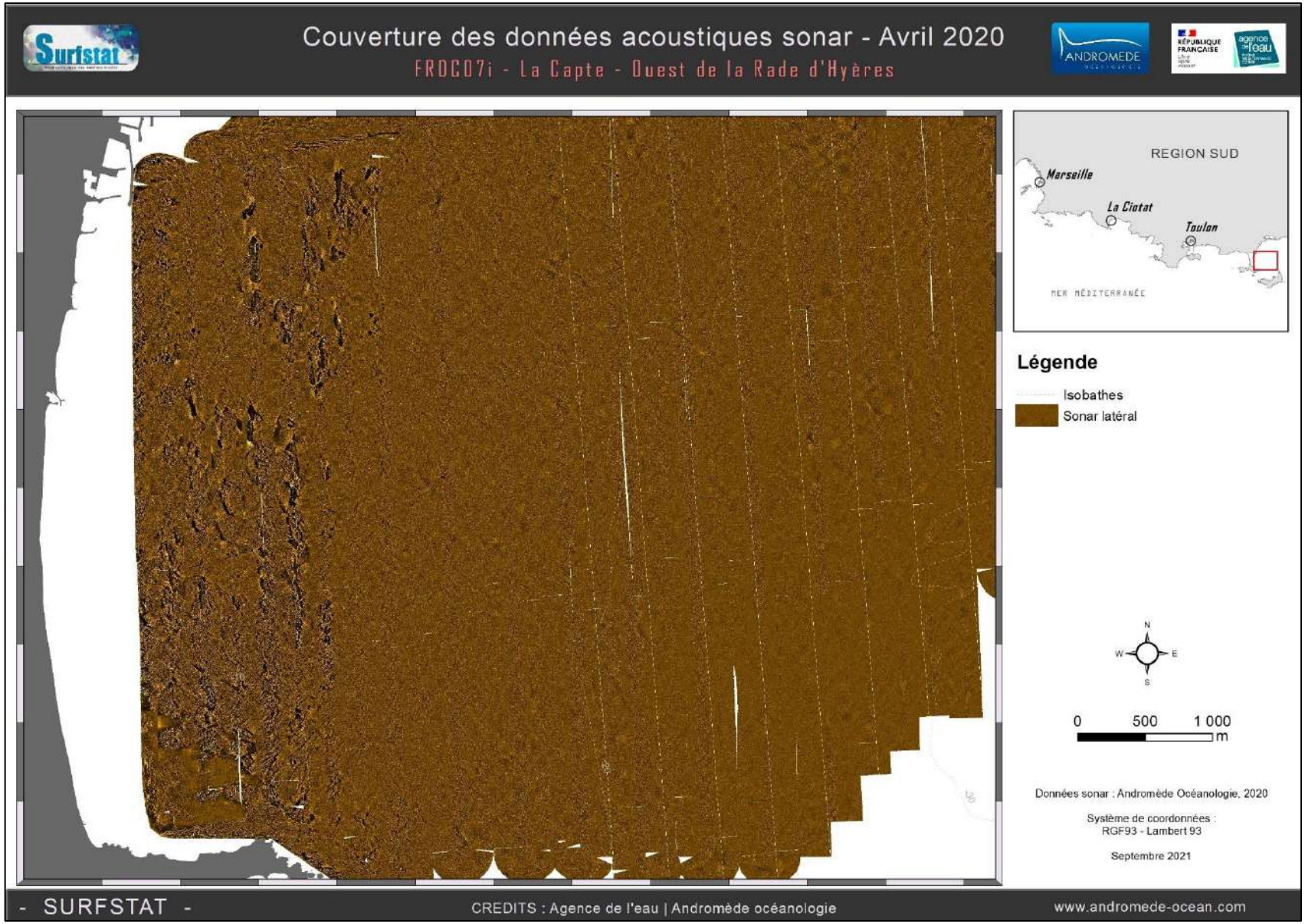
III.5. Masse d'eau FRDC07i : La Capte et Brégançon

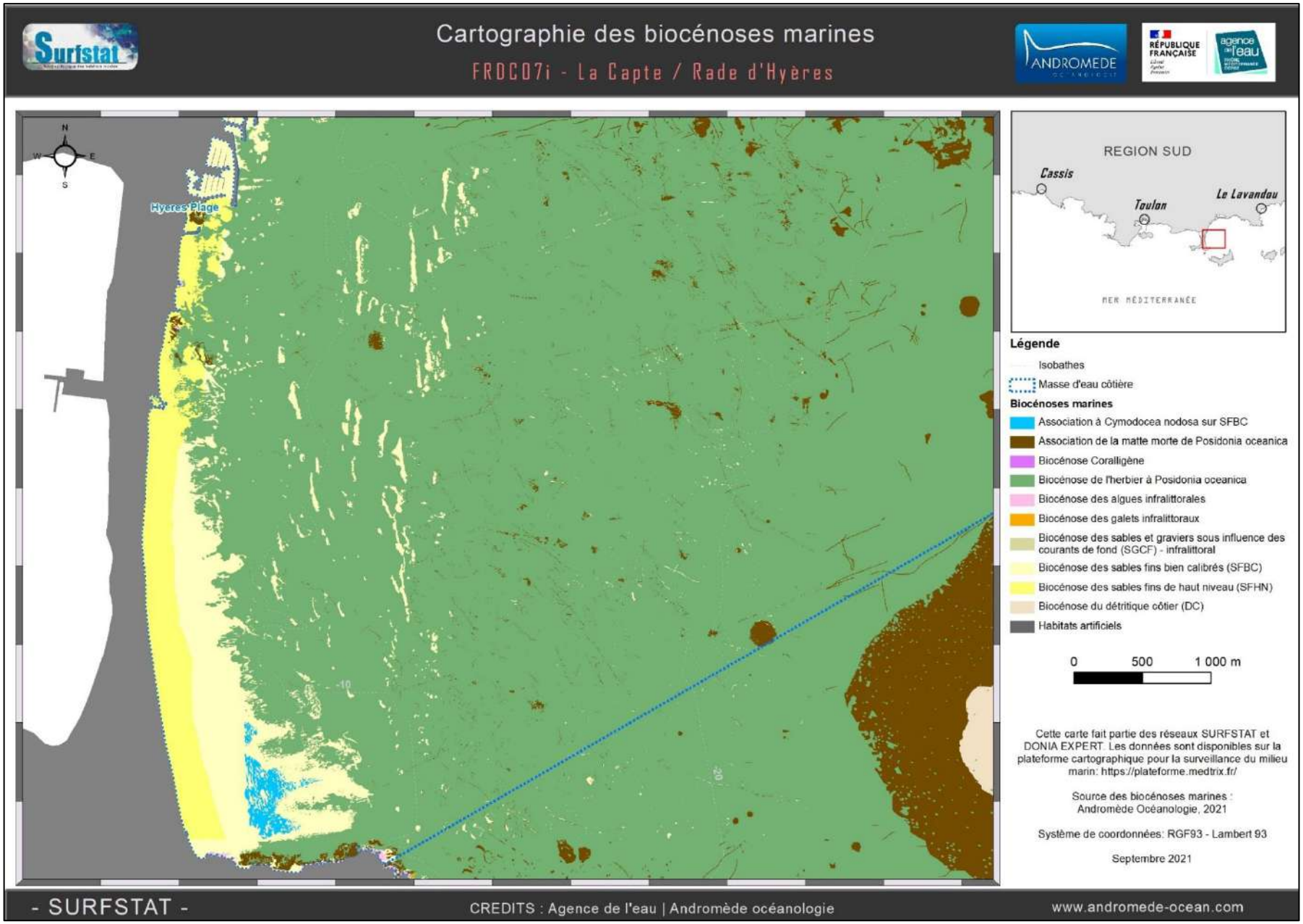


III.5.1. La Capte

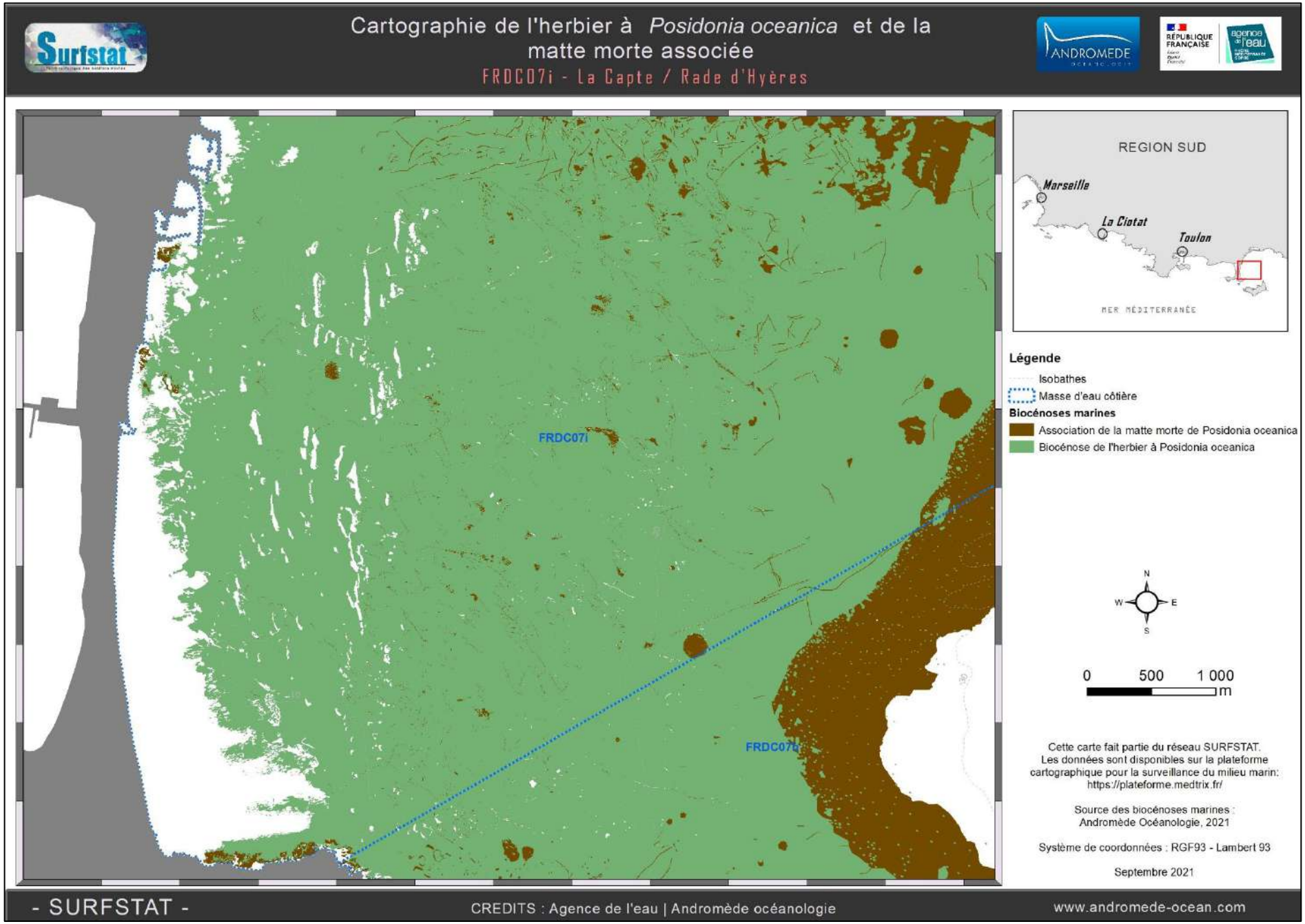
Sonar latéral

Au total, **2000 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses dans le secteur de La Capte. Aucune observation en plongée tractée n'a été faite dans le secteur ciblé pour cette étude (zone de mouillage entre le port d'Hyères et le Cap de l'Estérel) du fait de la haute qualité des levés sonar.





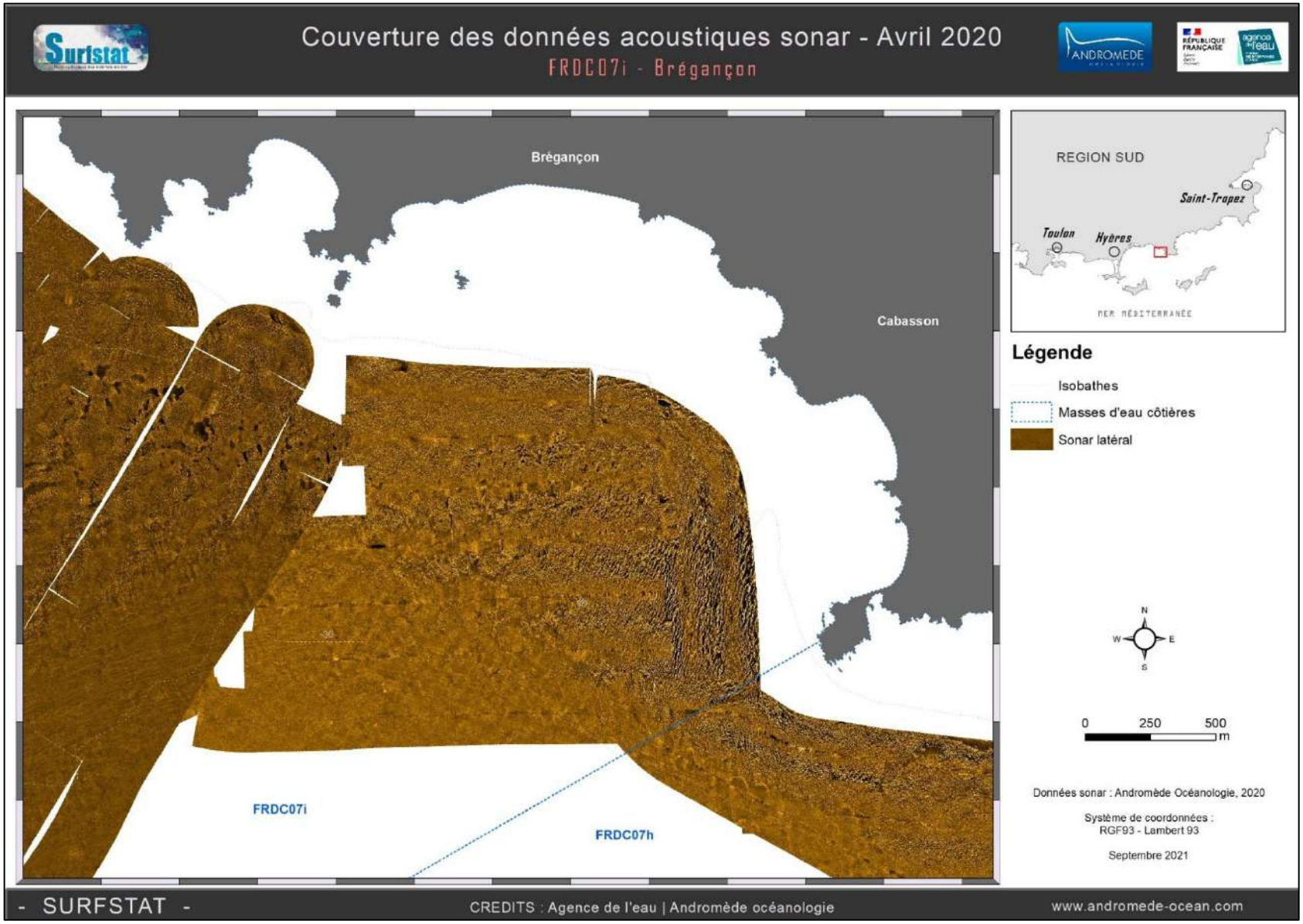
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée
FRDC07i - La Capte / Rade d'Hyères
REGION SUD
Marseille
La Ciotat
Toulon
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Masse d'eau côtière
Biocénoses marines
Association de la matte morte de Posidonia oceanica
Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
FRDC07i
FRDC07j
N
W
E
S
0
500
1 000
m
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/
Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

III.5.2. Brégançon

Sonar latéral

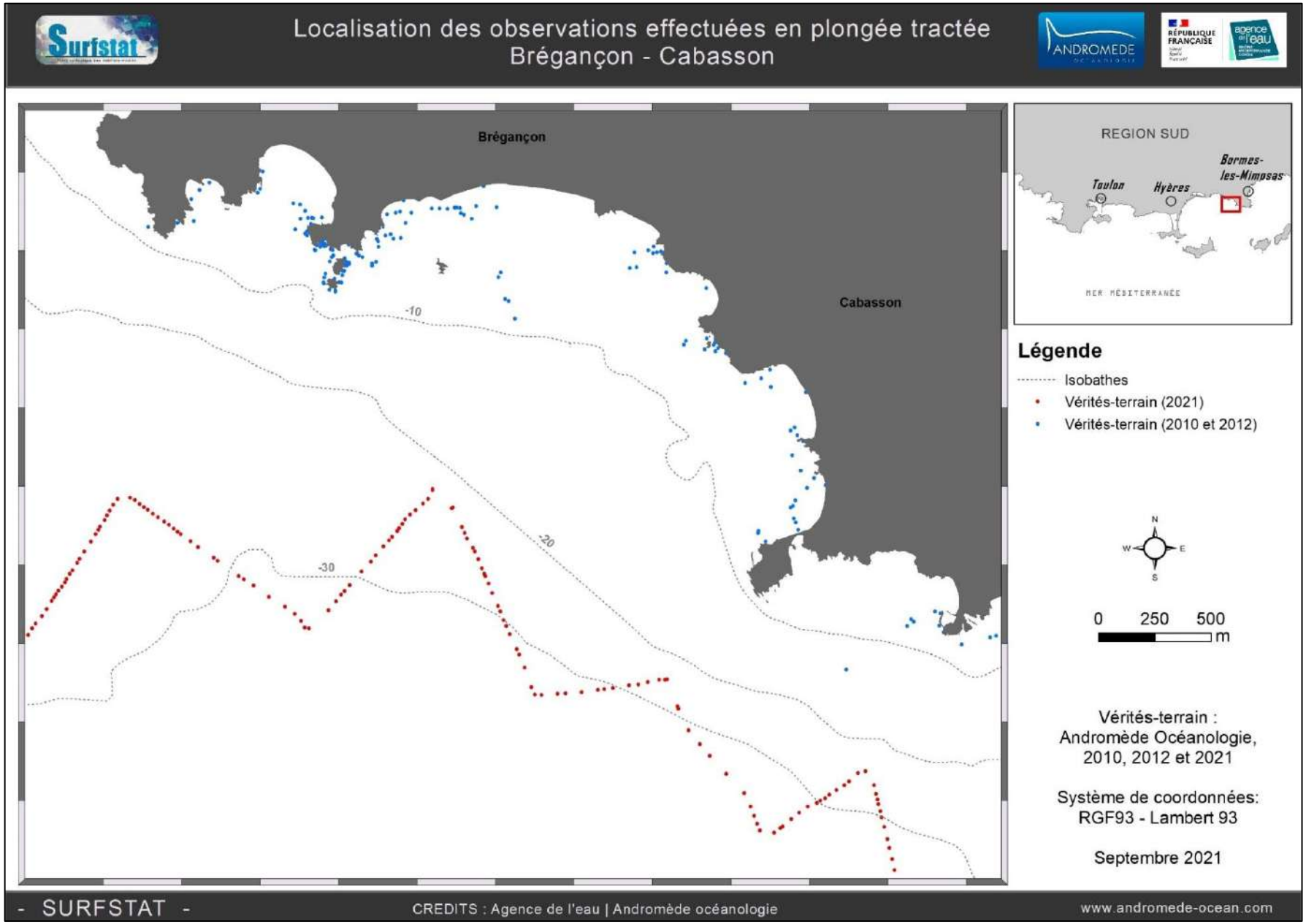
Au total, **260 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses en face de Cabasson et Brégançon.



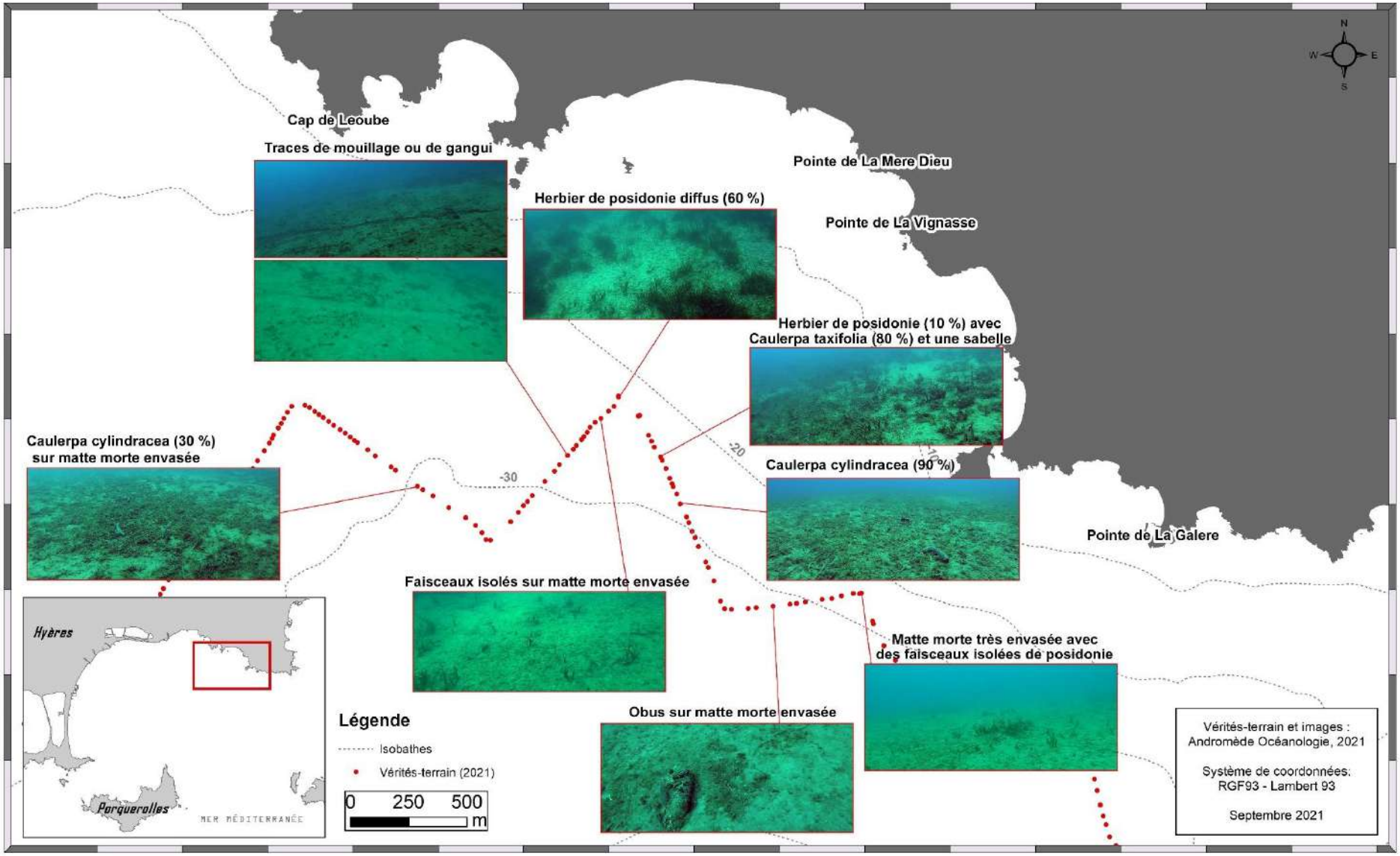
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

Vérités-terrain

Près de **110 observations** ont été faites en plongée tractée en 2021 au large de Brégançon pour la validation de la cartographie des biocénoses (points rouges dans la carte ci-dessous).

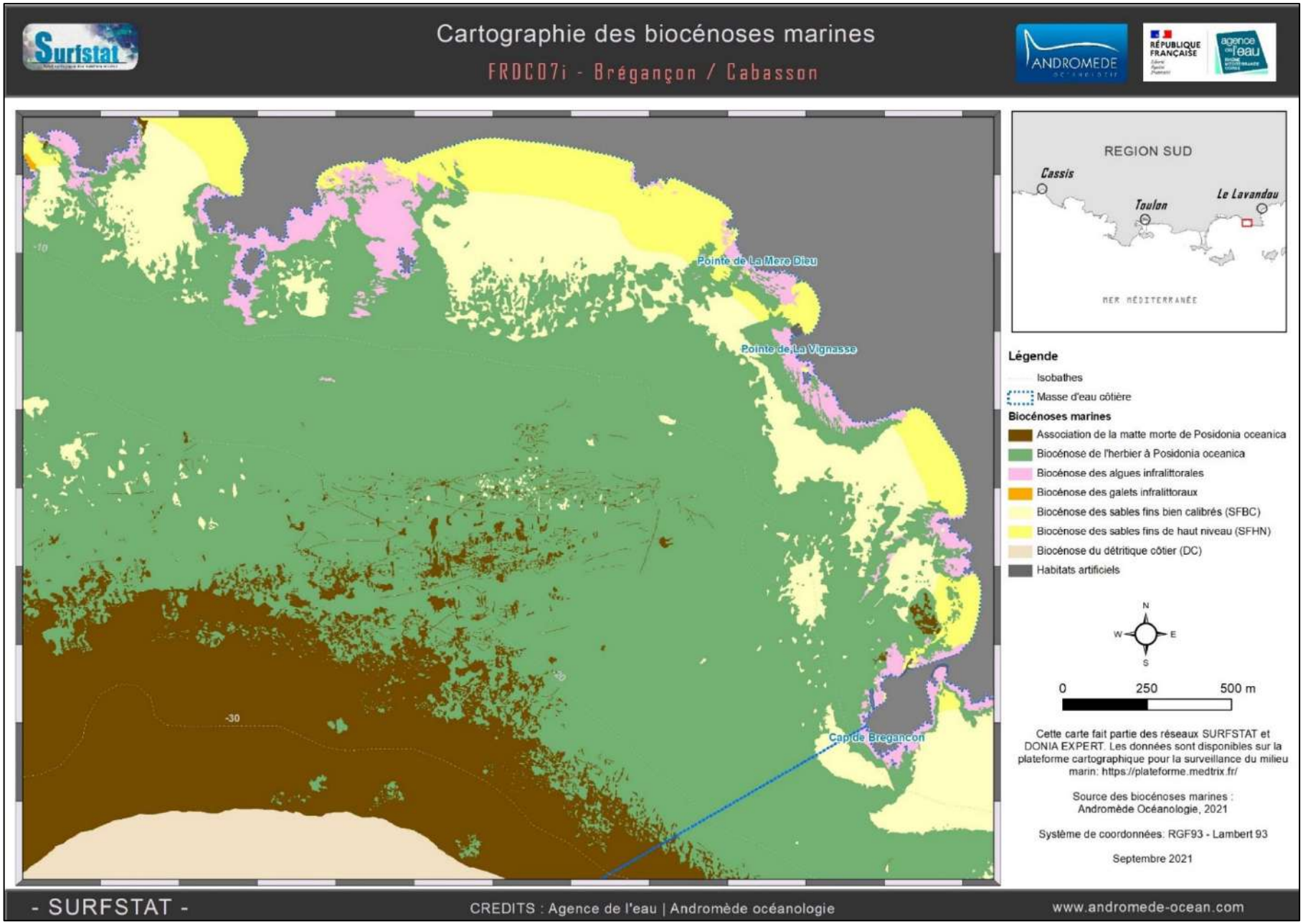


Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Brégançon



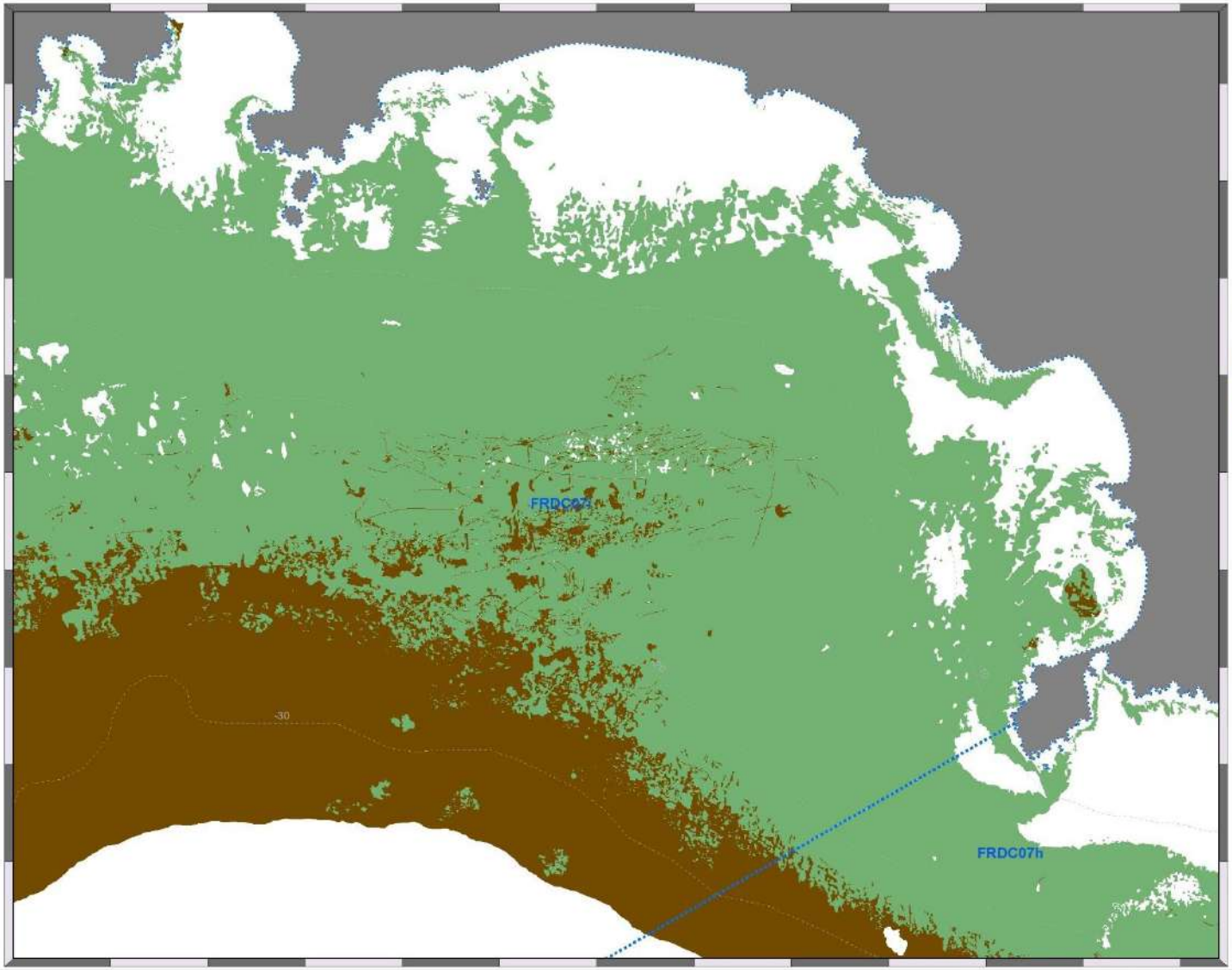
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

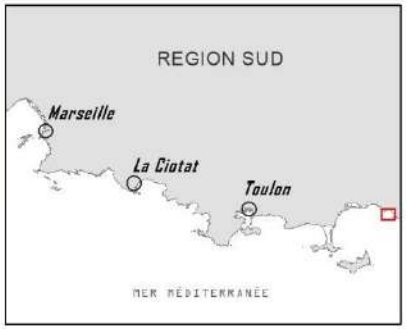
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Cartographie des biocénoses marines
FRDC07i - Brégançon / Cabasson
Surfstat
ANDROMEDE
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
agence de l'eau
Pointe de La Mere Dieu
Pointe de La Vignasse
Cap de Bregancon
-10
-30
REGION SUD
Cassis
Toulon
Le Lavandou
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Masse d'eau côtière
Biocénoses marines
Association de la matte morte de Posidonia oceanica
Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
Biocénose des algues infralittorales
Biocénose des galets infralittoraux
Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)
Biocénose des sables fins de haut niveau (SFHN)
Biocénose du détritique côtier (DC)
Habitats artificiels
N
W
E
S
0
250
500 m
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et DONIA EXPERT. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin: https://plateforme.medtrix.fr/
Source des biocénoses marines : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC07i - Brégançon / Cabasson





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Biocénoses marines

Association de la matte morte de Posidonia oceanica

Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 250 500 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

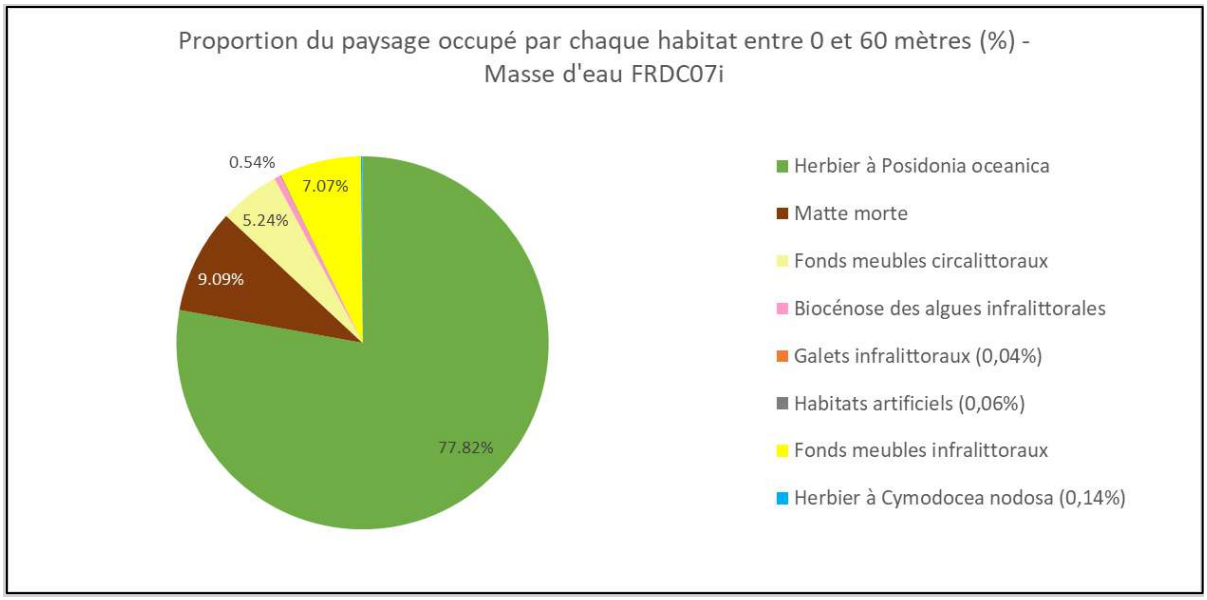
- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.5.3. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC07i « Cap de l'Estérel – Cap de Brégançon » comprend 8 habitats entre 0 et -60 mètres dont le principal (>10 % de recouvrement du paysage) est la biocénose de l'herbier à posidonie (77,82 %). Les trois quarts (77,5 %) du paysage sont dominés par une tâche unique d'herbier à posidonie.

Cette masse d'eau présente une **faible diversité paysagère**. En comparaison avec les autres masses d'eau, la valeur de l'indice de Simpson (0,48) est très en dessous de la moyenne méditerranéenne. Cet indice est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte suivante. La densité d'habitats dans le paysage est très faible (0,1 habitats/100ha).

Entre 0 et -60 mètres, quatre habitats recouvrent moins de 1 % du paysage. Ainsi, les algues infralittorales, les habitats artificiels, les herbiers à Cymodocées, les galets infralittoraux présentent une faible agrégation entre les taches (AI<80 %).

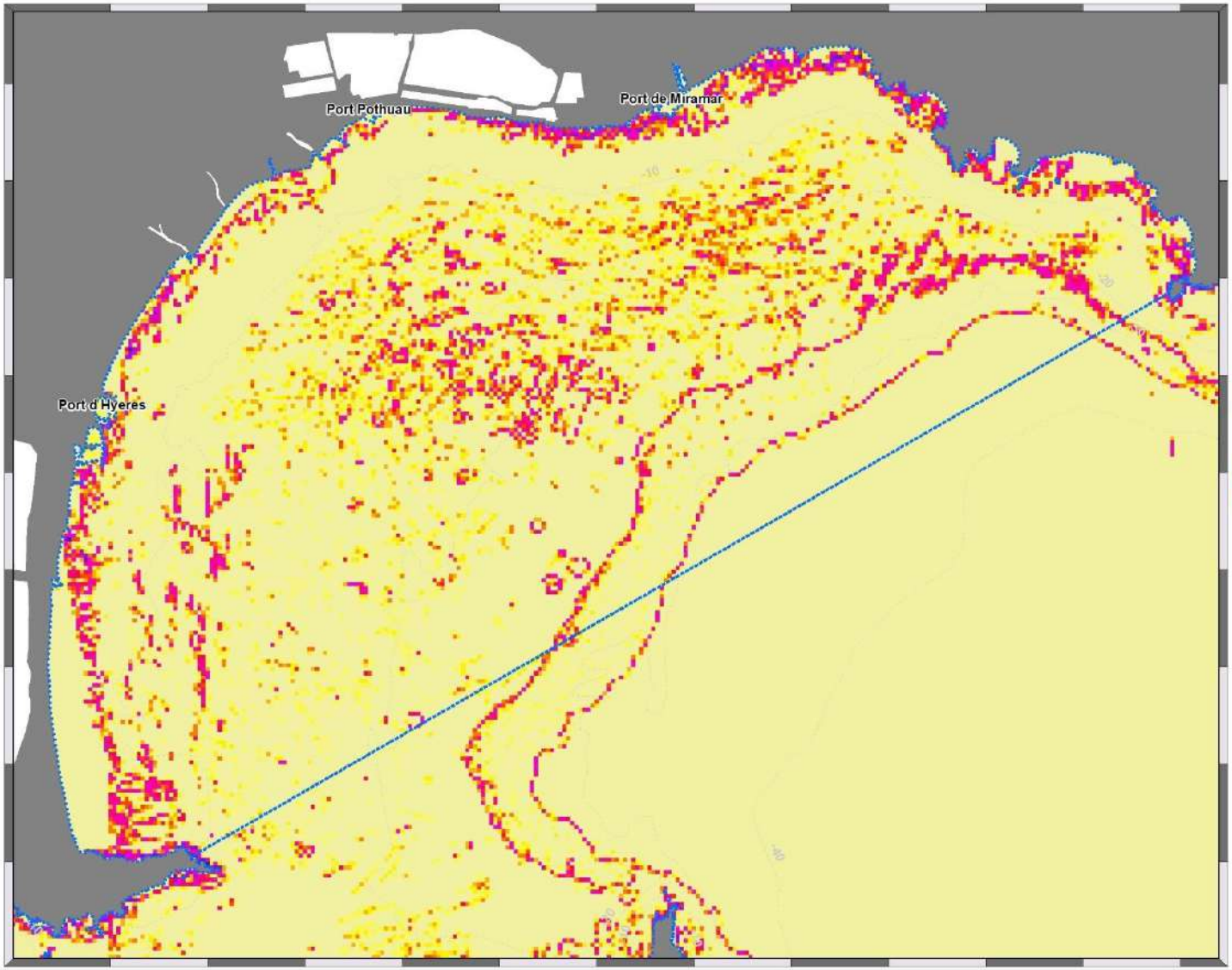
Les fonds meubles circalittoraux et l'herbier à posidonie ont un indice d'agrégation supérieur à 95 %. Malgré son taux de recouvrement élevé, les tâches de l'association de la matte morte de posidonie sont légèrement fragmentées (AI<90 %).

Tableau 13 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07i.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07i	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	7721.14	86.85 – 0 – 4008.79 – 16846.79
Nombre d'habitats dans le paysage	8	7 – 0 – 8.4 – 10
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	121.68	12.8 – 0 – 162.81 – 548.39
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	77.49	25.7 – 51.37 – 78.51 – 0
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.1	0.05 – 0 – 0.92 – 8.06
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.48	0.44 – 0 – 0.66 – 0.84

Indice de diversité de Simpson

FRDC07i - Cap de l'Estérel - Cap de Brégançon



Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 50 m

Faible

Elevée

N
W
E
S

0 1 2 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de Simpson : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

L'herbier occupe 77,82 % du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce **taux de recouvrement de l'herbier est très fort** : c'est la proportion maximale relevée sur l'ensemble des masses d'eau en région Sud. On le rencontre de manière continue dans toute la rade d'Hyères. Cet important recouvrement s'explique en grande partie par la faible extension bathymétrique (environ -40 mètres) de la masse d'eau.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtière de la région, l'herbier de posidonie de la masse d'eau FRDC07i se caractérise par un **nombre faible de taches** (21 taches/100ha), **très agrégées entre elles** (AI = 97,25 %, valeur maximale relevée sur l'ensemble des masses d'eau, et DIVISION = 0,4, valeur minimale pour la région), **de taille importante** (3,71 ha) et moyennement proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux tâches les plus proches est de 21,6 mètres entre 0 et 40 mètres). On note la **présence d'une tâche unique couvrant 77,5 % du paysage**. Tous ces éléments indiquent une **formation très continue de l'herbier** sur la masse d'eau.

A noter que l'association de la matte morte de posidonie est l'habitat qui comprend le nombre le plus élevé de tâches entre 0 et 40 mètres (5606 polygones), et qu'elles sont légèrement agrégées entre elles (AI=86,6 %). Ceci confirme la présence de très **nombreuses traces d'origine anthropique (mouillage et arts traînants, impacts de bombes)** dans la rade d'Hyères.

Tableau 14 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07i.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07i	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	77.82	1.79 – 36.88 – 77.82
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	20.98	1.67 – 42.35 – 141.69
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	77.49	0.61 – 28.87 – 77.49
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	3.71	0.15 – 1.19 – 3.71
Indice de complexité des formes	1.07	1.05 – 1.07 – 1.13
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	21.6	7.49 – 23.84 – 94.76
Indice de fragmentation de l'herbier	0.4	0.4 – 0.87 – 1
Indice d'agrégation entre les taches (%)	97.25	76.73 – 87.94 – 97.25
Indice de régression de l'herbier	0.1	0.01 – 0.18 – 0.59

En face de Brégançon, à l'est de la rade d'Hyères, de **nouvelles traces de mouillage ainsi qu'une limite inférieure d'herbier très fragmentée et régressive** ont pu être cartographiées, montrant ainsi que ce secteur est particulièrement touché par la pression d'ancrage (figure page suivante).

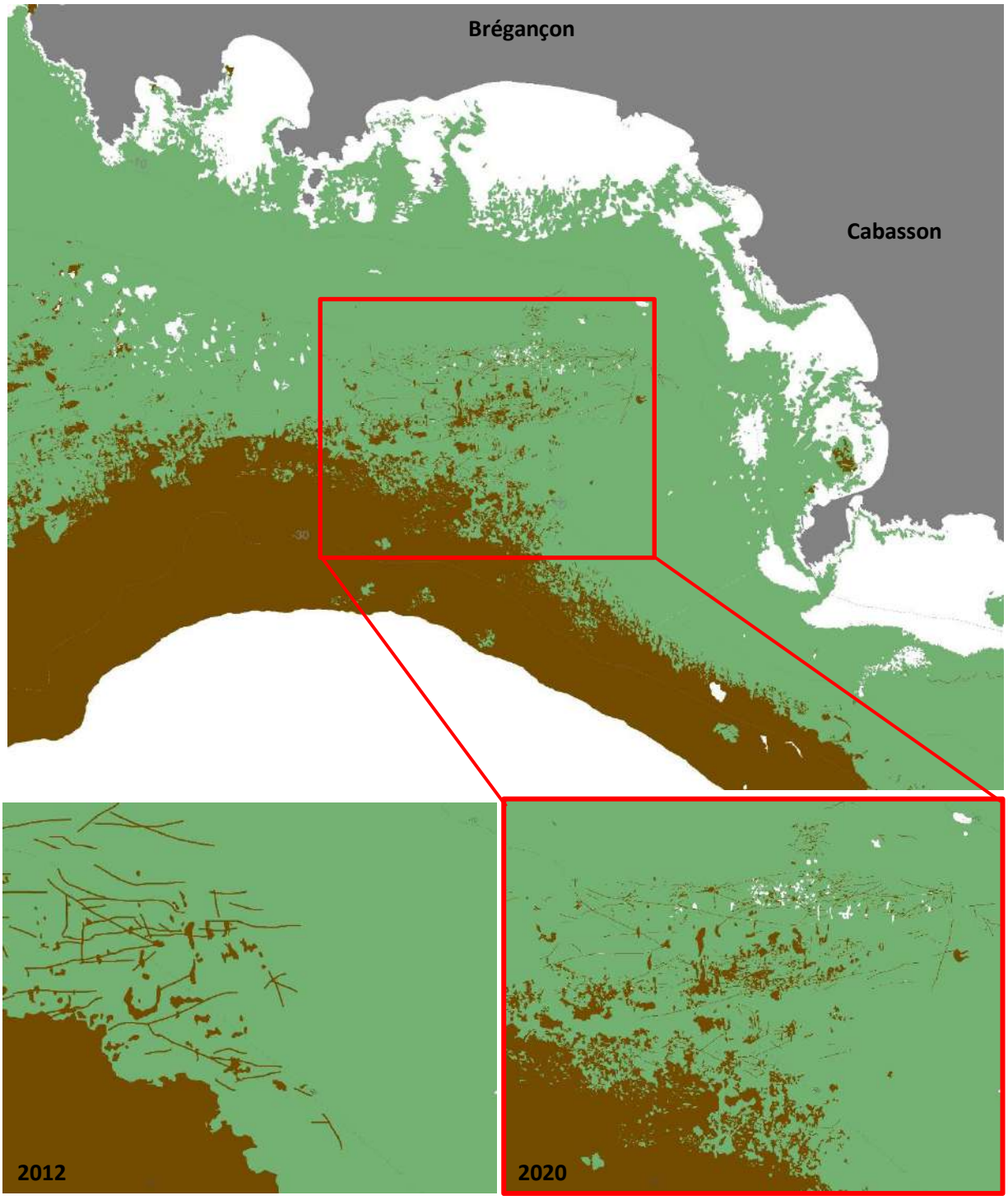


Figure 28 : Comparaison des cartographies de la profondeur intermédiaire et de la limite inférieure d'herbier de posidonie (en vert) en face de Brégançon dans la rade d'Hyères.

Pour le secteur de la rade d'Hyères, **la création d'une carte d'évolution des surfaces d'herbier n'a pu être possible**. Même si la zone prospectée au sonar en 2010 est comparable à celle de 2020**, les méthodes d'acquisition sont sensiblement différentes** : logiciels de traitement des bandes sonar, qualité des données sonar de 2010 (échelle cartographique au 1/25 000 au lieu de 1/10 000 pour cette étude ; trajectoires du bateau créant un décalage entre les bandes ; grand effort d'échantillonnage en plongée tractée en 2021). Sur certains secteurs, la limite inférieure d'herbier est très diffuse et difficile à interpréter à partir des données sonar de CARTHAM ; aucune comparaison précise n'a donc pu être faite. **Cependant, de nombreuses zones de sable et de matte morte dans l'herbier ont pu être retrouvées en comparant les données sonar de 2010 et 2020, permettant ainsi d'en déduire que la recolonisation naturelle de l'herbier dans ces deux secteurs de la rade d'Hyères est lente voire quasi-inexistante** (voir images ci-dessous) :

Figure 29 : Extraits des levés sonar de 2010 (à gauche) et 2020 (à droite) à l'Est de la rade d'Hyères. Les flèches pointent deux traces de mouillage qui se croisent et que l'on retrouve très bien en 2020.

Ci-dessous quelques extraits de l'ancienne et de la nouvelle cartographie des biocénoses marines à l'est de la rade d'Hyères (Brégançon) :

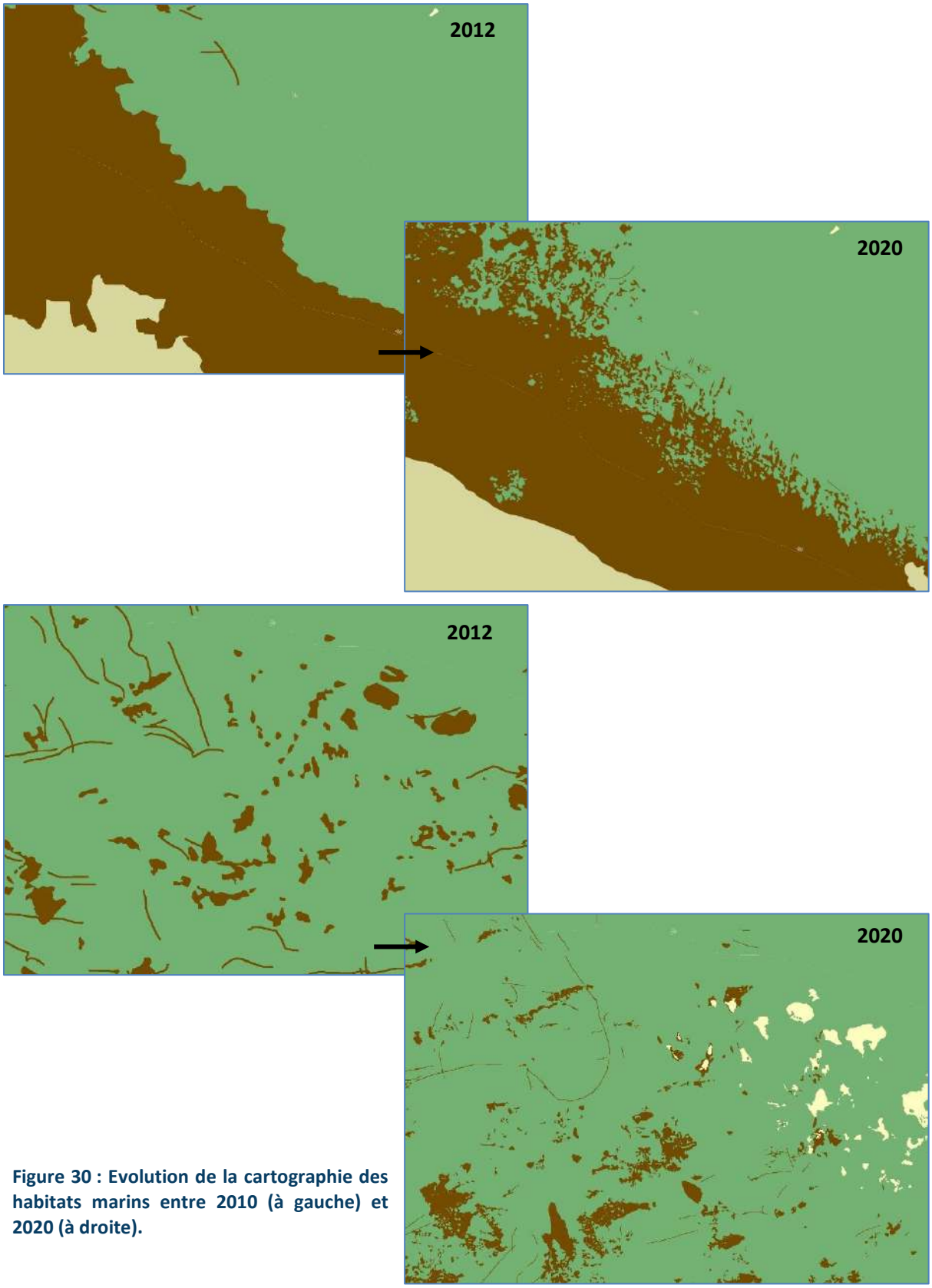
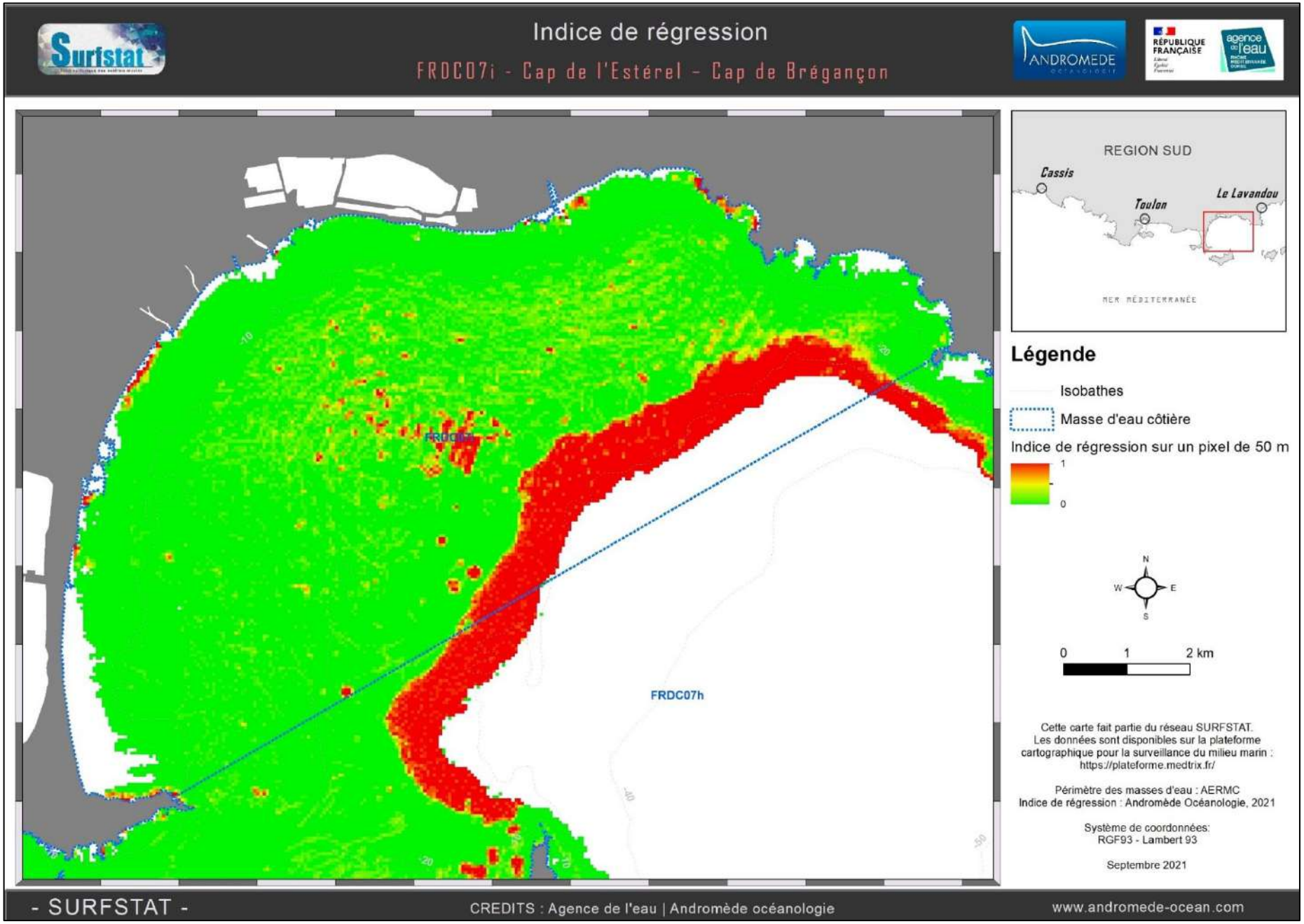
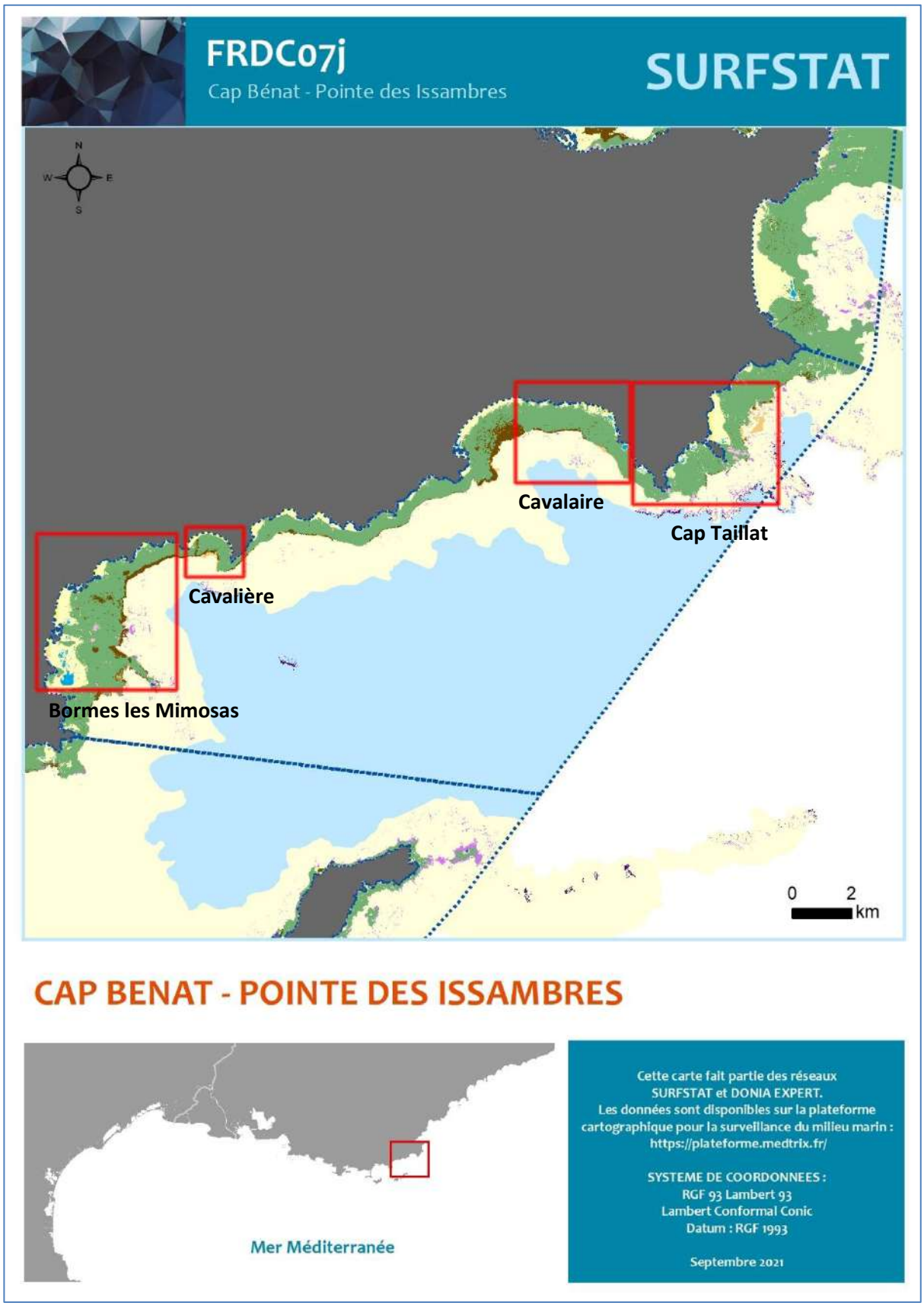


Figure 30 : Evolution de la cartographie des habitats marins entre 2010 (à gauche) et 2020 (à droite).


Indice de régression
FRDC07i - Cap de l'Estérel - Cap de Brégançon
FRDC07h
REGION SUD
Cassis
Toulon
Le Lavandou
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Masse d'eau côtière
Indice de régression sur un pixel de 50 m
1
0
N
W
E
S
0
1
2 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/
Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de régression : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

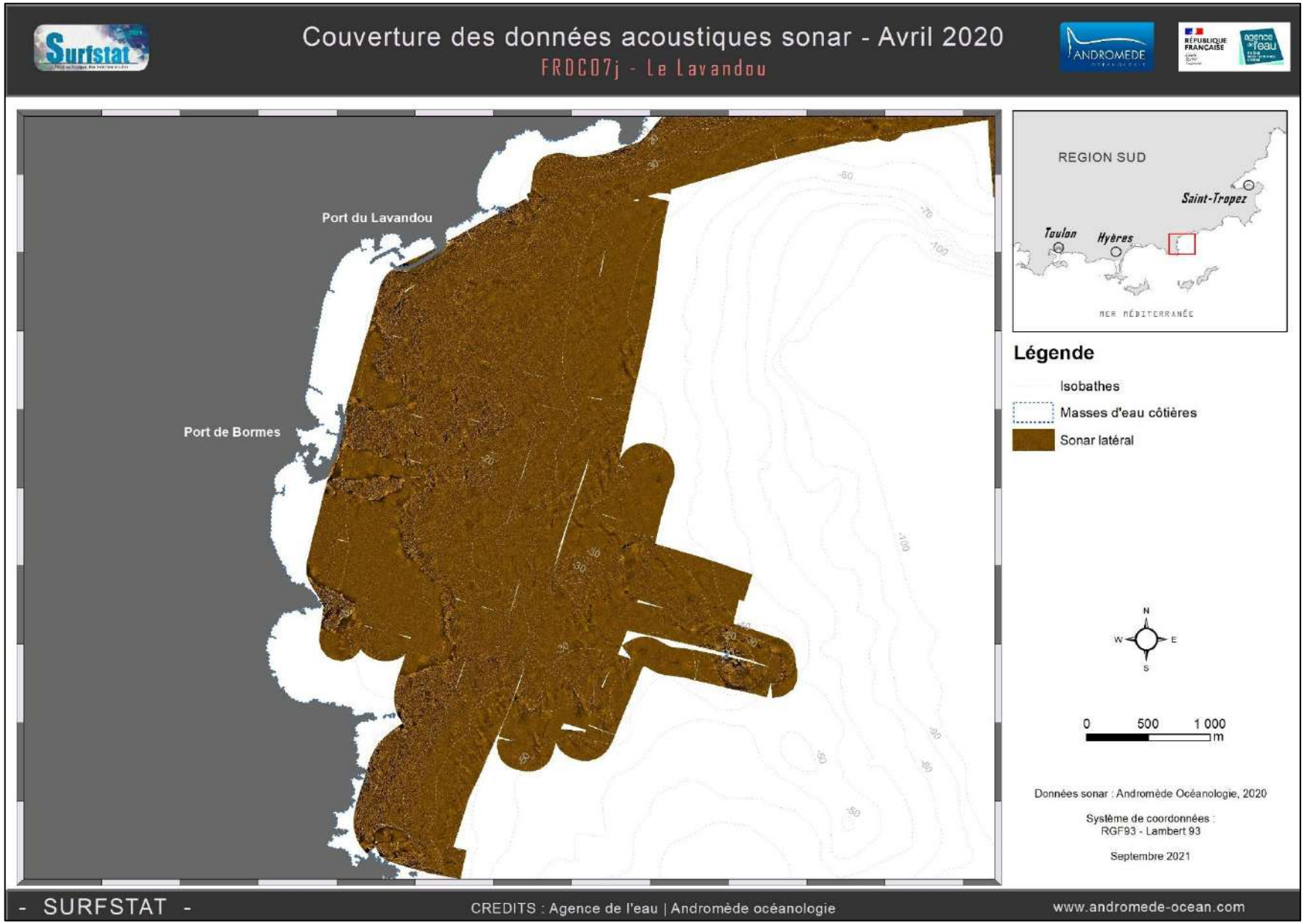
III.6. Masse d'eau FRDC07j : Bormes les Mimosas, Cavalière, Baie de Cavalaire-sur-Mer Est et Cap Taillat



III.6.1. Bormes-les-Mimosas

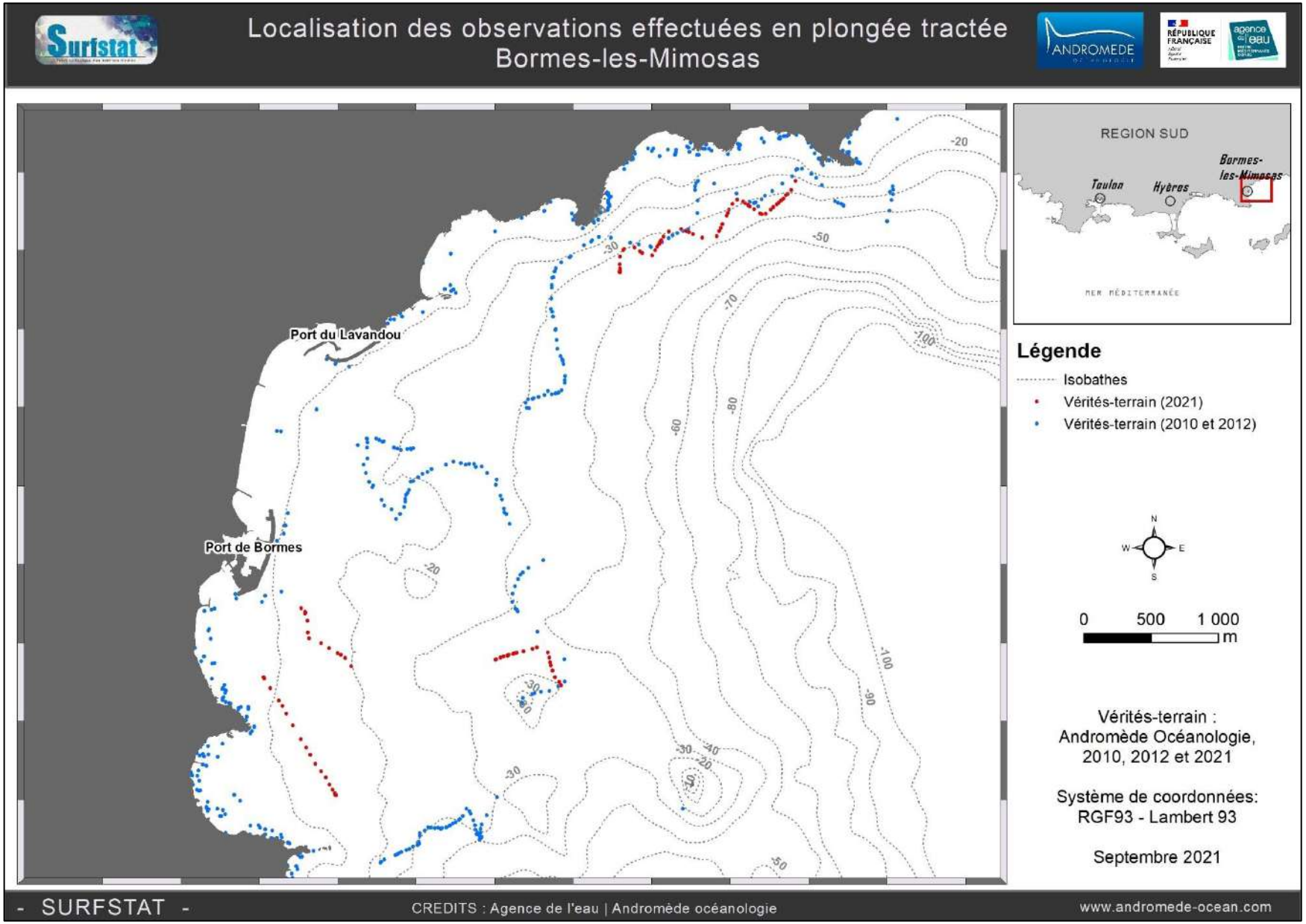
Sonar latéral

Au total, **1055 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses de Bormes les Mimosas.

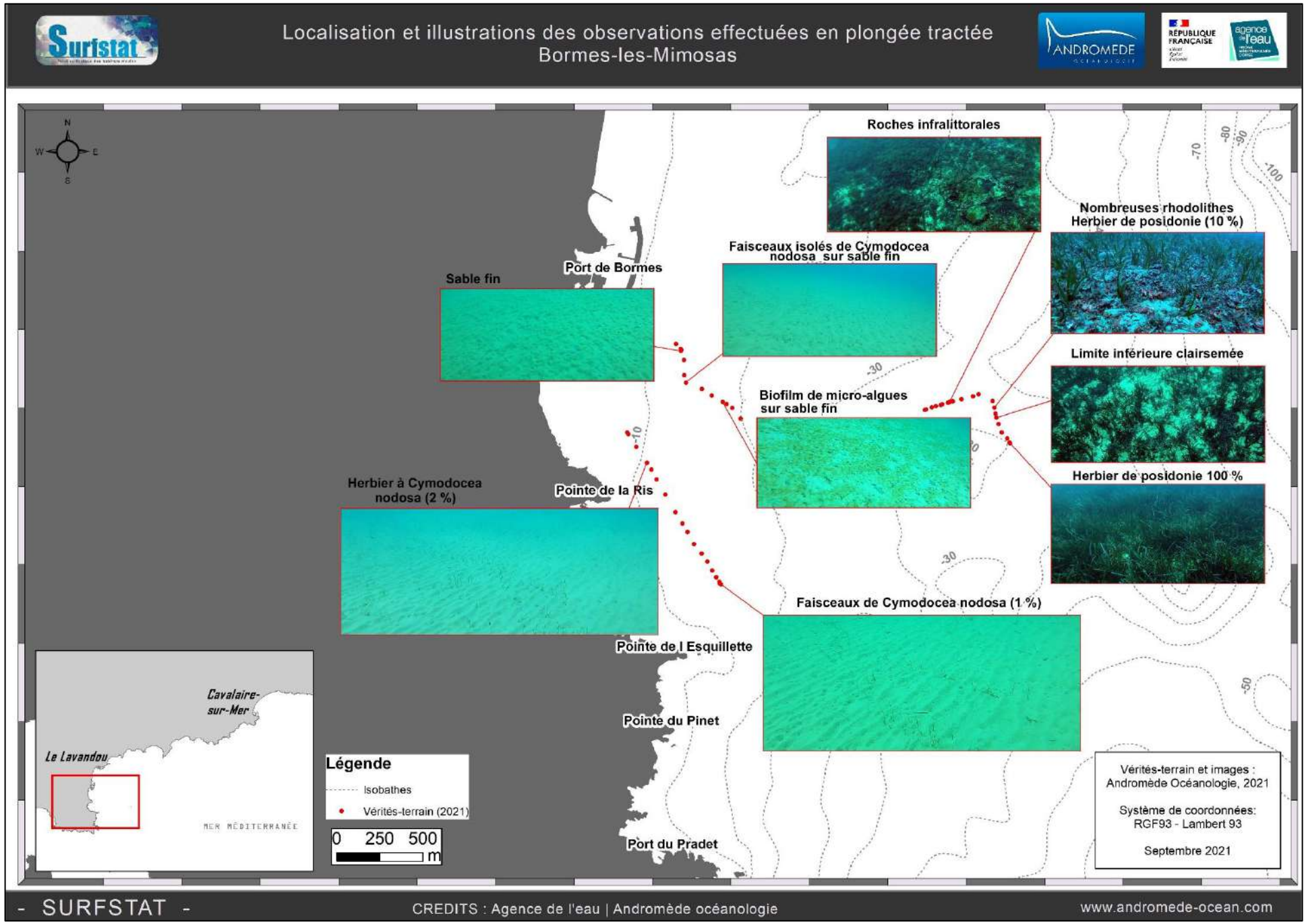


Vérités-terrain : Observations en plongée tractée

Près de **100 observations** ont été faites en plongée tractée en 2021 entre Bormes les Mimosas et la Pointe du Rossignol pour la validation de la cartographie des biocénoses (points rouges sur la carte ci-dessous), qui complètent les vérités terrain existantes réalisées en 2010-2012 (points bleus sur la carte ci-dessous).

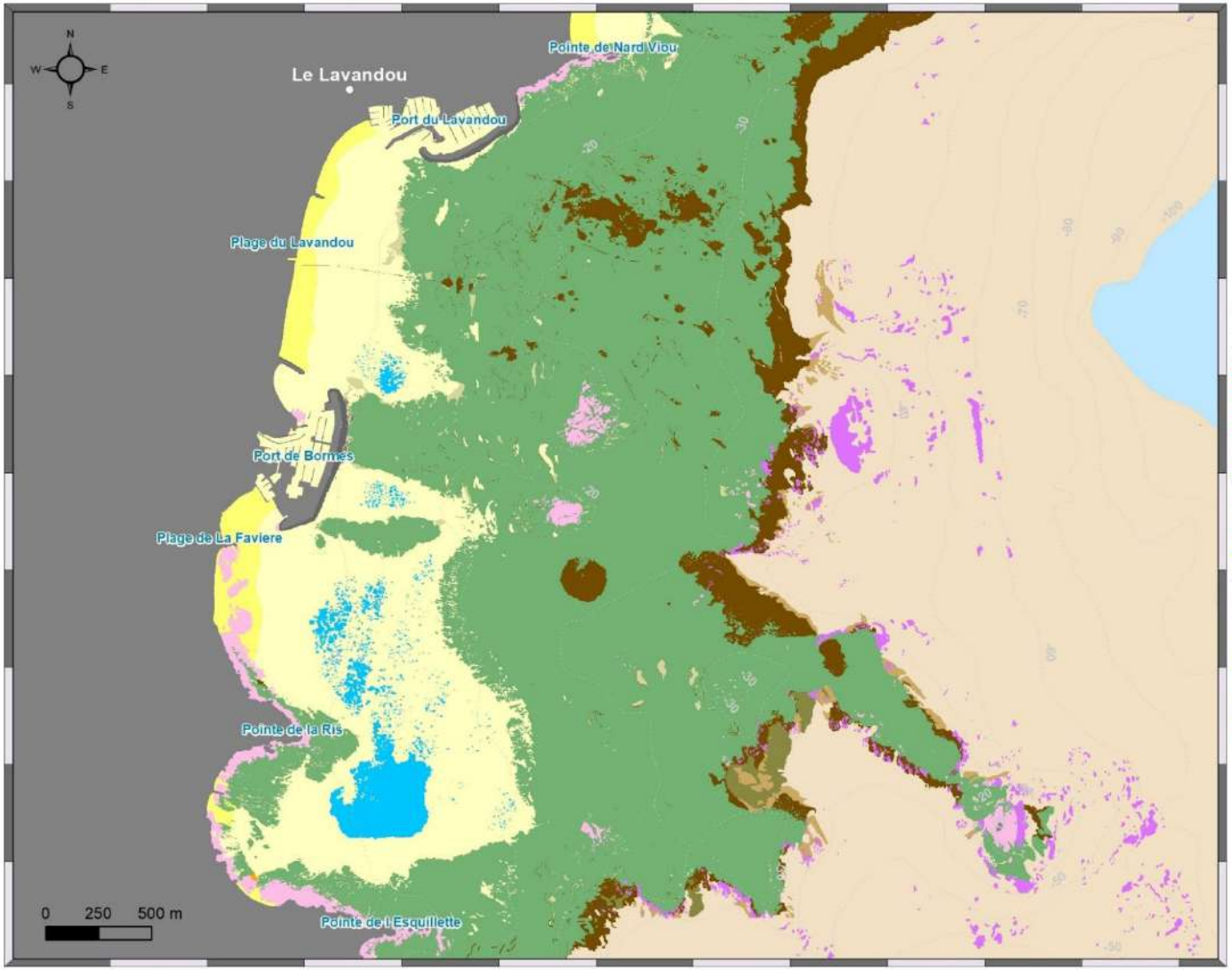


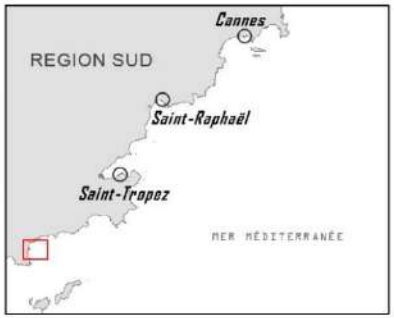
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Bormes-les-Mimosas
Roches infralittorales
Nombreuses rhodolithes
Herbier de posidonie (10 %)
Faisceaux isolés de Cymodocea nodosa sur sable fin
Port de Bormes
Sable fin
Limite inférieure clairsemée
Biofilm de micro-algues sur sable fin
Herbier de posidonie 100 %
Herbier à Cymodocea nodosa (2 %)
Pointe de la Ris
Faisceaux de Cymodocea nodosa (1 %)
Pointe de l Esquillette
Pointe du Pinet
Port du Pradet
Cavalaire-sur-Mer
Le Lavandou
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Vérités-terrain (2021)
0 250 500 m
Vérités-terrain et images : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Cartographie des biocénoses marines

FRDC07j - Bormes-les-Mimosas





Légende

Isobathes

Habitats marins

- Association à Cymodocea nodosa sur SFBC
- Association de la matte 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 fonds détritiques envasés (DE)
- Biocénose des galets infralittoraux
- Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (SGCF) - circalittoral
- Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (SGCF) - infralittoral
- Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)
- Biocénose des sables fins de haut niveau (SFHN)
- Biocénose du détritique côtier (DC)
- Habitats artificiels
- Zone bathyale

Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et DONIA EXPERT. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin: https://plateforme.medtrix.fr/

Source des biocénoses marines : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

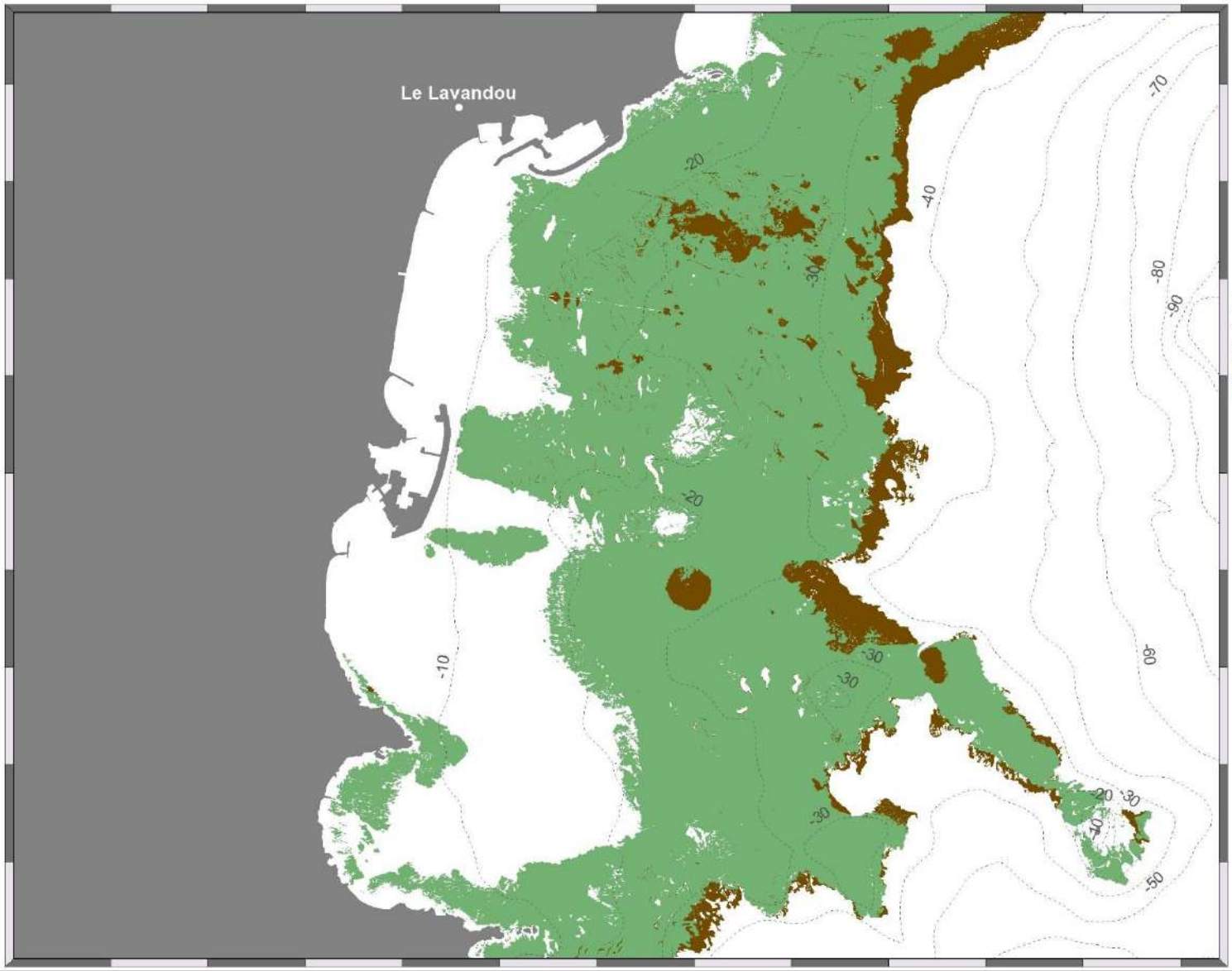
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE OCÉANOLOGIE

Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC07j - Bormes-les-Mimosas



Légende

Isobathes

Biocénoses marines

Association de la matte morte de Posidonia oceanica

Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N W E S

0 250 500 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

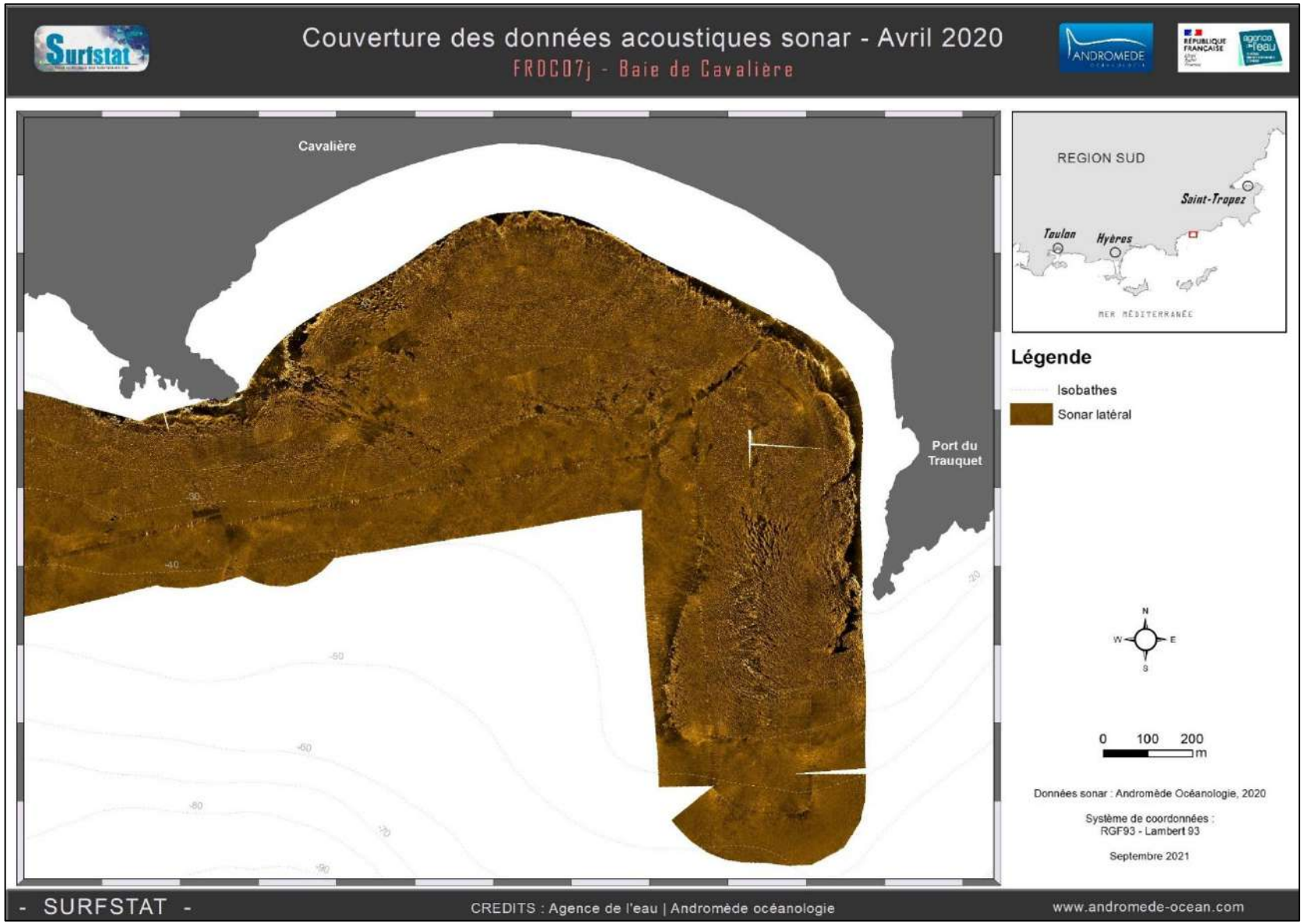
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

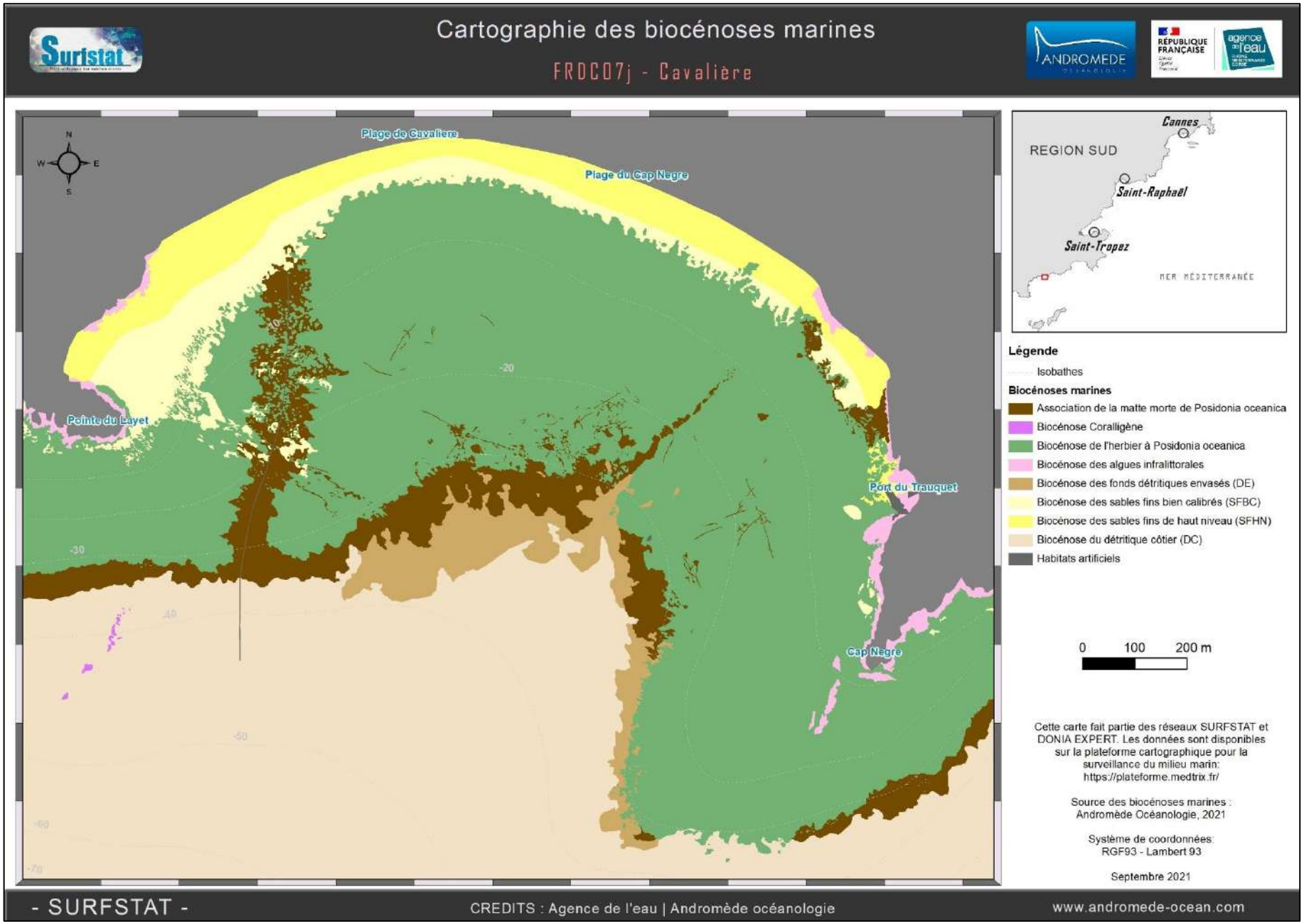
III.6.2. Cavalière

Sonar latéral

Au total, **120 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses de la Baie de Cavalière. Aucune observation en plongée tractée n'a été faite dans ce secteur.

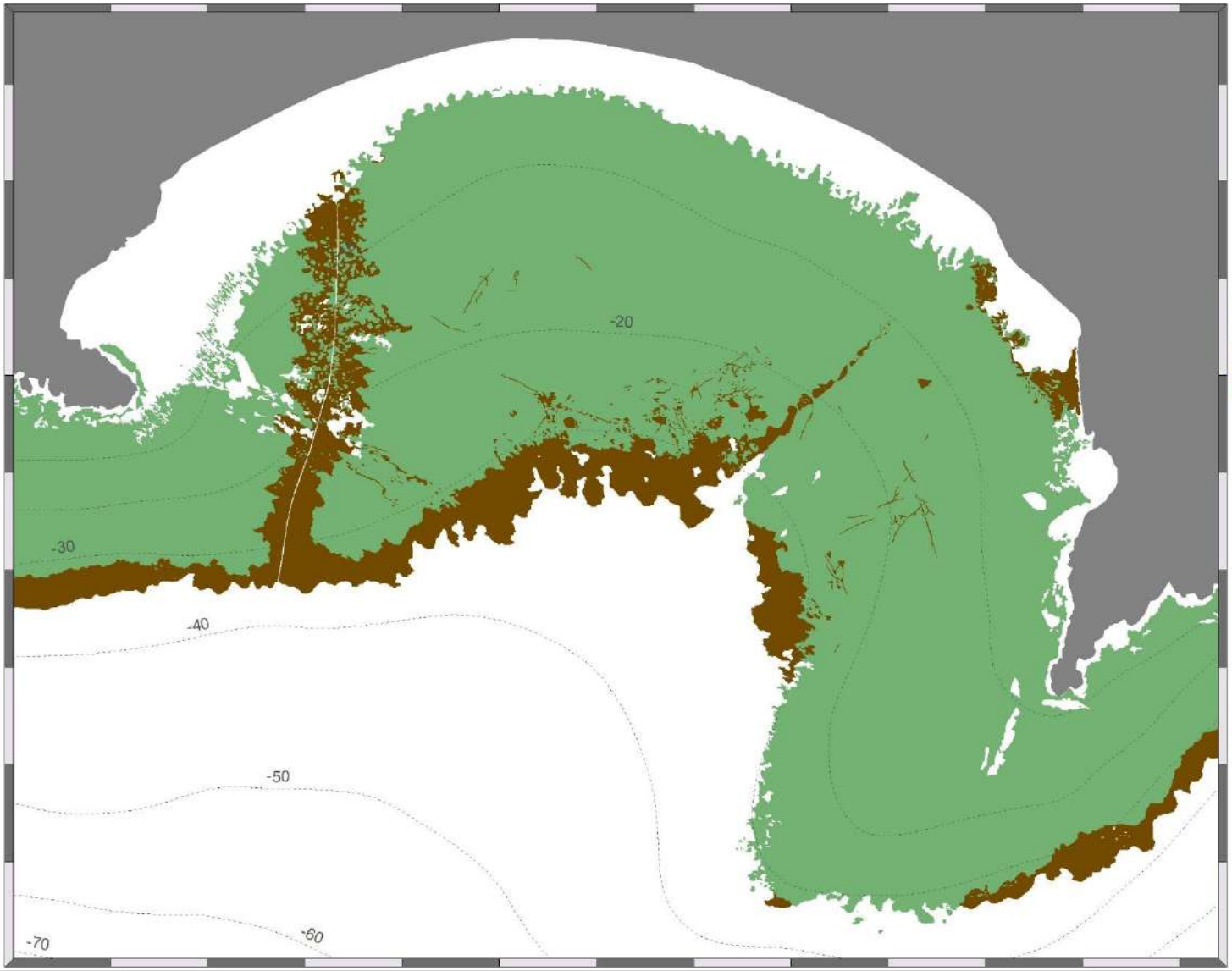


ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Cartographie des biocénoses marines
FRDC07j - Cavalière
Surfstat
ANDROMEDE
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
agence de l'eau
Plage de Cavalière
Plage du Cap Negre
Pointe du Layet
Port du Trauquet
Cap Negre
-20
-30
-40
-50
-60
-70
N
S
E
W
REGION SUD
Cannes
Saint-Raphaël
Saint-Tropez
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Biocénoses marines
Association de la matte morte de Posidonia oceanica
Biocénose Coralligène
Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
Biocénose des algues infralittorales
Biocénose des fonds détritiques envasés (DE)
Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)
Biocénose des sables fins de haut niveau (SFHN)
Biocénose du détritique côtier (DC)
Habitats artificiels
0 100 200 m
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et DONIA EXPERT. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin: https://plateforme.medtrix.fr/
Source des biocénoses marines : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC07j - Cavalière



Légende

Isobathes

Biocénoses marines

Association de la matte morte de Posidonia oceanica

Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 100 200 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

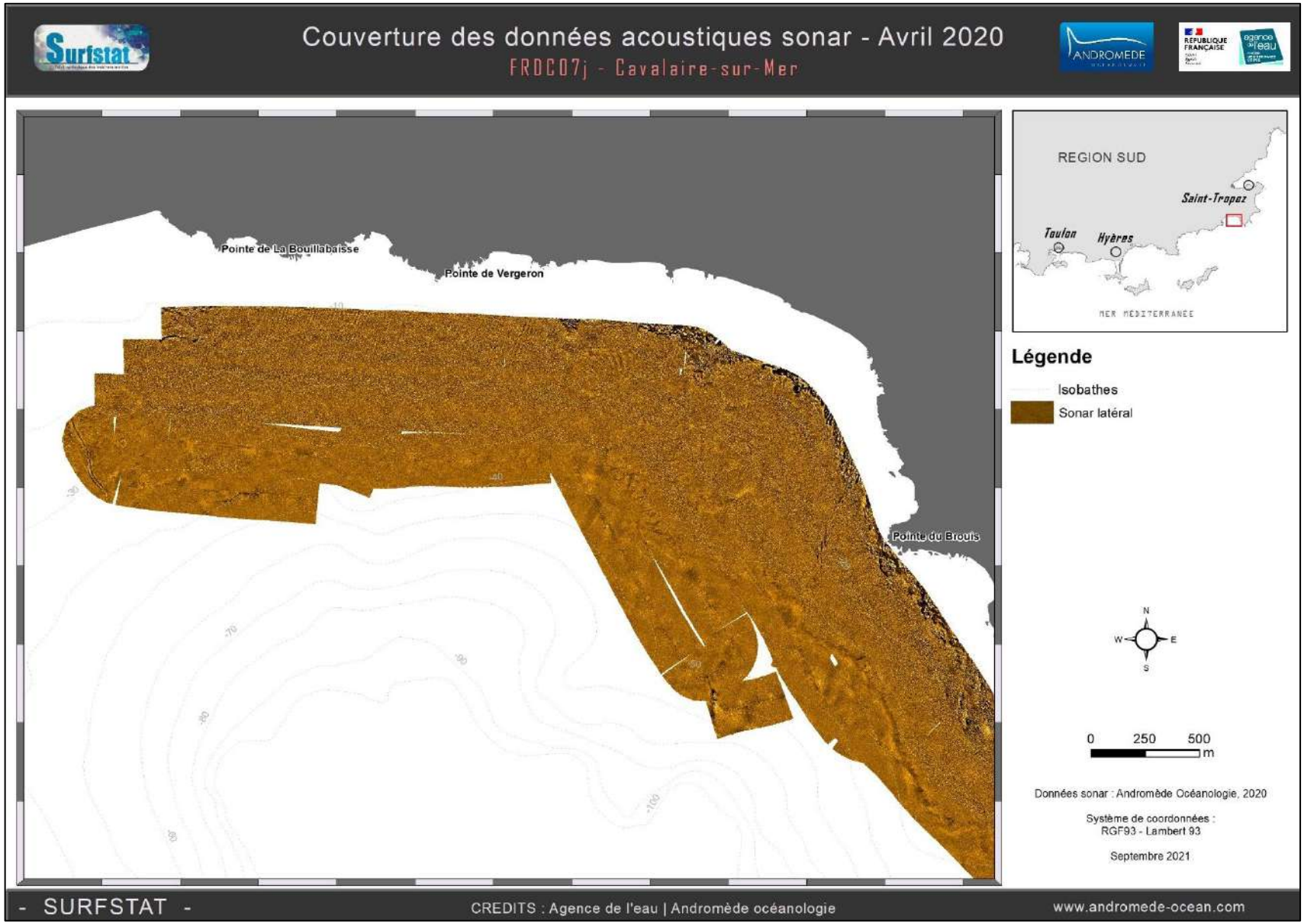
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.6.3. Cavalaire-sur-Mer

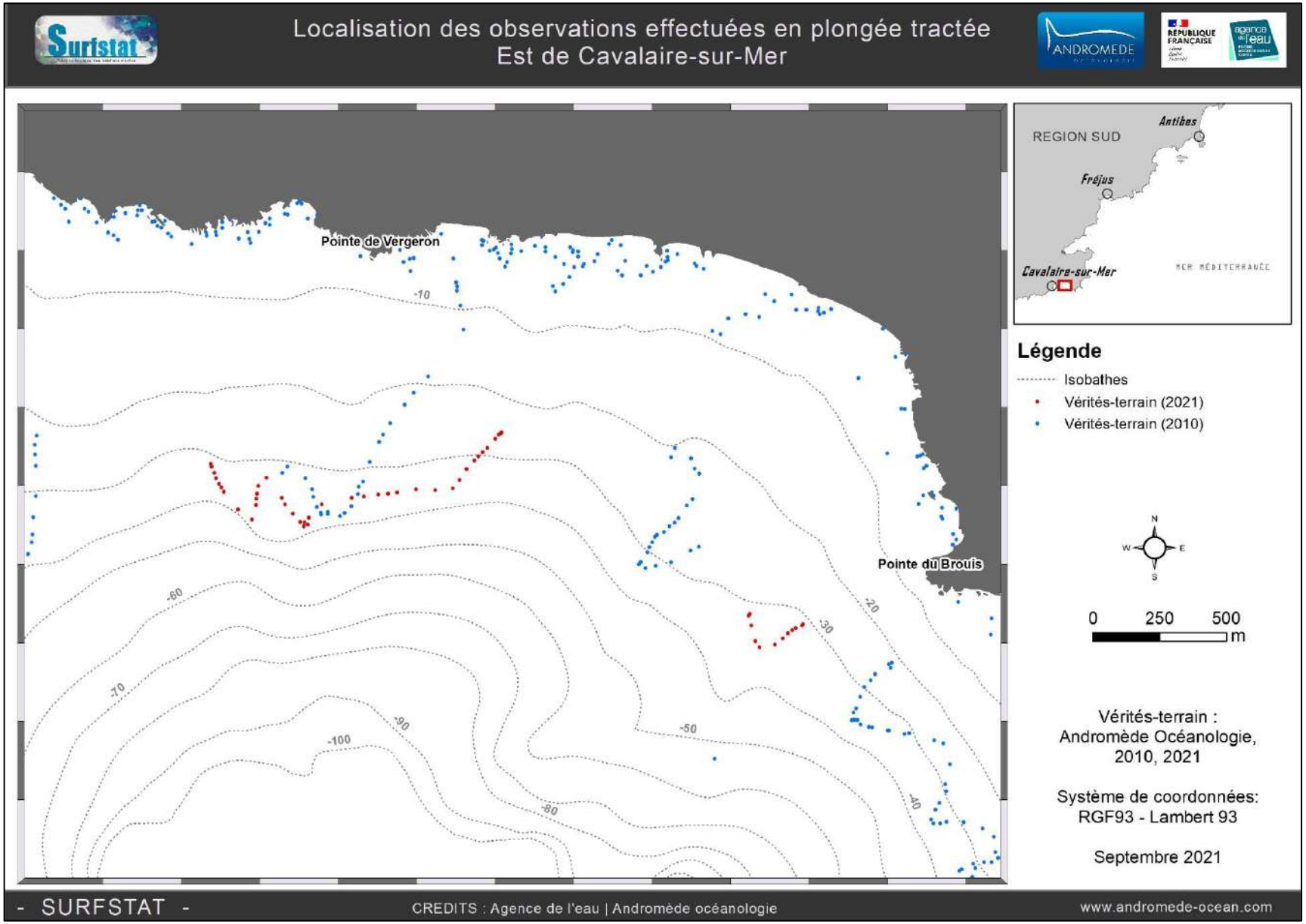
Sonar latéral

Au total, **430 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses à l'est de la Baie de Cavalaire-sur-Mer.

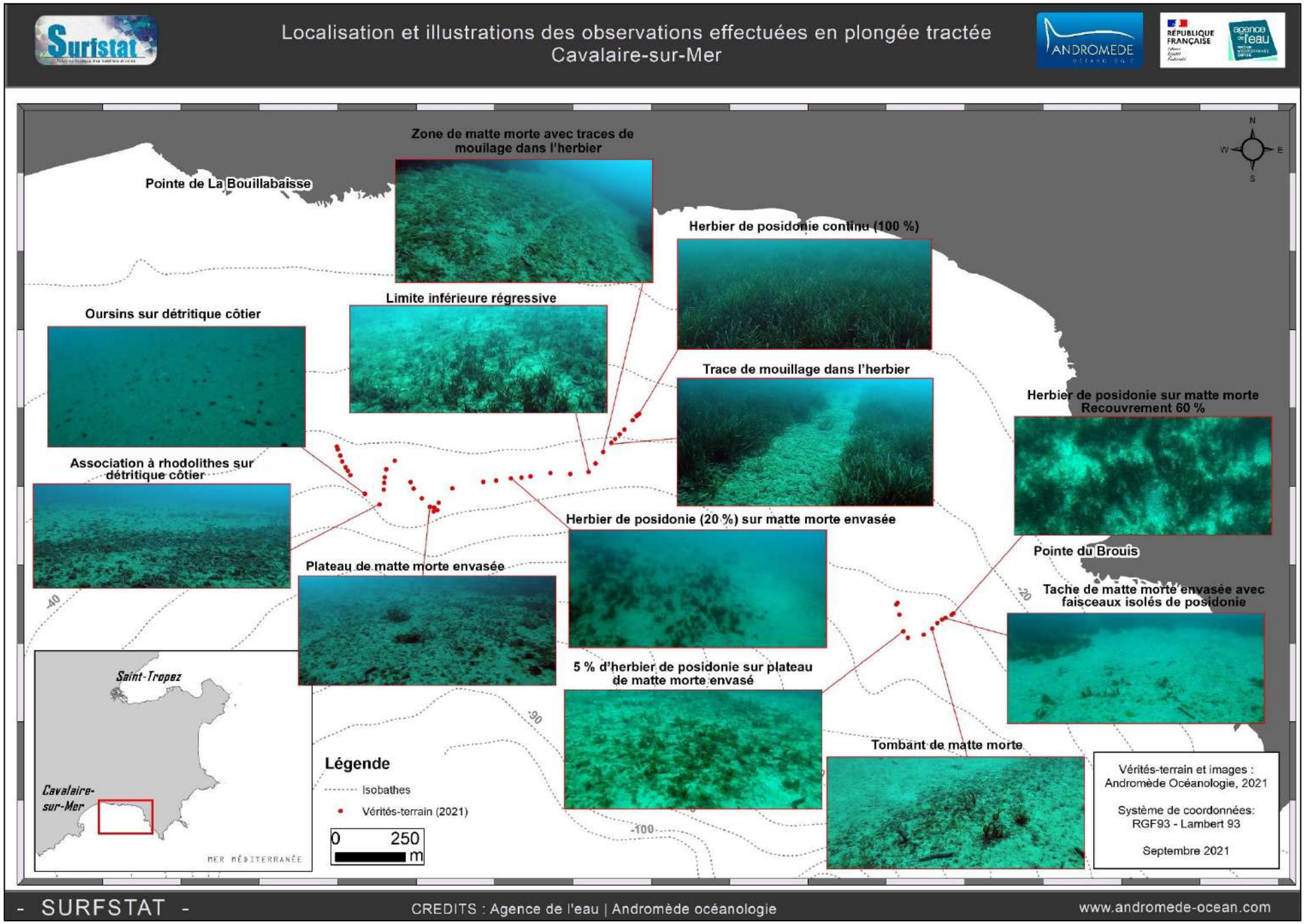


Observations en plongée tractée

Près de **55 observations** ont été faites en plongée tractée en 2021 à l'Est de la Baie de Cavalaire-sur-Mer pour la validation de la cartographie des biocénoses (points rouges sur la carte ci-dessous) qui complètent les vérités terrain existantes réalisées en 2010-2012 (points bleus sur la carte ci-dessous).

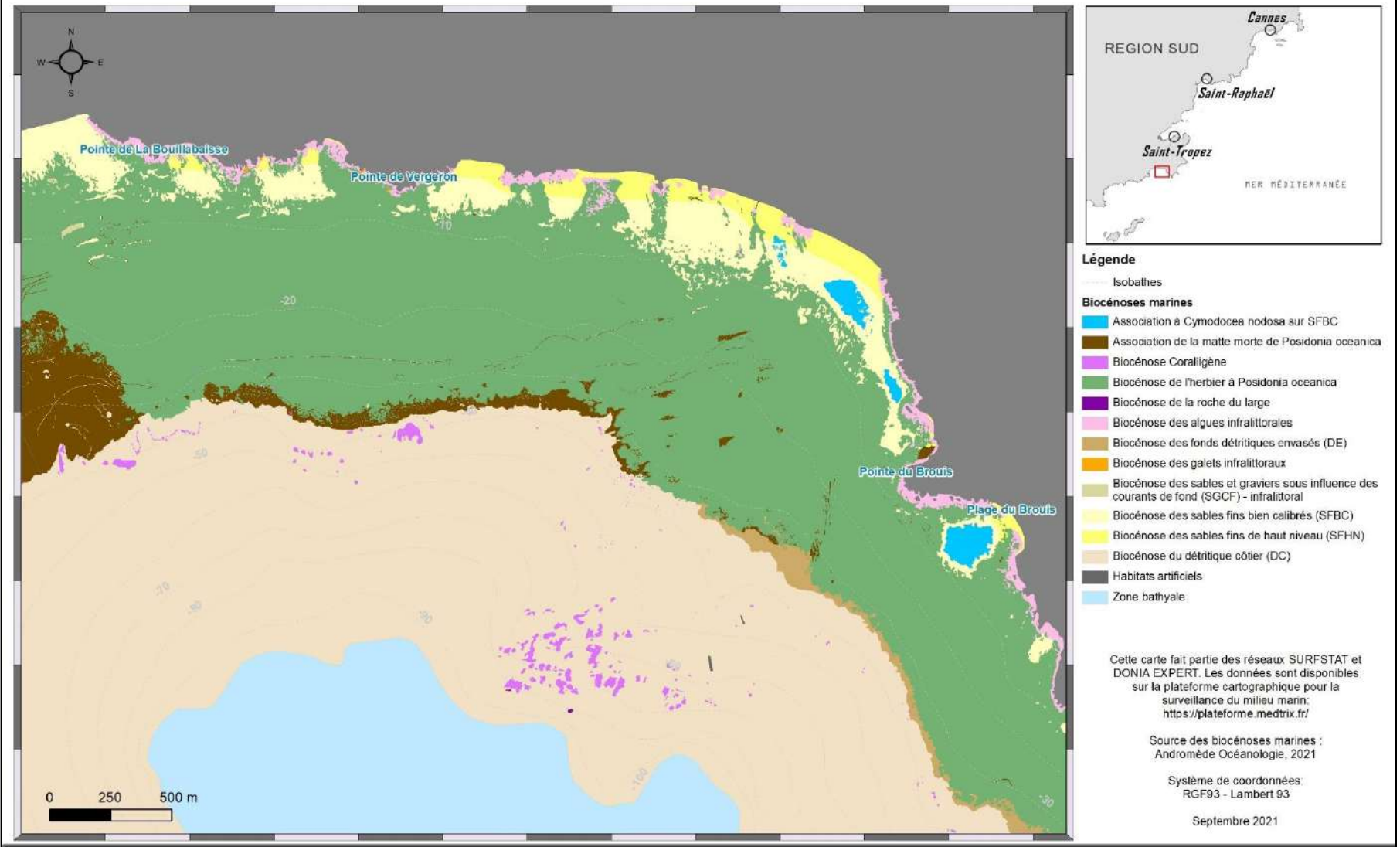


ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Cavalaire-sur-Mer
Zone de matte morte avec traces de mouillage dans l'herbier
Pointe de La Bouillabaisse
Herbier de posidonie continu (100 %)
Limite inférieure régressive
Oursins sur détritique côtier
Trace de mouillage dans l'herbier
Herbier de posidonie sur matte morte
Recouvrement 60 %
Association à rhodolithes sur détritique côtier
Herbier de posidonie (20 %) sur matte morte envasée
Pointe du Brouis
Plateau de matte morte envasée
Tache de matte morte envasée avec faisceaux isolés de posidonie
5 % d'herbier de posidonie sur plateau de matte morte envasé
Tombant de matte morte
Saint-Tropez
Cavalaire-sur-Mer
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Vérités-terrain (2021)
0 250 m
Vérités-terrain et images : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Cartographie des biocénoses marines

FRDC07j - Cavalaire-sur-Mer



Légende

Isobathes

Biocénoses marines

- Association à Cymodocea nodosa sur SFBC
- Association de la matte 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 fonds détritiques envasés (DE)
- Biocénose des galets infralittoraux
- Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (SGCF) - infralittoral
- Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)
- Biocénose des sables fins de haut niveau (SFHN)
- Biocénose du détritique côtier (DC)
- Habitats artificiels
- Zone bathyale

Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et DONIA EXPERT. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin: https://plateforme.medtrix.fr/

Source des biocénoses marines : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93

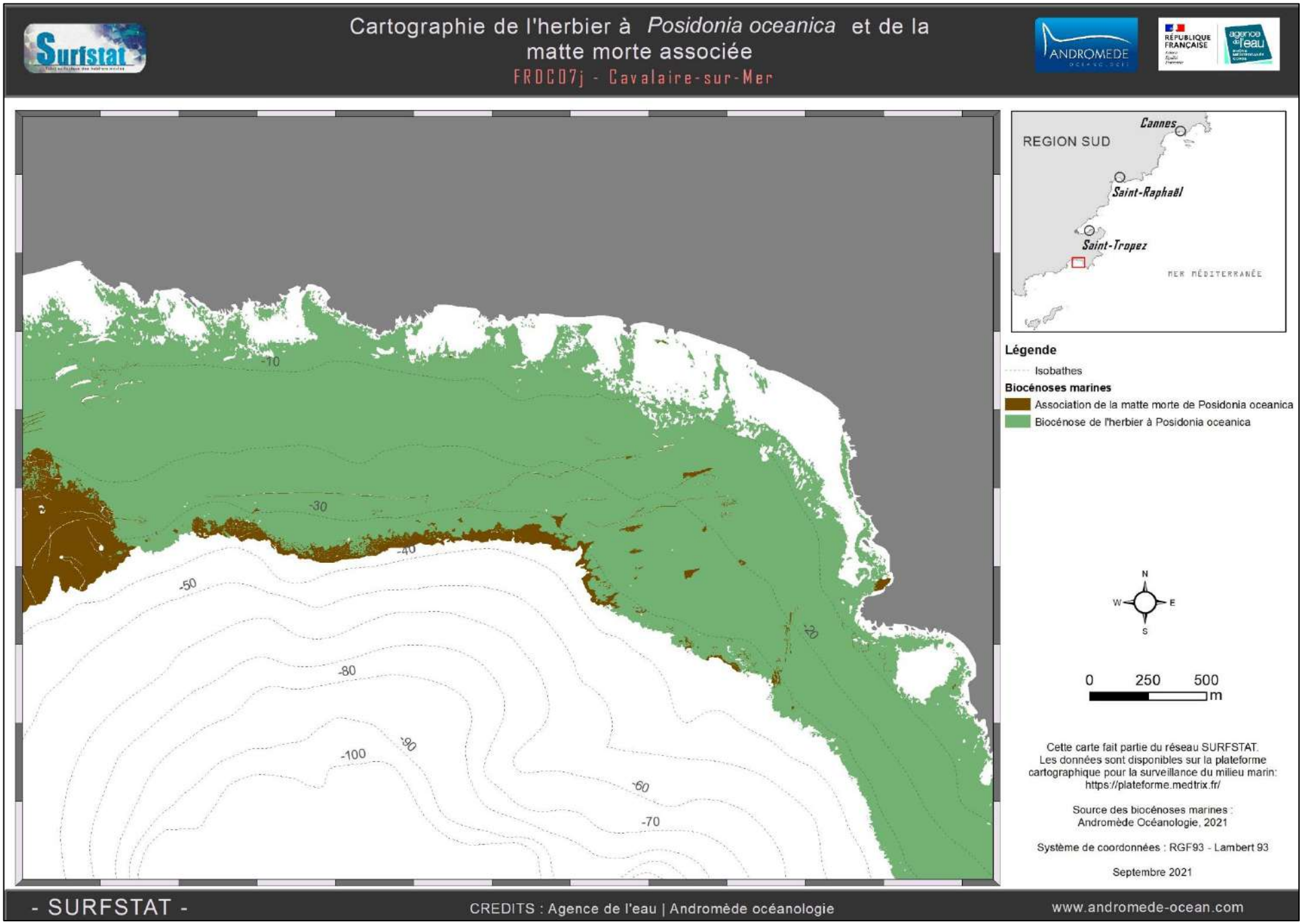
Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

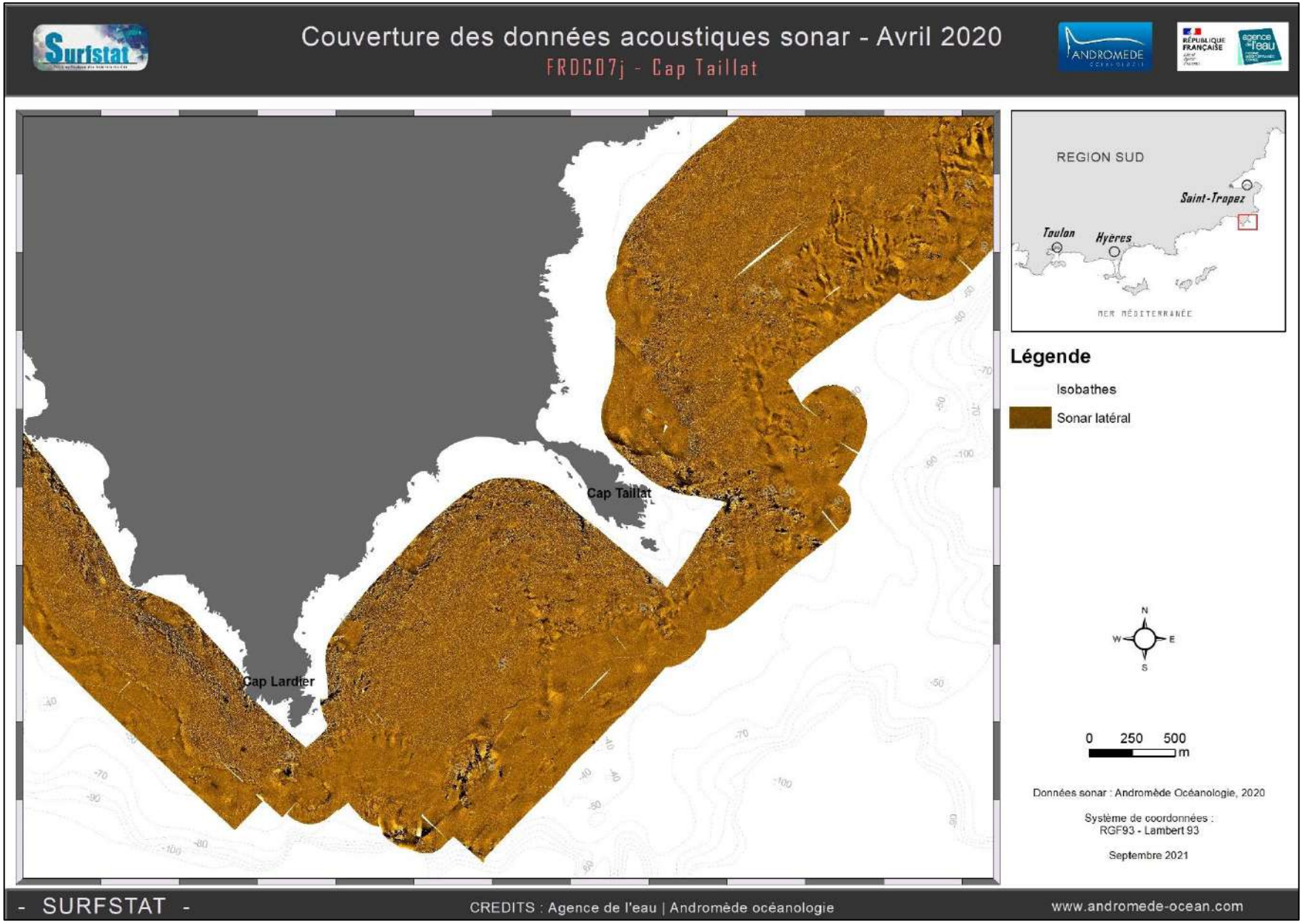
www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE OCÉANOLOGIE


Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée
FRDC07j - Cavalaire-sur-Mer
Surfstat
ANDROMEDE
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
agence de l'eau
-10
-30
-40
-50
-80
-90
-100
-60
-70
-20
REGION SUD
Cannes
Saint-Raphaël
Saint-Tropez
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Biocénoses marines
Association de la matte morte de Posidonia oceanica
Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
N
W
E
S
0
250
500
m
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/
Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

III.6.4. Cap Lardier et Cap Taillat

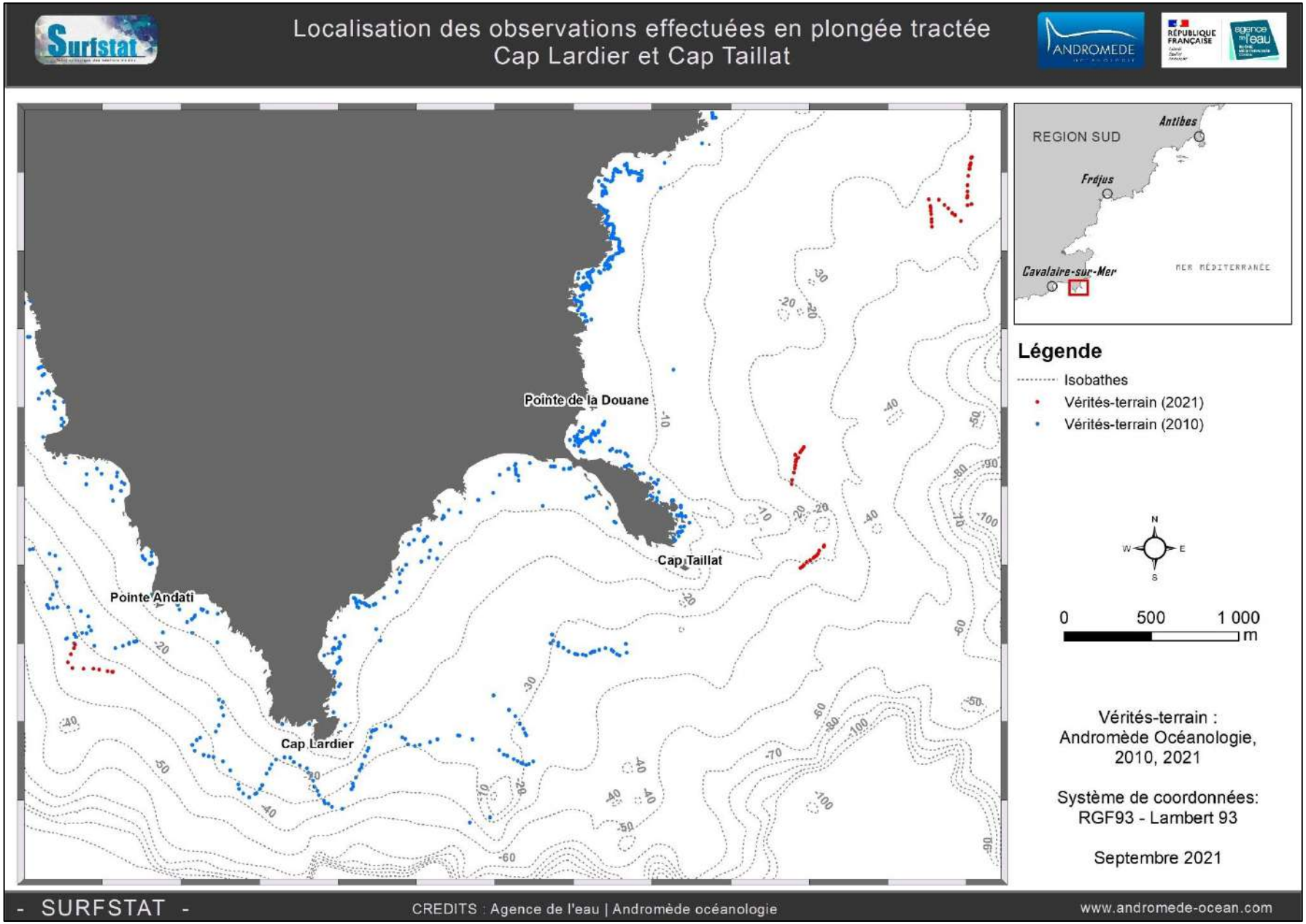
Au total, **835 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises et traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses aux environs des Caps Lardier et Taillat.



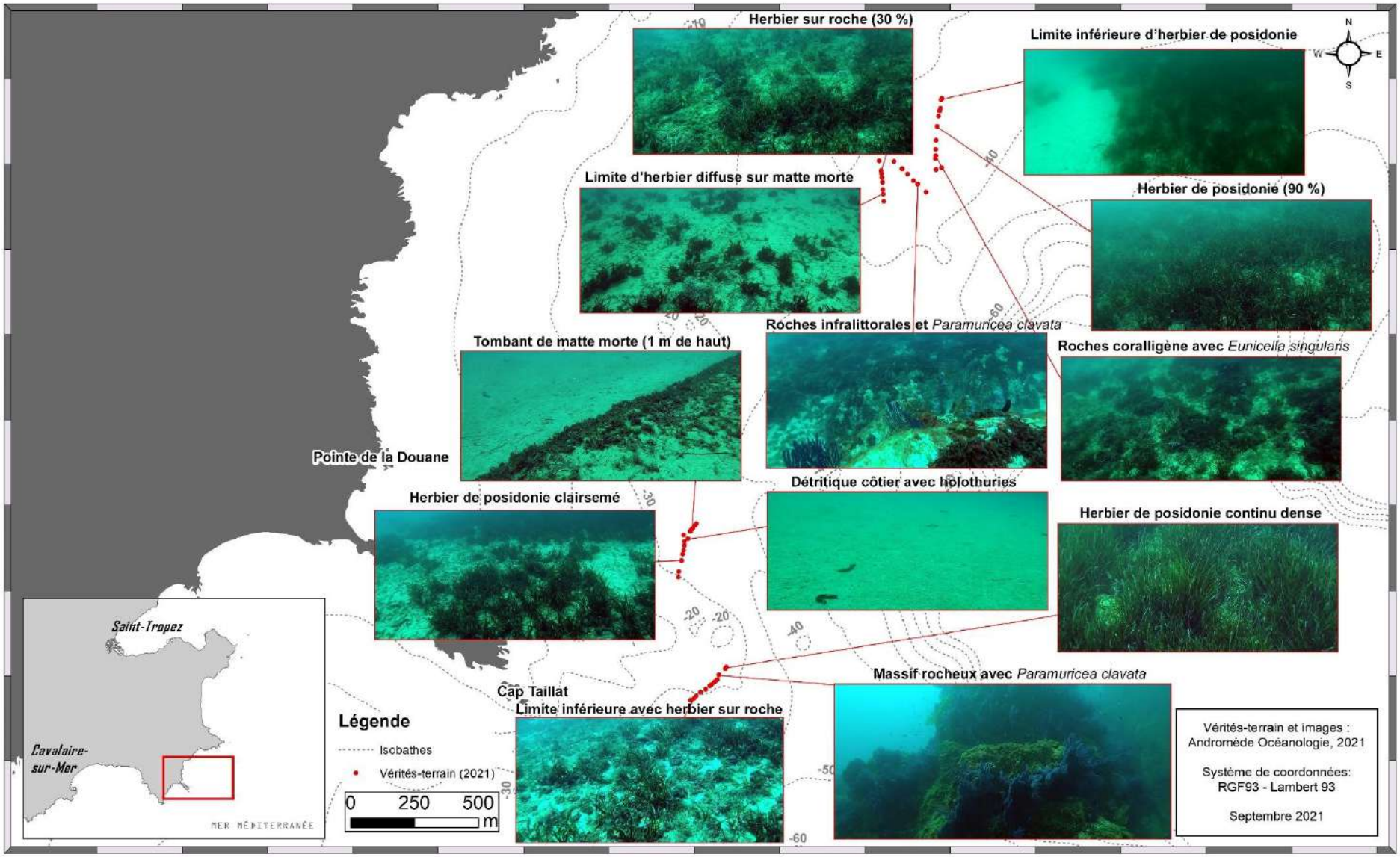
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

Observations en plongée tractée

63 observations ont été faites en plongée tractée entre la Pointe Andati et la Baie de Bonporteau pour la validation de la cartographie des biocénoses (points rouges dans la carte ci-dessous), qui complètent les vérités terrain existantes réalisées en 2010 (points bleus sur la carte ci-dessous).

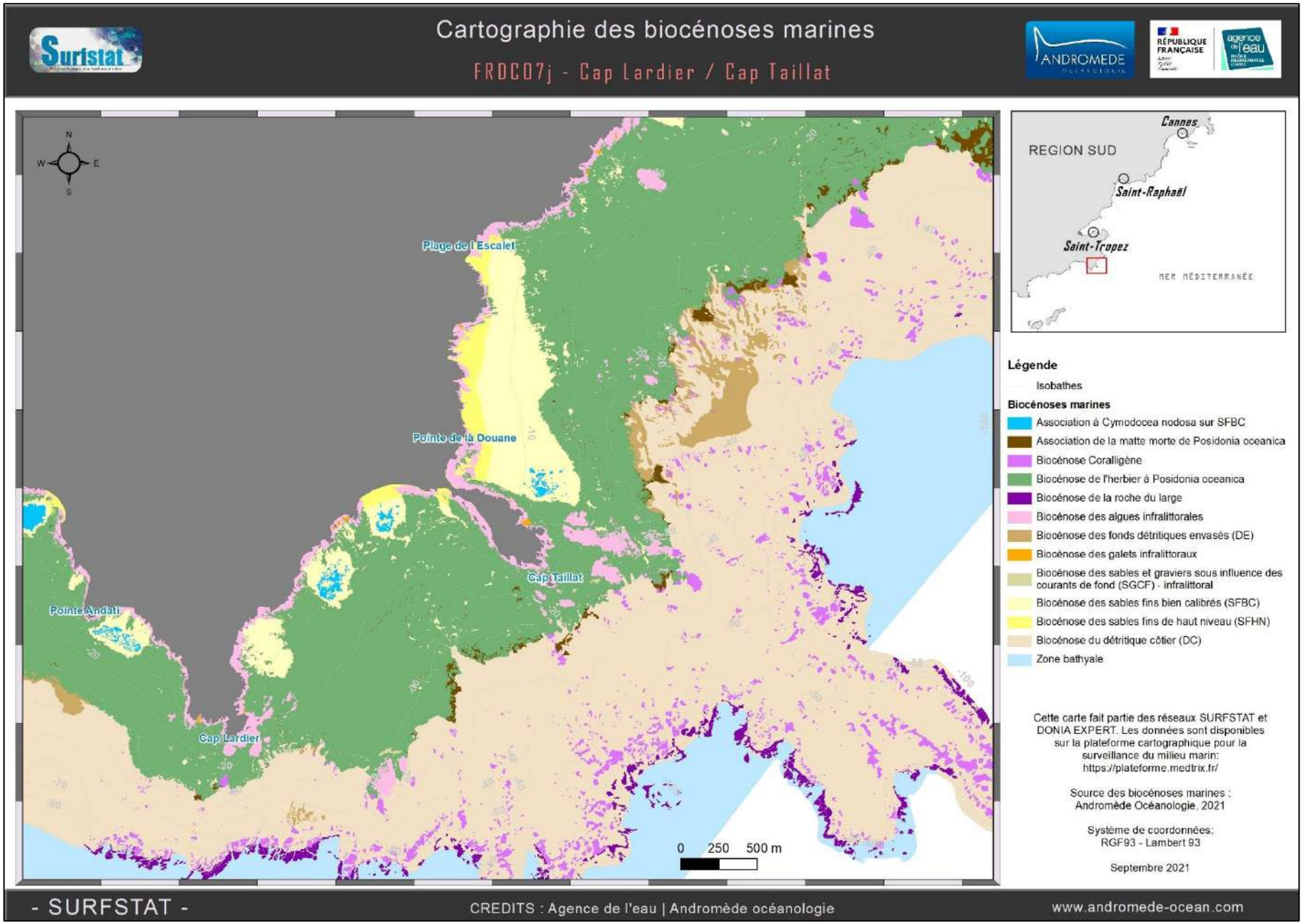


Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Cap Taillat



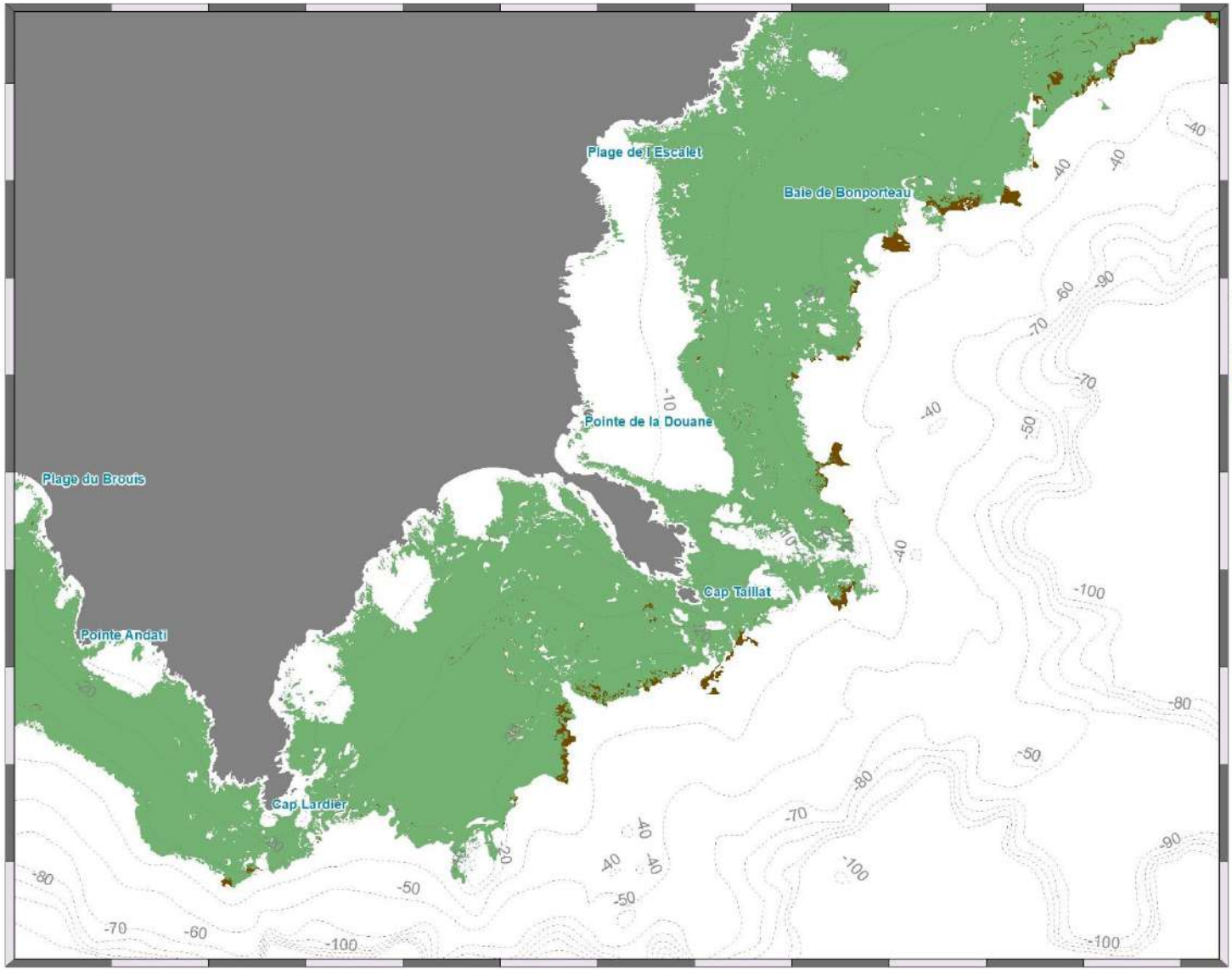
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE OCÉANOLOGIE


Cartographie des biocénoses marines
FRDC07j - Cap Lardier / Cap Taillat
Surfstat
ANDROMEDE
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
agence de l'eau
N
S
W
E
Plage de l Escalet
Pointe de la Douane
Cap Taillat
Pointe Andati
Cap Lardier
0 250 500 m
REGION SUD
Cannes
Saint-Raphaël
Saint-Tropez
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Biocénoses marines
Association à Cymodocea nodosa sur SFBC
Association de la matte 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 fonds détritiques envasés (DE)
Biocénose des galets infralittoraux
Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (SGCF) - infralittoral
Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)
Biocénose des sables fins de haut niveau (SFHN)
Biocénose du détritique côtier (DC)
Zone bathyale
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et DONIA EXPERT. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin: https://plateforme.medtrix.fr/
Source des biocénoses marines : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC07j - Cap Lardier / Cap Taillat



Légende

Isobathes

Biocénoses marines

- Association de la matte morte de Posidonia oceanica
- Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 250 500 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

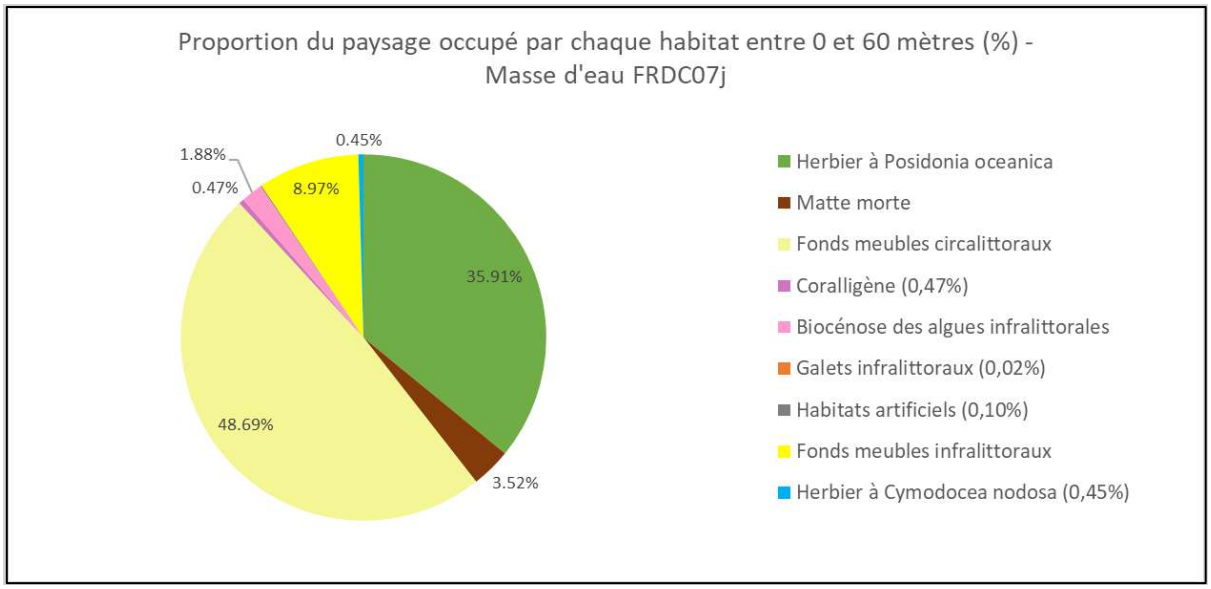
Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.6.4. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC07j « Cap Bénat – Pointe des Issambres » comprend 9 habitats entre 0 et -60 mètres dont les deux principaux (>10 % de recouvrement du paysage) sont la biocénose de l'herbier à posidonie (35,91 %) et les fonds meubles circalittoraux (48,69 %). La moitié du paysage est dominée par une tâche unique de fonds meubles circalittoraux. A noter sur cette masse d'eau **la dominance de la biocénose de l'herbier à posidonie également entre 0 et -20 mètres et 0 et -40 mètres**.

Cette masse d'eau présente une **diversité paysagère importante**. La valeur de l'indice de Simpson (0,71) est légèrement plus élevée que la moyenne régionale (0,66). Cet indice est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte suivante. La densité d'habitats dans le paysage est très faible (0,12 habitats/100ha).

Les indices d'agrégation et de fragmentation entre les taches, entre 0 et 60 mètres, mettent en évidence 6 habitats fragmentés (AI<90 %) dont les tâches sont déconnectées entre elles.

Tableau 15 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07j.

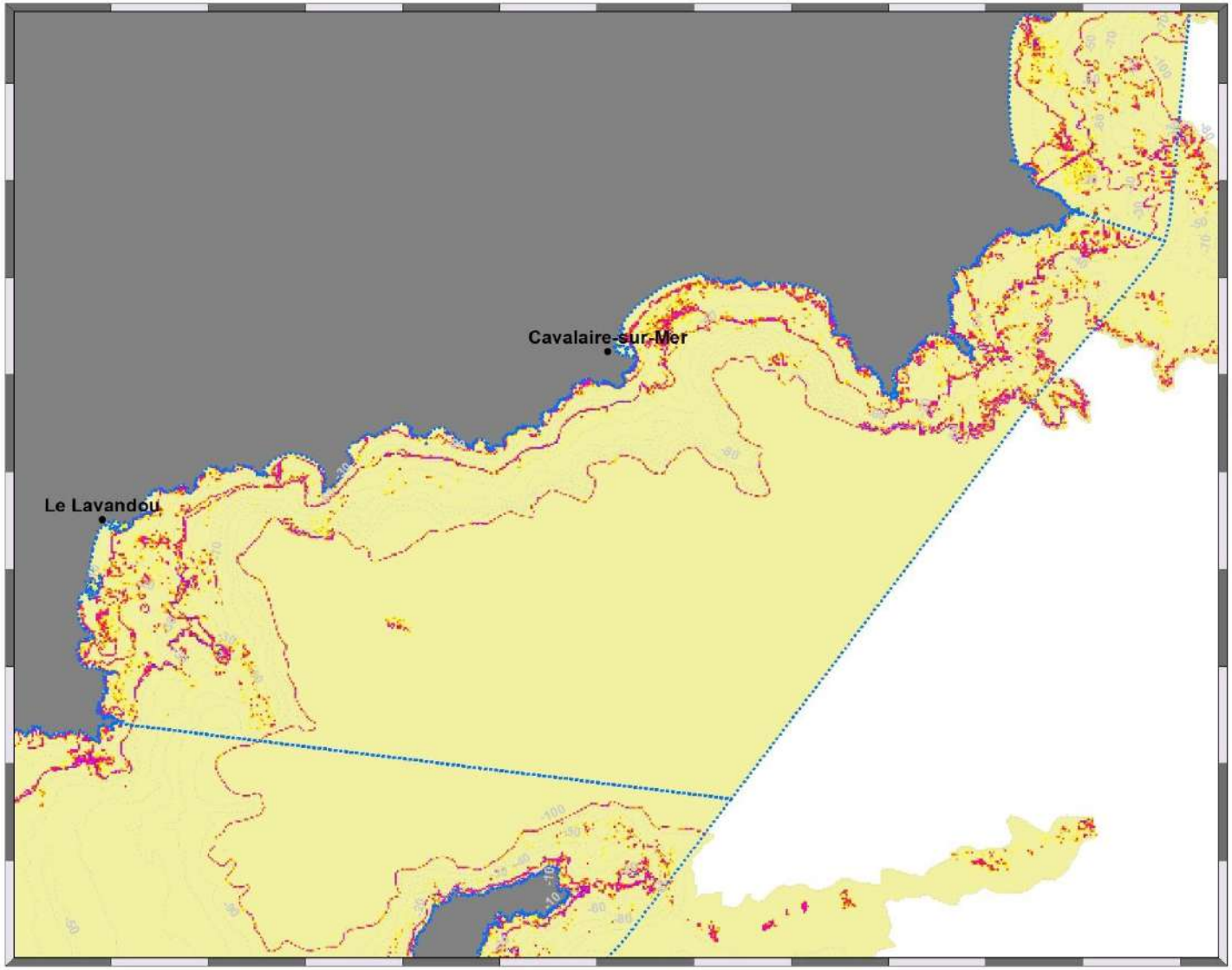
Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07j	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	7487.78	86.85 – 0 – 4008.79 – 16846.79
Nombre d'habitats dans le paysage	9	7 – 0 – 8.4 – 10
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	125.43	12.8 – 0 – 162.81 – 548.39
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	48.62	25.7 – 0 – 51.37 – 78.51
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.12	0.05 – 0 – 0.92 – 8.06
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.71	0.44 – 0 – 0.66 – 0.84

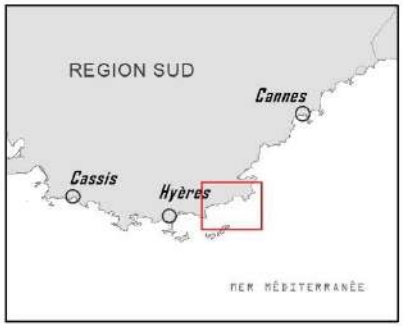
Ainsi, seuls les fonds meubles circalittoraux et l'herbier à posidonie ont un indice d'agrégation supérieur à 90 %. Les fortes valeurs de l'indice d'agrégation correspondent à une continuité horizontale de ces habitats se traduisant par un taux de recouvrement élevé.

Les habitats dont les tâches sont les plus isolées (AI < 70 %) sont les galets infralittoraux, la biocénose coralligène, les habitats artificiels, les herbiers à Cymodocées et les roches infralittorales.

Indice de diversité de Simpson

FRDC07j - Cap Bénat - Cap Camarat





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 50 m

Faible

Elevée

N
W E
S

0 1 2 3 4 5 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de Simpson : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

L'herbier occupe 59,8 % du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce **taux de recouvrement est élevé** par rapport à la proportion moyenne relevée sur l'ensemble des masses d'eau en région Sud. On le rencontre de manière continue sur toute la masse d'eau.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtière de la région, l'herbier de posidonie de la masse d'eau FRDC07j se caractérise par un **nombre faible de taches** (27,74 taches/100 ha), **très agrégées** entre elles (AI=94,09 % et DIVISION=0,65), de taille importante (2,16 ha) et proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux tâches les plus proches est de 14,19 mètres entre 0 et 40 mètres). On note **la présence d'une tâche unique d'herbier couvrant 58,75 % du paysage**. Tous ces éléments indiquent une **formation continue** de l'herbier sur la masse d'eau.

A noter que l'association de la matte morte de posidonie est l'habitat qui comprend le nombre le plus élevé de tâches entre 0 et 40 mètres (2397 polygones), pas agrégées entre elles (AI=77 %). Ces éléments traduisent **la présence de nombreuses traces de mouillage dans l'herbier (baie de Cavalaire, Rade de Bormes les Mimosas, baie de Cavalière).**

Grâce à l'actualisation de la cartographie des biocénoses marines de nouvelles traces de mouillage ont été cartographiées.

Tableau 16 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC07j

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC07j	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	59.8	1.79 – 77.82 – 36.88
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	27.74	1.67 – 141.69 – 42.35
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	58.75	0.61 – 77.49 – 28.87
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	2.16	0.15 – 3.71 – 1.19
Indice de complexité des formes	1.06	1.05 – 1.13 – 1.07
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	14.19	7.49 – 94.76 – 23.84
Indice de fragmentation de l'herbier	0.65	0.4 – 1 – 0.87
Indice d'agrégation entre les taches (%)	94.09	76.73 – 97.25 – 87.94
Indice de régression de l'herbier	0.09	0.01 – 0.59 – 0.18

Dans la rade de Bormes les Mimosas, en face du port du Lavandou, de **nouvelles étendues de matte morte, dont la surface totale atteint environ 8 ha, ont remplacé l'herbier de posidonie vivant**. Cette zone est en effet très fréquentée par les plaisanciers qui ancrent dans l'herbier (voir Figure 31). Les surfaces prospectées au sonar étant différentes entre les missions de 2012 et 2020, aucune carte d'évolution des surfaces d'herbier n'a pu être créée dans le secteur du Lavandou. L'évolution de la cartographie est surtout due à l'évolution de la méthode d'acquisition et de la qualité des données sonar. Par exemple, nous manquons d'informations pour savoir si la grande étendue de matte morte située en face du port du Lavandou était déjà présente en 2012 lors de la dernière acquisition sonar (Figure 32). Pour les limites inférieures d'herbier, la comparaison est également difficile par la différence de résolution entre les données sonar.

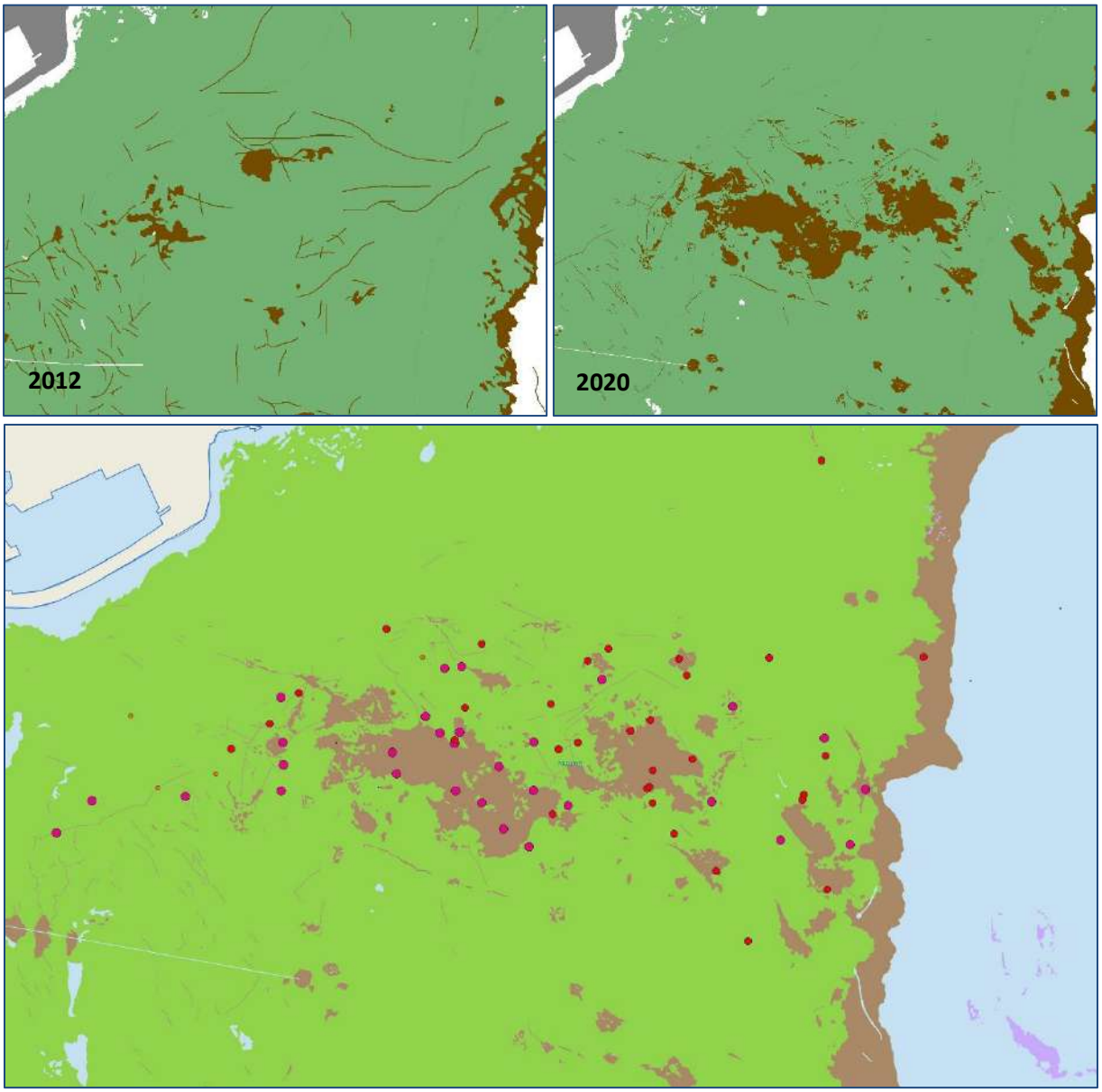


Figure 31 : Comparaison des deux cartographies de l'herbier de posidonie de 2012 et 2020 au Lavandou. En bas, les positions AIS des navires au mouillage entre 2010 et 2020 (rose : navires de longueur > 80 m ; rouge : navires de longueur comprise entre 40 et 80 m). On peut observer que l'étendue de matte morte cartographiée à partir du sonar de 2020 concorde très bien avec les données AIS (voir projet SUIVI DU MOUILLAGE sur la plateforme MEDTRIX).

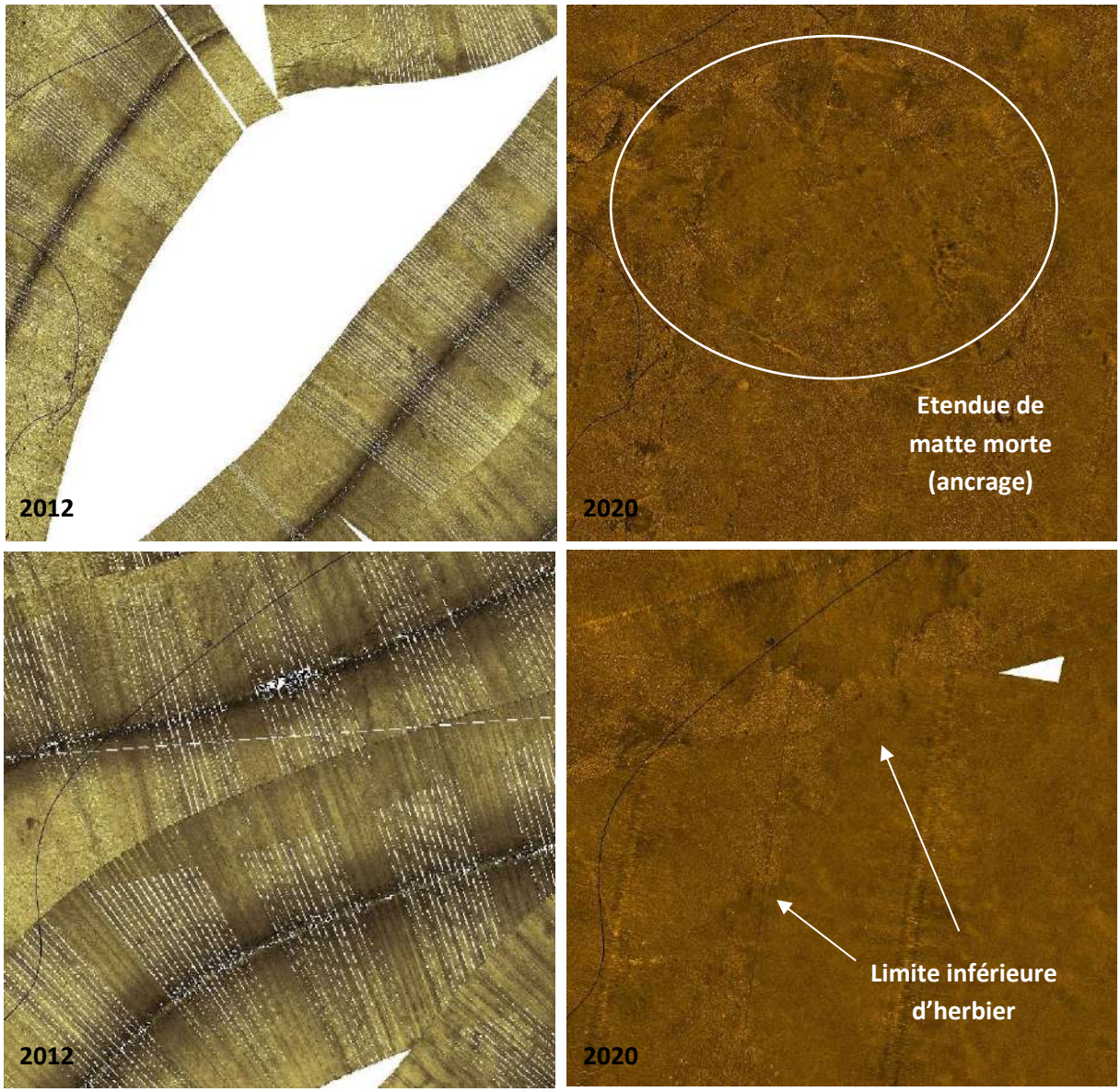


Figure 32 : Comparaison des levés sonar de 2012 et 2020 au Lavandou. Les zones présentées sont difficilement comparables pour l'analyse de l'évolution des surfaces d'herbier, notamment à cause de l'absence de données sonar historiques sur certaines zones.

Dans la Baie de Cavalière, une **grande zone de recolonisation de l'herbier le long de l'émissaire de rejet en mer a été cartographié plus finement**. En effet, une tranchée de 600 mètres de longueur a été creusée dans l'herbier de Posidonie pour la mise en place de l'émissaire. Une bande de matte morte de plus de 100 mètres de largeur centrée sur la totalité de la longueur de l'émissaire avait déjà été cartographiée en 2012 (programme CARTHAM 2010-2012) ; grâce aux données sonar de la campagne de 2020 une plus grande zone de recolonisation en patchs couvrant les 2/3 de la zone de matte morte a pu être cartographiée plus finement (voir Figure 33). Même si les atolls d'herbier étaient déjà visibles sur le sonar de 2012, aucune comparaison précise de l'évolution de cette recolonisation reste difficile en raison de la qualité moindre des bandes sonar en 2012. En ce qui concerne la limite inférieure d'herbier, **deux zones de régression de la limite inférieure** ont été remarquées totalisant ainsi une surface d'herbier perdu entre 2012 et 2020 d'environ 6 800 m² ; une carte d'évolution de l'herbier localisé sur ces deux zones de régression est visible page 110.

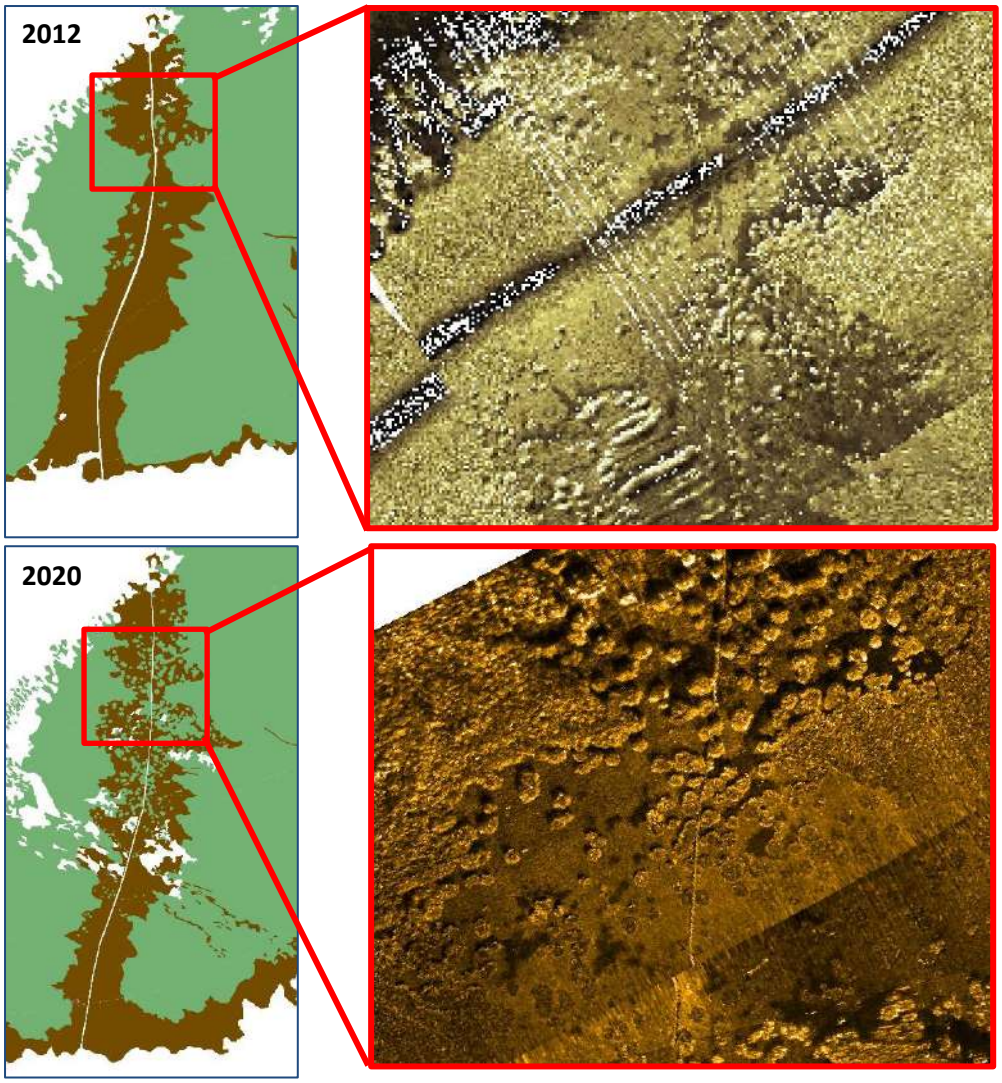
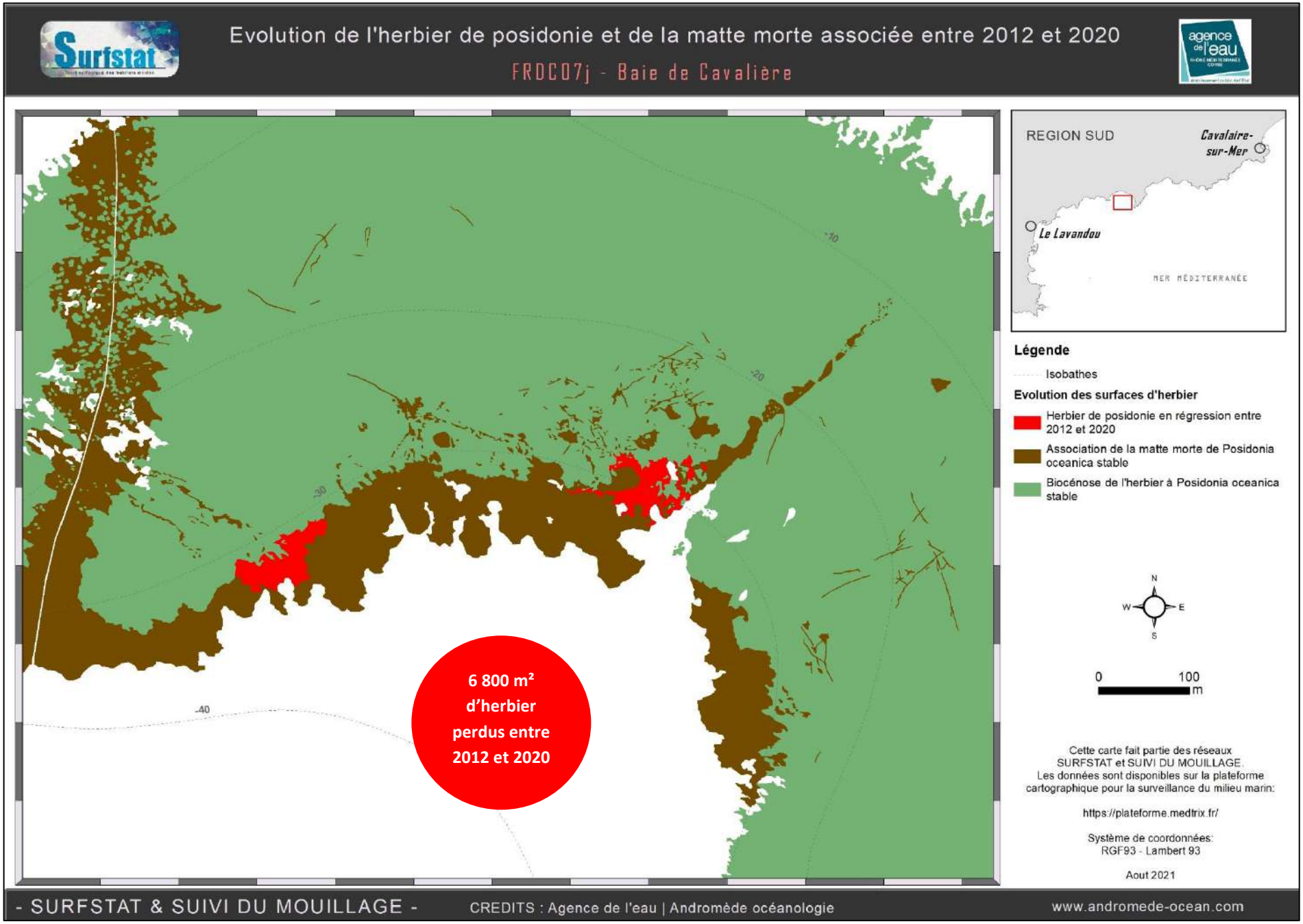


Figure 33 : Comparaison des deux cartographies de l'herbier de posidonie et des levés sonar de 2012 et 2020 au niveau de l'émissaire de Cavalière.

Figure 34 : Comparaison des sonars de 2012 et 2020 au niveau de la limite inférieure d'herbier dans la Baie de Cavalière.


Evolution de l'herbier de posidonie et de la matte morte associée entre 2012 et 2020
FRDC07j - Baie de Cavalière
REGION SUD
Cavalaire-sur-Mer
Le Lavandou
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Evolution des surfaces d'herbier
Herbier de posidonie en régression entre 2012 et 2020
Association de la matte morte de Posidonia oceanica stable
Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica stable
N
W
E
S
0
100
m
-10
-20
-30
-40
6 800 m² d'herbier perdus entre 2012 et 2020
Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et SUIVI 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
Aout 2021
- SURFSTAT & SUIVI DU MOUILLAGE -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Ces zones de régression en Baie de Cavalière semblent cependant ne pas concorder complètement avec les positions AIS enregistrées et/ou ne sont peut-être pas complètement explicables par ce type de données. La présence de l'émissaire est peut-être un des nombreux facteurs expliquant aussi la régression de l'herbier dans ce secteur (voir Figure 35 ci-dessous) :

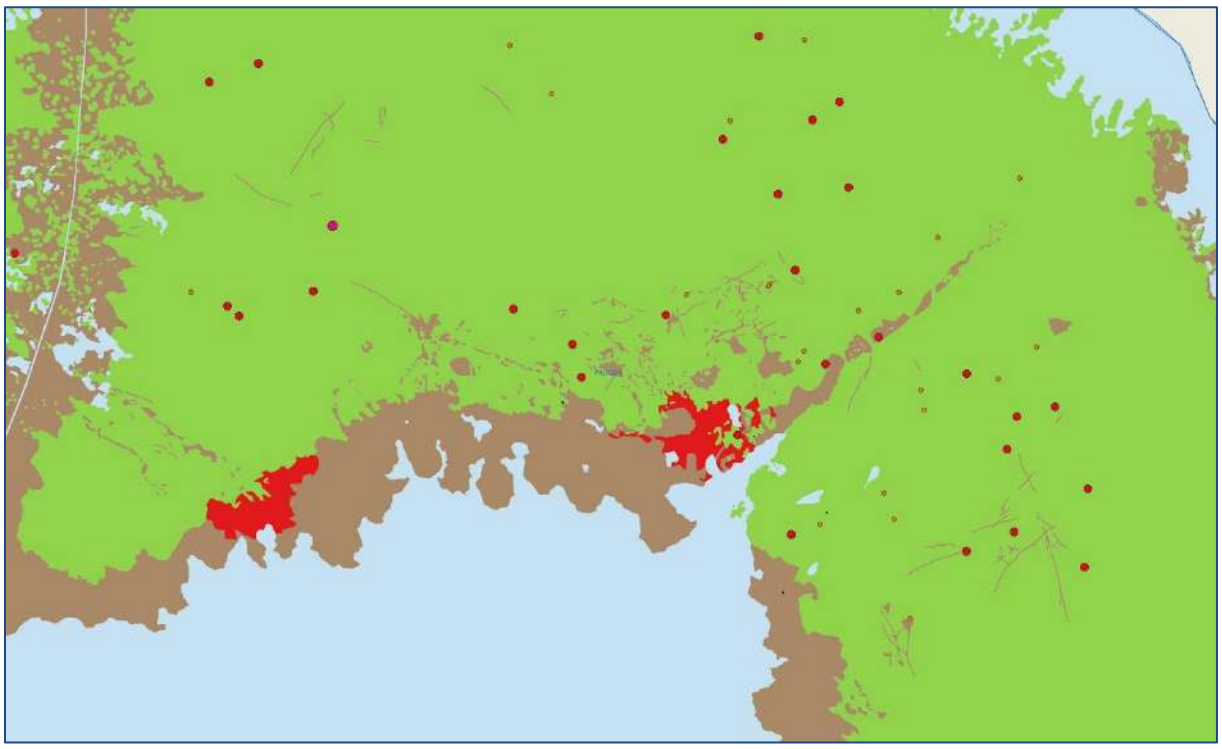


Figure 35 : Cartographie de l'herbier et de la matte morte associée croisée aux données AIS disponibles entre 2010 et 2020 dans la Baie de Cavalière. Les zones en rouge correspondent aux surfaces d'herbier perdues entre 2012 et 2020 (6 800 m² au total). On remarque que les positions AIS ne sont pas situées sur les zones d'herbier perdu en rouge, ce qui laisse penser que la régression de l'herbier dans ce secteur n'est pas forcément liée à la pression d'ancrage.

A l'Est de la baie de Cavalaire sur mer, **peu de traces de mouillage ont été cartographiées dans l'herbier** en comparaison des autres secteurs, la majorité des traces étant présentes en face du port et de part et d'autre de l'émissaire du Pardigon. Cependant, **une étendue de matte morte en limite inférieure d'herbier a été découverte grâce aux données sonar et aux nouvelles observations en plongée tractée**. La très bonne qualité des levés sonar de 2020 (houle absente pendant l'acquisition, aucun bateau ni filet présent en mer à cause du premier confinement, résolution élevée) a ainsi permis de localiser plus facilement la limite inférieure d'herbier ainsi que la limite inférieure du plateau de matte morte.

L'absence de données acoustiques historiques dans ce secteur de la Baie de Cavalaire n'a pas permis d'analyser l'évolution des surfaces d'herbier et de matte morte (l'ancienne cartographie des biocénoses appartient à la société BRL Ingénierie, 2011). Ci-dessous, quelques extraits de l'évolution de la cartographie de l'herbier de posidonie entre 2011 et 2020 dans la baie de Cavalaire :

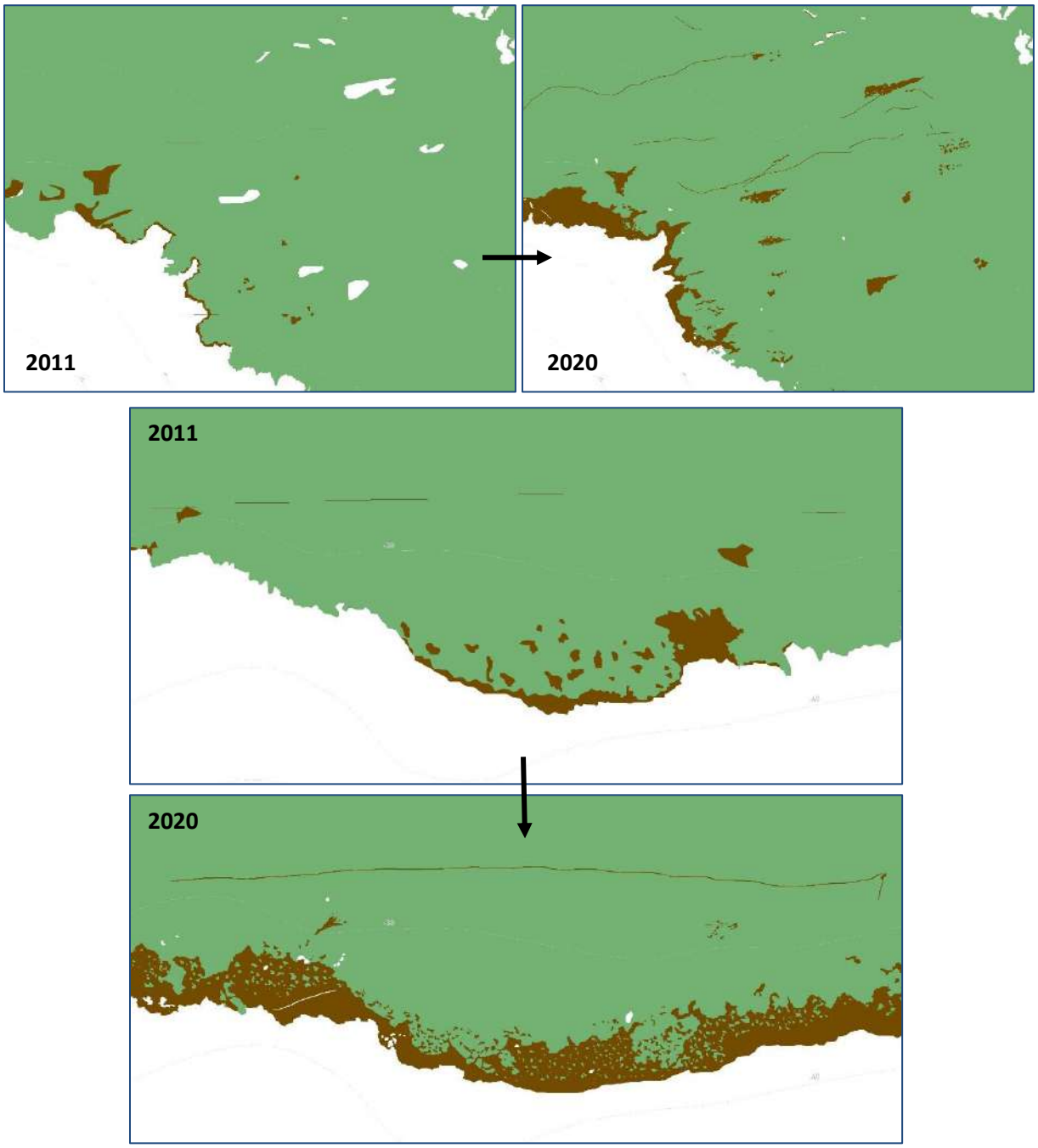
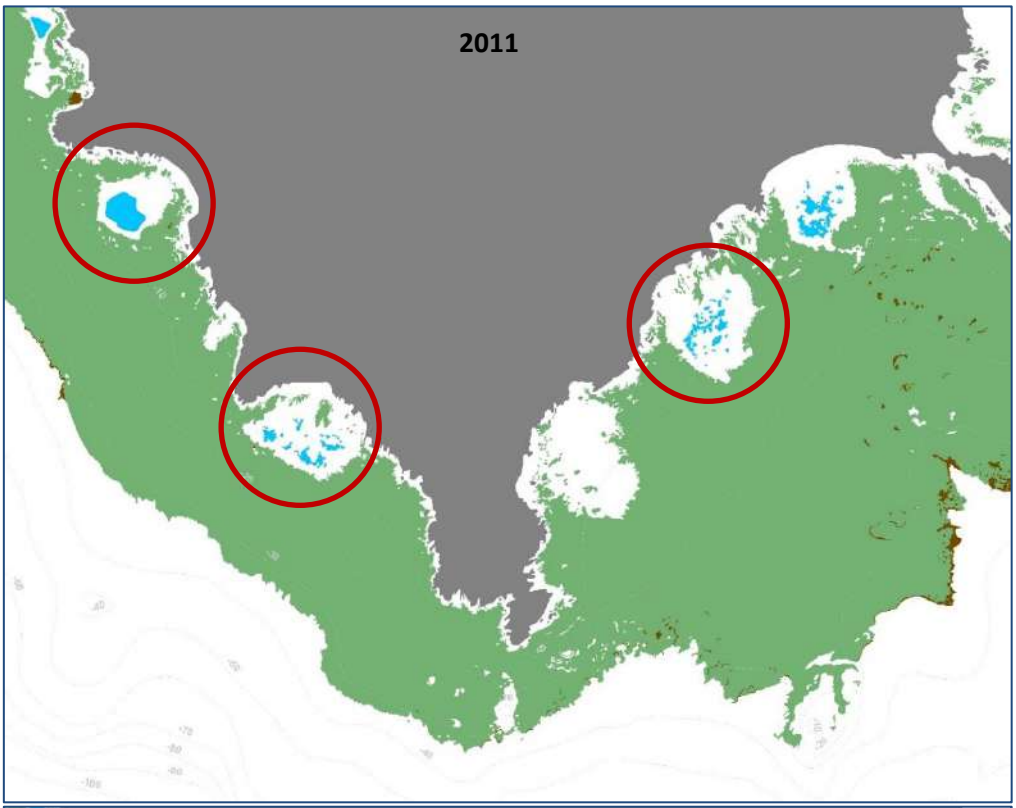
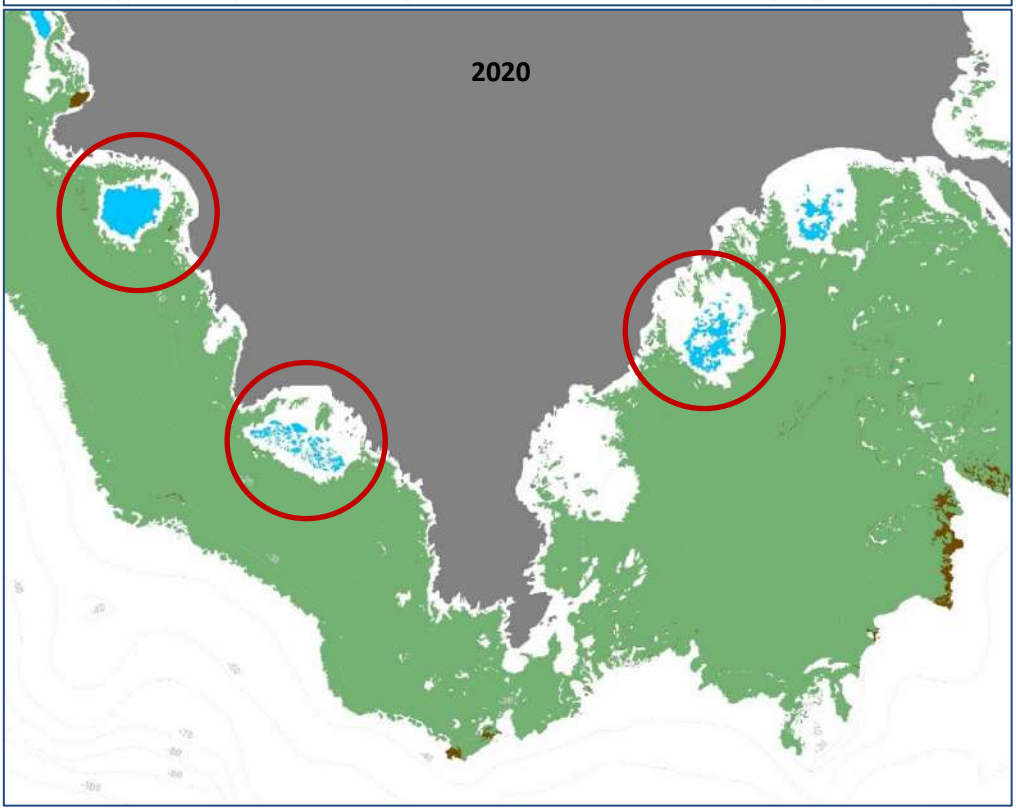


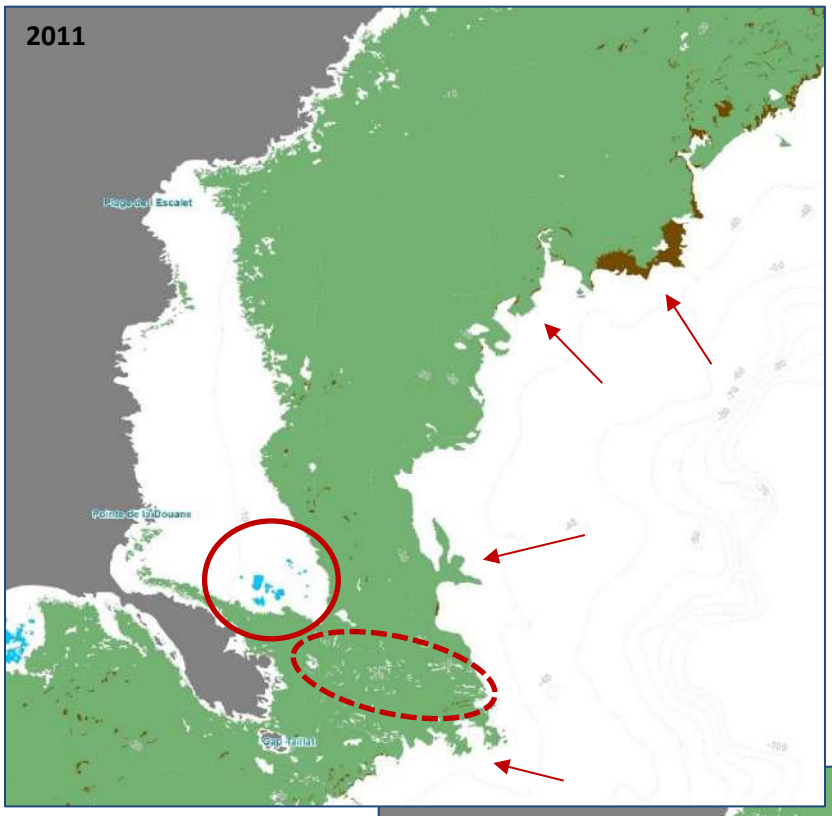
Figure 36 : Extraits de l'ancienne (2011) et de la nouvelle (2020) cartographie de l'herbier de posidonie à l'est de la baie de Cavalaire-sur-Mer.

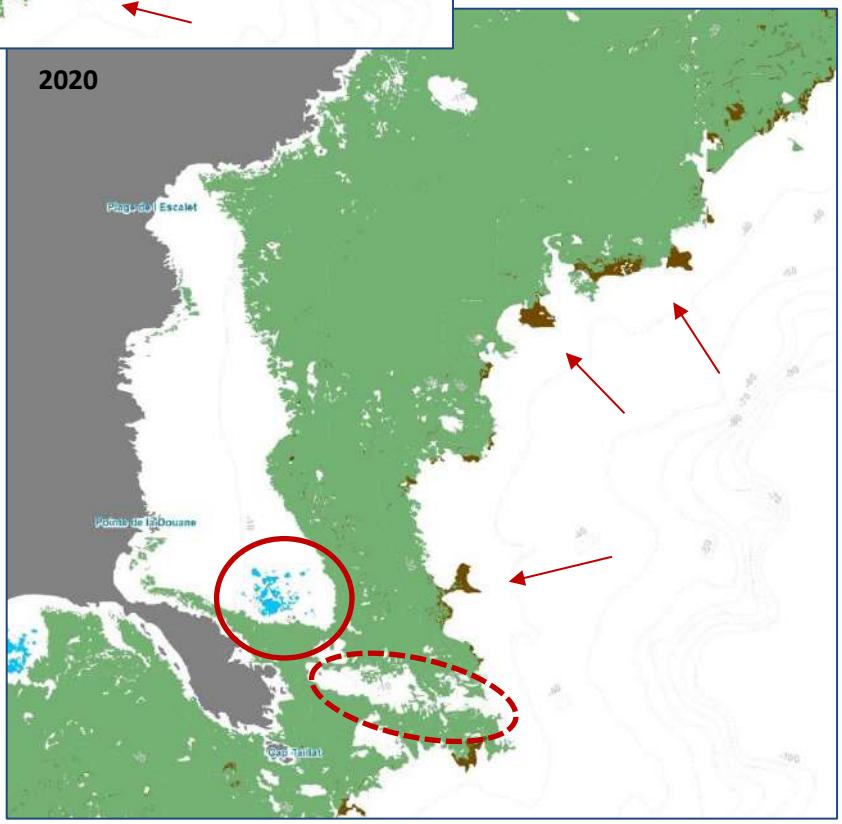
Dans le secteur de Cap Taillat, malgré l'importante fréquentation de plaisanciers de part et d'autre du cap, **très peu de nouvelles traces de mouillage ont été recensées en 2020** (présence de bouées de mouillage). Il n'y a également aucune différence notable en termes de régression de l'herbier ; **l'herbier semble donc stable.** La cartographie a été affinée à certains endroits de la limite inférieure (plus grande surface prospectée et meilleure qualité des données sonar 2020), en profondeur intermédiaire d'herbier (taches de sable) et en limite supérieure d'herbier avec les herbiers à Cymodocées (voir ci-dessous et page suivante).





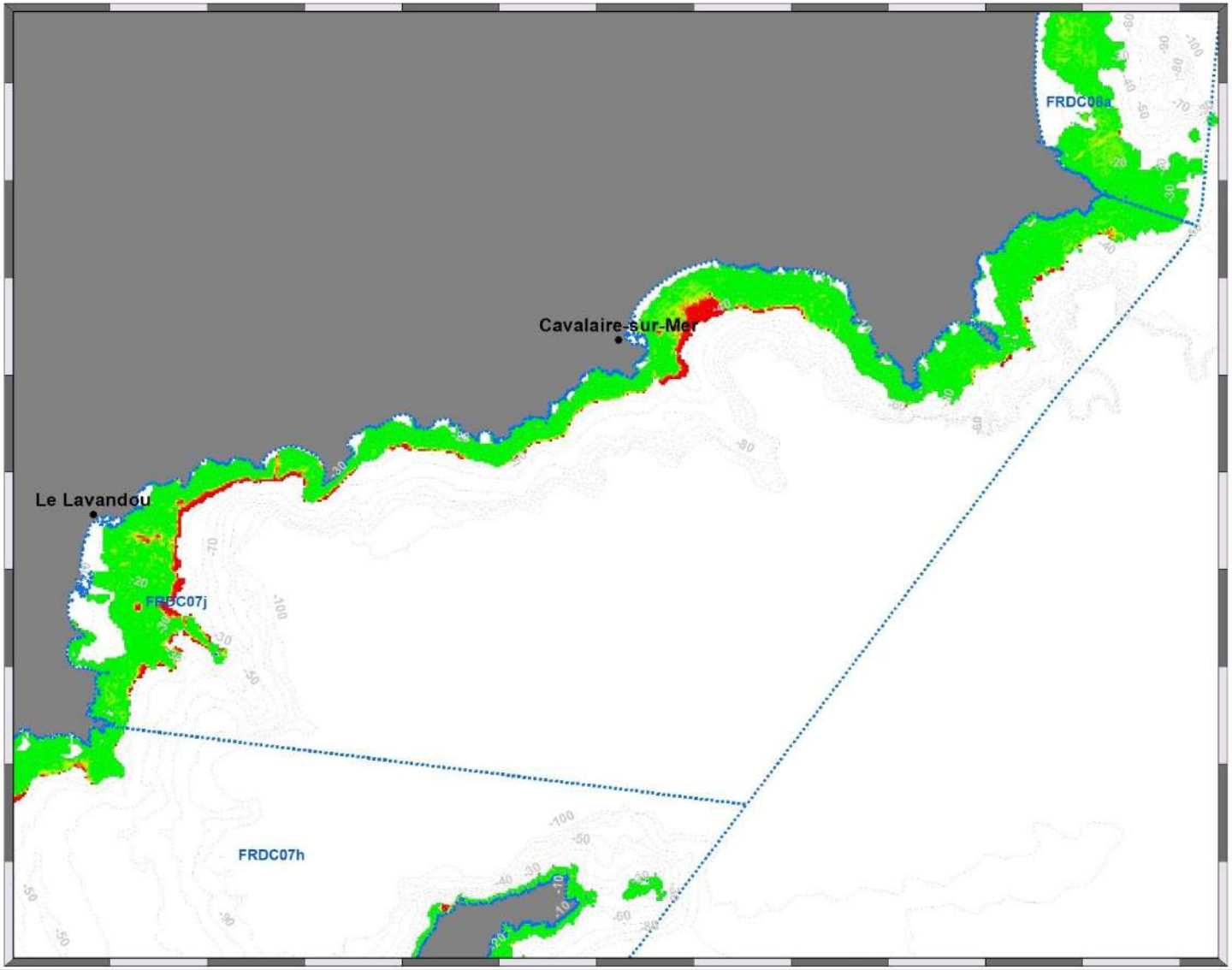
Une zone à l'est du Cap Taillat (en pointillés rouges, figure ci-dessous), précédemment cartographiée comme de l'herbier de posidonie avec quelques taches de roche, a été recartographiée en biocénose des algues infralittorales avec de l'herbier sur roche mais en moindre quantité. La zone prospectée au sonar dans ce secteur est en effet plus grande et a permis de découvrir la présence de grands reliefs rocheux avec de l'herbier sur roche. Des observations en plongée tractée ont été faites mais plus au large au niveau de la limite inférieure d'herbier, ce qui ne nous permet pas de savoir précisément le recouvrement de l'herbier de posidonie sur ce massif rocheux.





Indice de régression

FRDC07j - Cap Bénat - Cap Camarat



Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de régression sur un pixel de 50 m

1

0

N
W E
S

0 1 2 3 4 5 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de régression : Andromède Océanologie, 2021

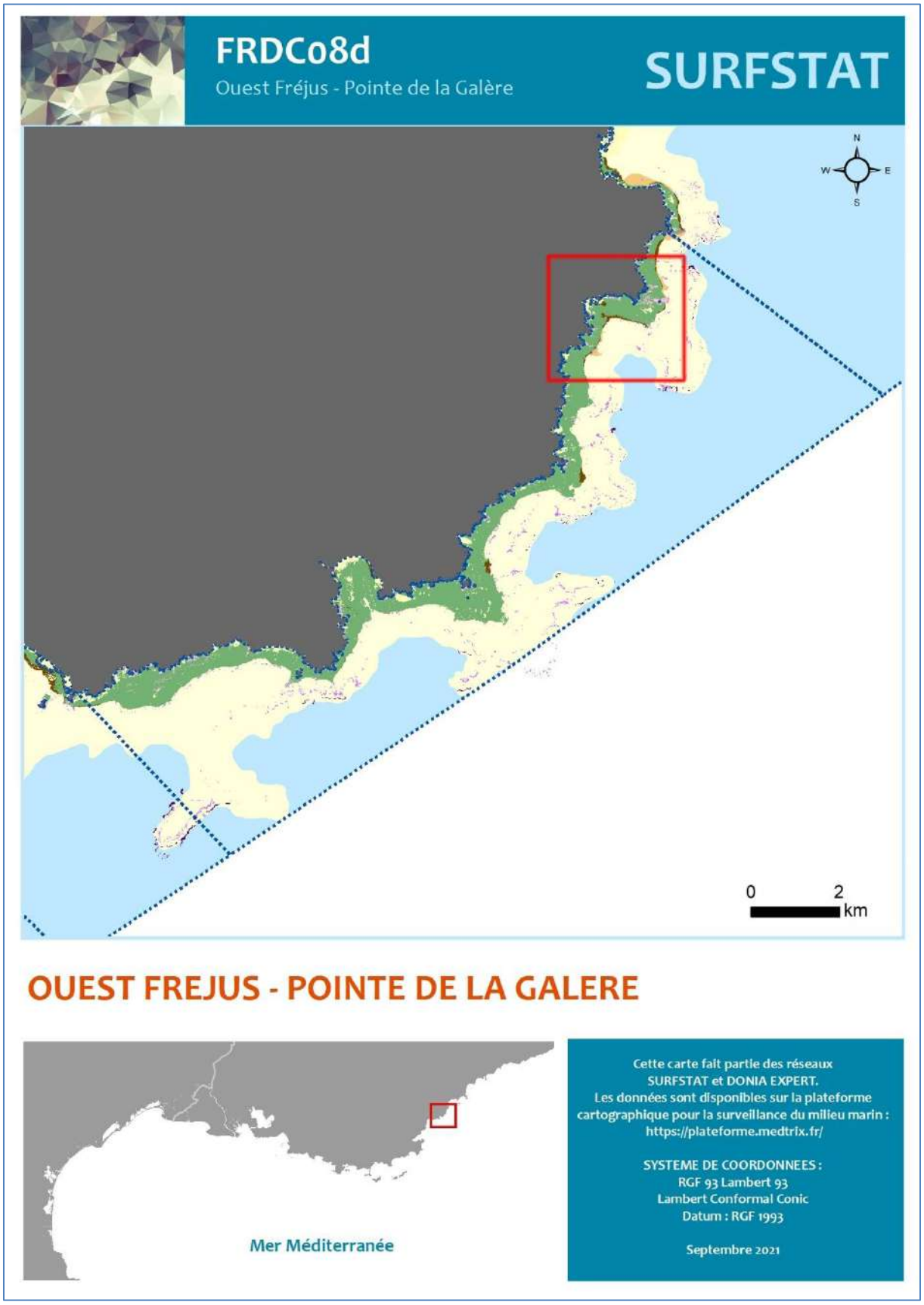
Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

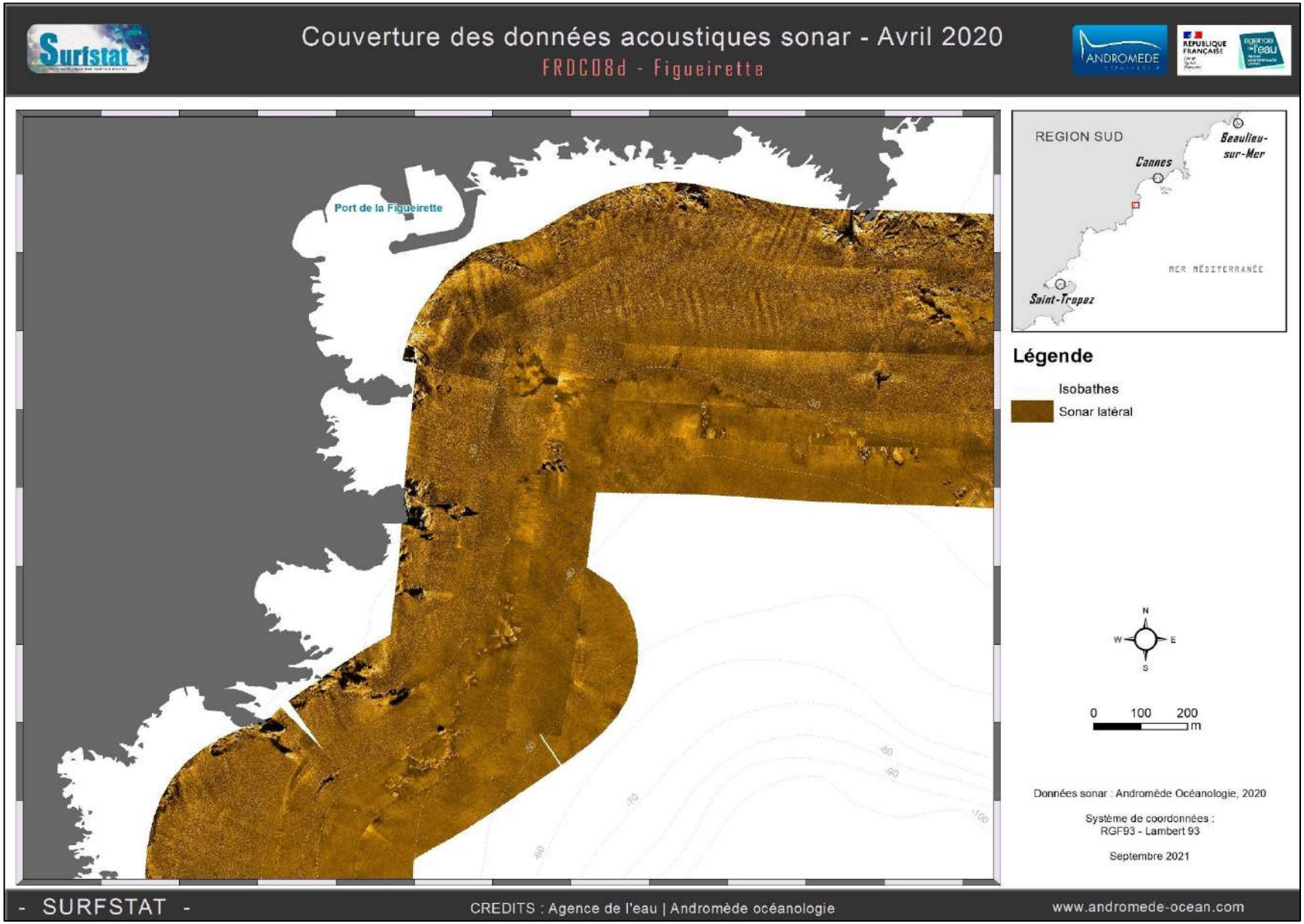
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.7. Masse d'eau FRDC08d : Port de la Figueirette



III.7.1. Sonar latéral

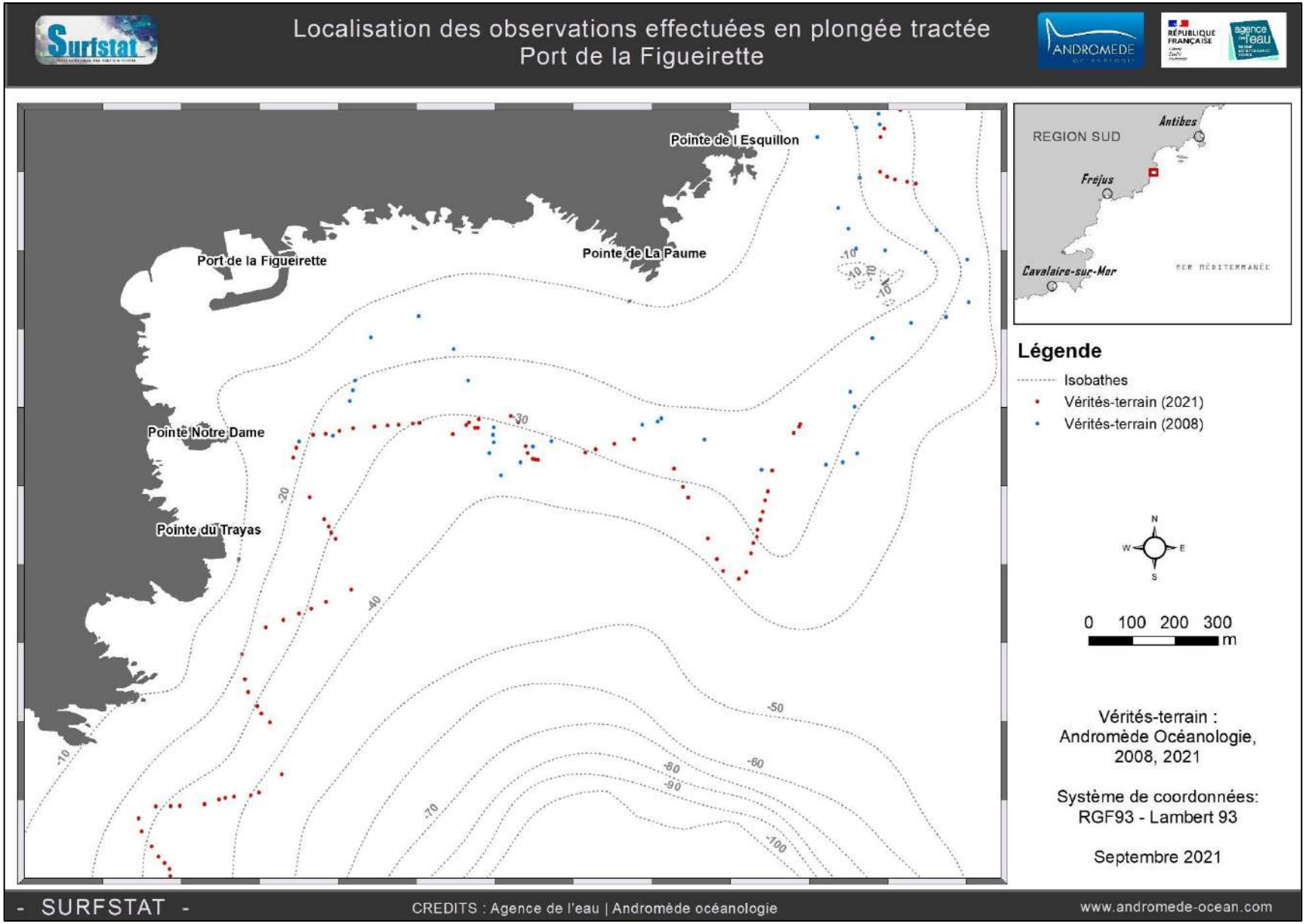
Au total, **200 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises puis traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses aux environs du port de la Figueirette.



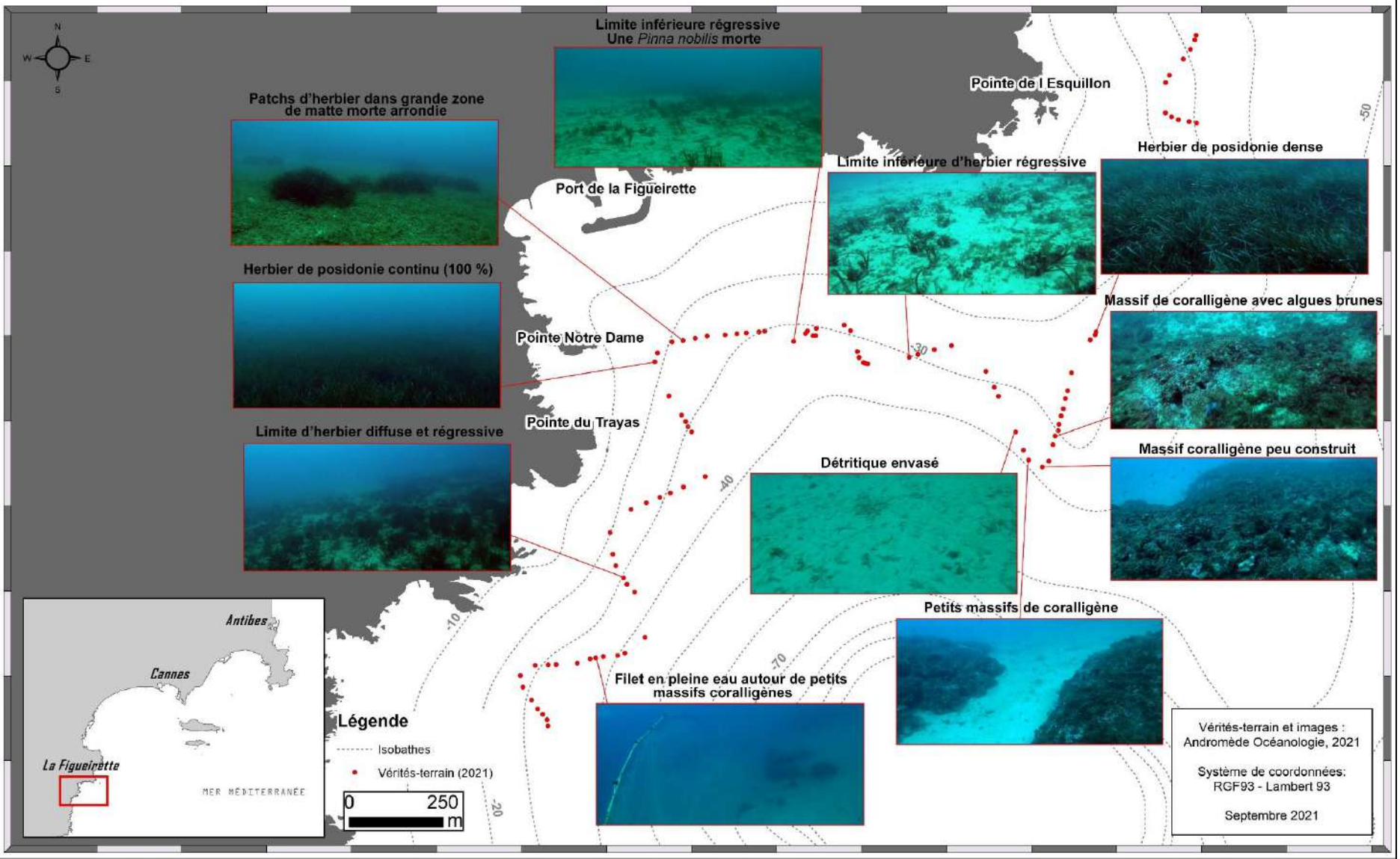
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.7.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée

Près de **80 observations** ont été faites en plongée tractée aux environs du port de la Figueirette pour la validation de la cartographie des biocénoses (points rouges sur la carte ci-dessous), qui complètent les vérités terrain existantes réalisées en 2008 (points bleus sur la carte ci-dessous).



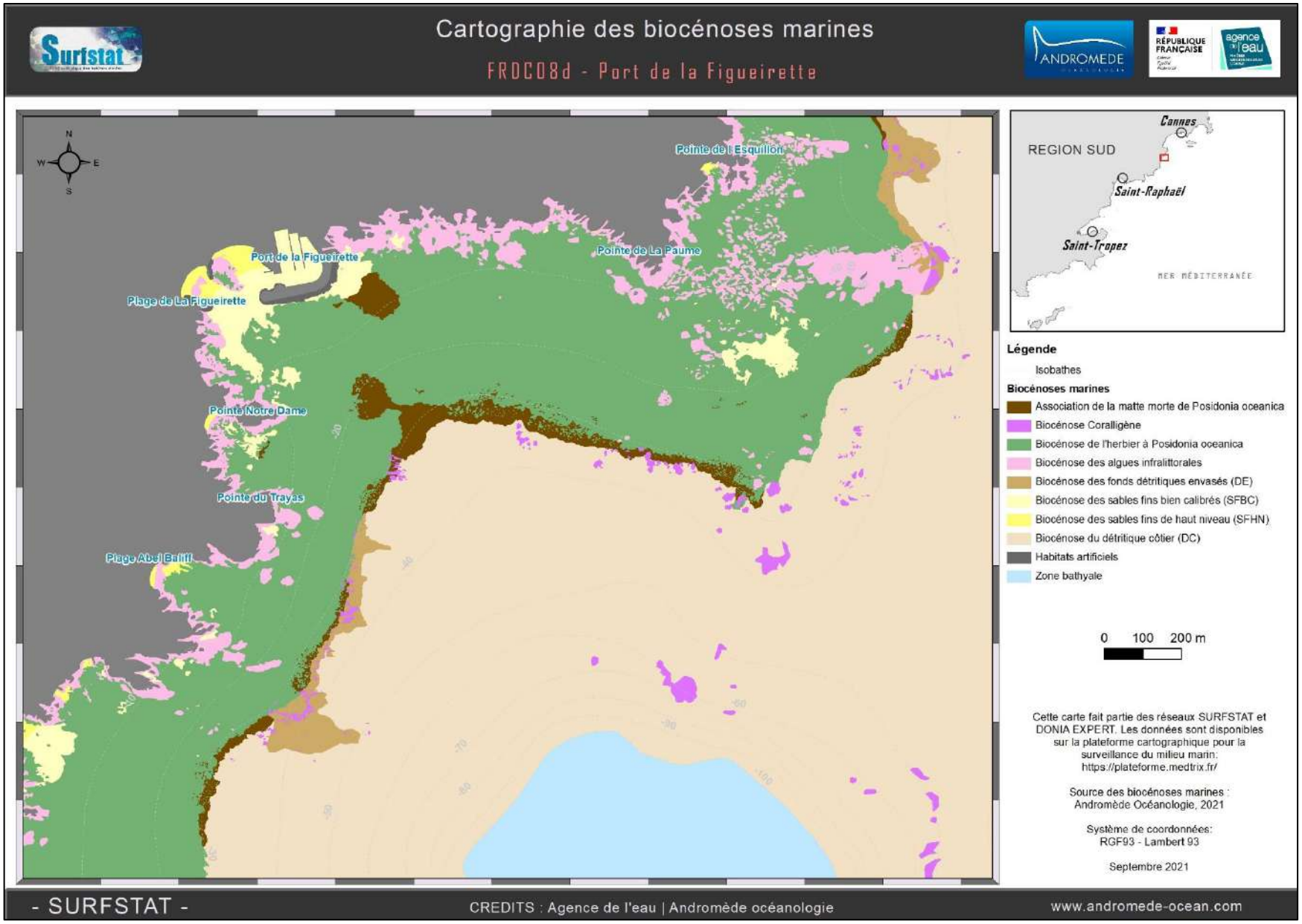
Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Port Figueirette



CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

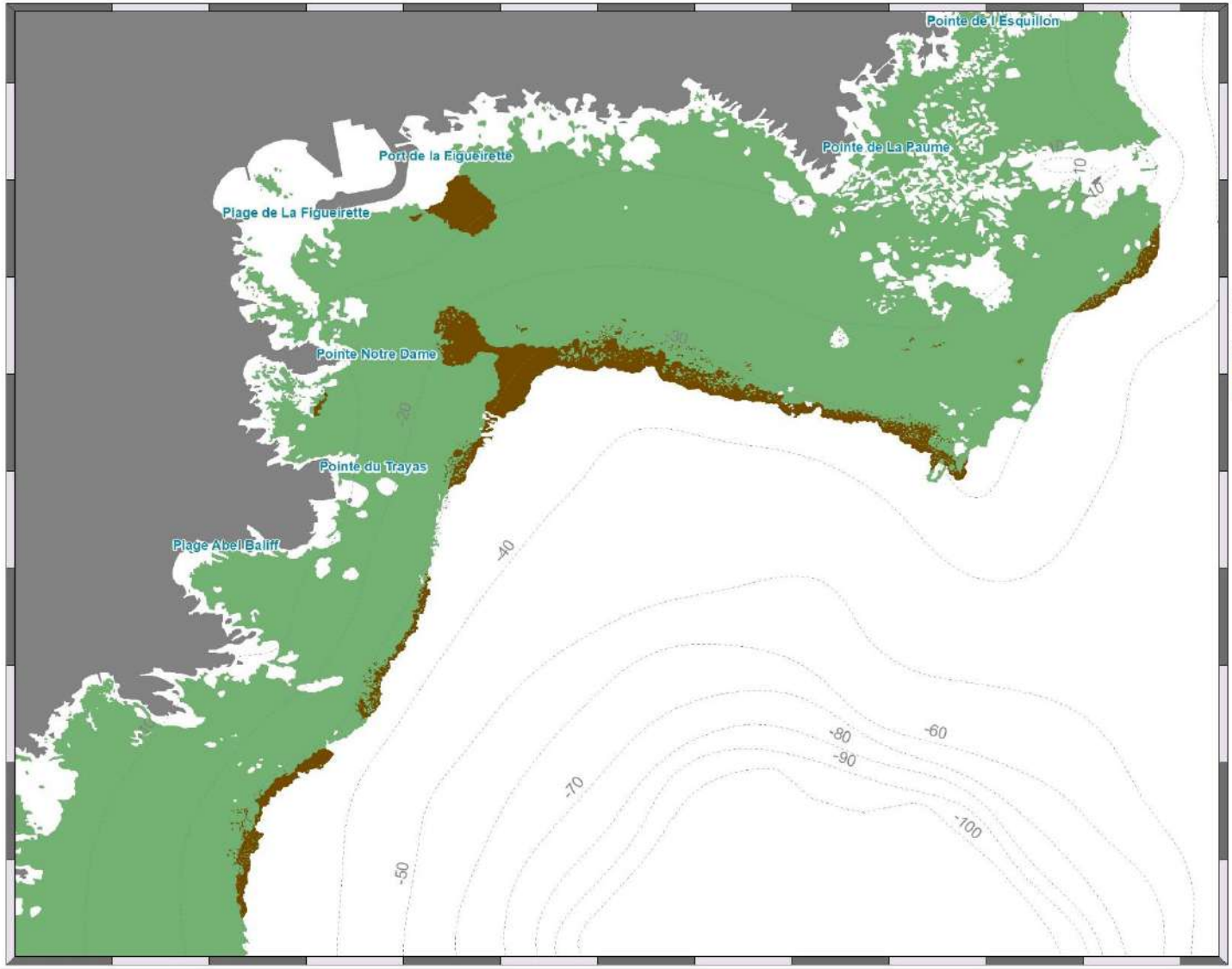
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

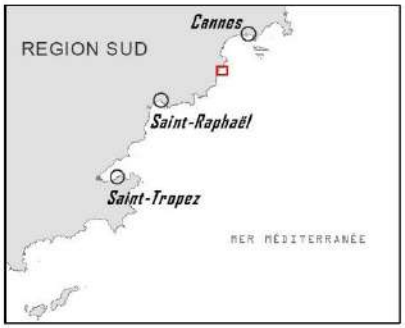
III.7.3. Cartographie des biocénoses marines



Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC08d - Port de la Figueirette





Légende

Isobathes

Biocénoses marines

Association de la matte morte de Posidonia oceanica

Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 100 200 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

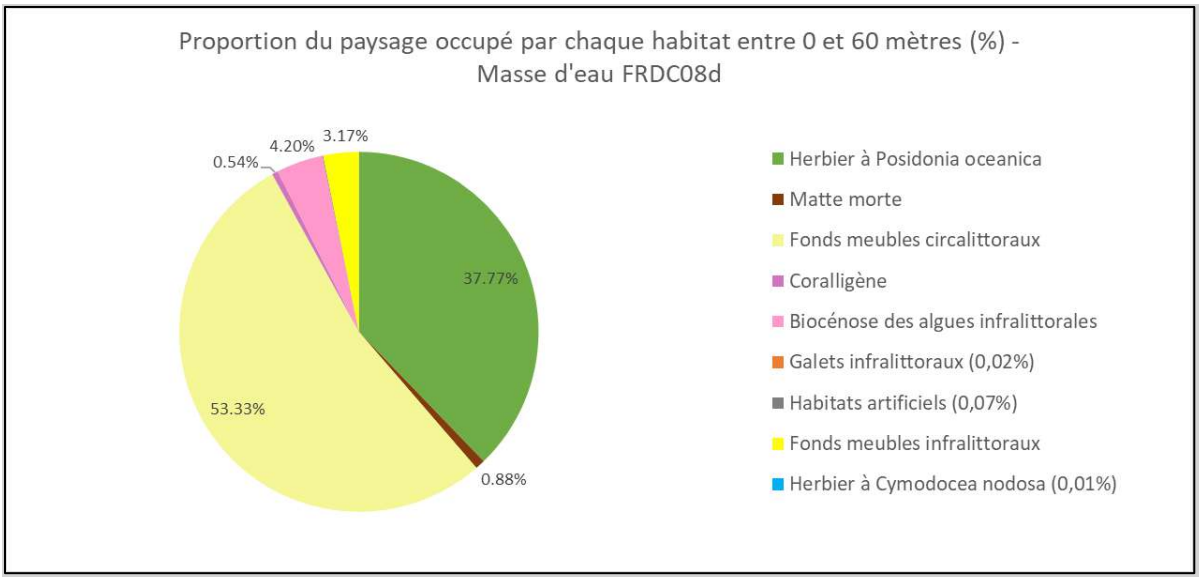
Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.7.4. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC08d « Ouest Fréjus – Pointe de la Galère » comprend 9 habitats entre 0 et -60 mètres dont les deux principaux (>10 % de recouvrement du paysage) sont les fonds meubles circalittoraux (53,33 %) et l'herbier à posidonie (37,77 %). Plus de la moitié du paysage est dominé par une tâche unique de fonds meubles circalittoraux (52,71 %).

Cette masse d'eau présente une **diversité paysagère moyenne** avec une valeur de l'indice de Simpson (0,65) moyenne comparativement aux valeurs régionales. Cet indice est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte suivante.

Les habitats les moins fragmentés (donc qui présentent une continuité et compacité des pixels forte ; AI>90 % et DIVISION<0,9) sont les herbiers à posidonie et les fonds meubles circalittoraux. Les fortes valeurs de l'indice d'agrégation correspondent à une continuité horizontale de ces deux habitats se traduisant par un taux de recouvrement élevé.

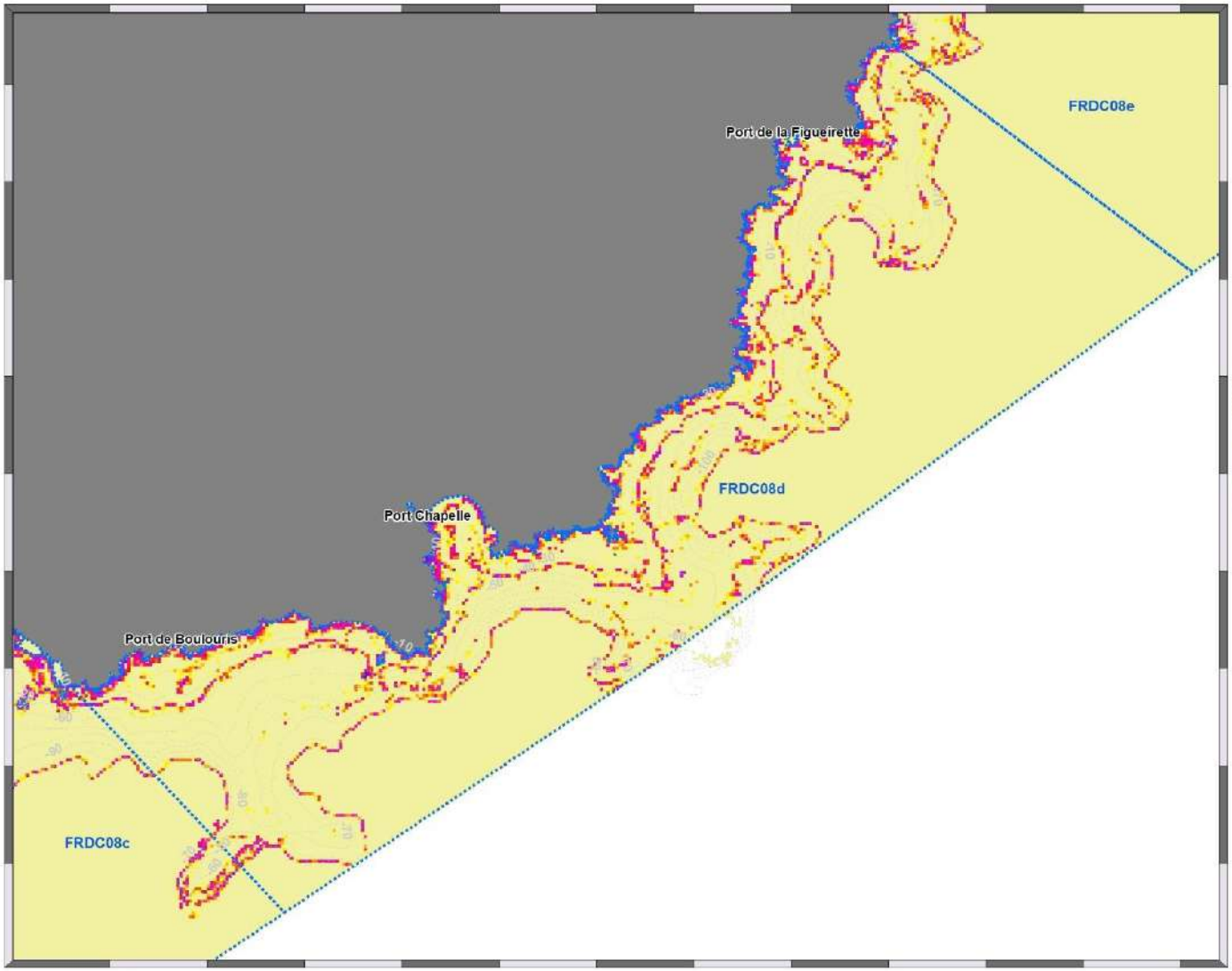
Tableau 17 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC08d.

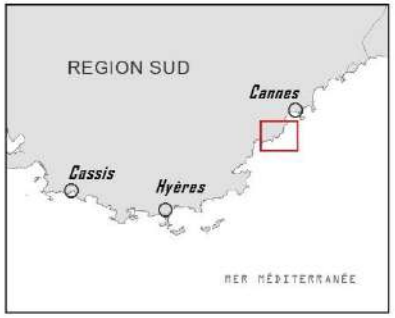
Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC08d	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	2486.02	86.85 – 0 – 4008.79 – 16846.79
Nombre d'habitats dans le paysage	9	7 – 8.4 – 0 – 10
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	98.07	12.8 – 0 – 162.81 – 548.39
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	52.71	25.7 – 0 – 51.37 – 78.51
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.36	0.05 – 0 – 0.92 – 8.06
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.65	0.44 – 0 – 0.66 – 0.84

Tous les autres habitats ont une distribution de taches peu agrégée, par conséquent ils sont assez déconnectés physiquement, en particulier le coralligène, les roches infralittorales, les herbiers à Cymodocées et les habitats artificiels ont un indice d'agrégation assez faible (AI<60 % et DIVISION=0,99).

Indice de diversité de Simpson

FRDC08d - Saint-Raphaël – Pointe de la Galère





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 50 m

Faible

Elevée

N
W E
S

0 1 2 3 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de Simpson : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

L'herbier occupe 65,2 % du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce **taux de recouvrement est fort** par rapport aux autres masses d'eau côtières de la région, la proportion maximale relevée étant de 77,82 %.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières de la région Sud, l'herbier de posidonie de la masse d'eau FRDC08d se caractérise par la présence d'un grande tâche unique comprenant 64,51 % du paysage. Le nombre de taches (42,15 taches/100 ha) et leur taille (1,55 ha) sont moyens en comparaison avec les autres masses d'eau. Ces tâches sont proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux tâches les plus proches est de 14 mètres entre 0 et 40 mètres) et agrégées entre elles (DIVISION=0,58 et AI=93,42 %).

L'herbier de cette masse d'eau n'est pas fragmenté. Il est formé principalement d'une grande entité continue (64,51 %).

Tableau 18 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC08d.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Legende
Masse d'eau	FRDC08d	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	65.2	1.79 – 77.82 – 36.88
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	42.15	1.67 – 141.69 – 42.35
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	64.51	0.61 – 77.49 – 28.87
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	1.55	0.15 – 3.71 – 1.19
Indice de complexité des formes	1.06	1.05 – 1.13 – 1.07
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	13.96	7.49 – 94.76 – 23.84
Indice de fragmentation de l'herbier	0.58	0.4 – 1 – 0.87
Indice d'agrégation entre les taches (%)	93.42	76.73 – 97.25 – 87.94
Indice de régression de l'herbier	0.02	0.01 – 0.59 – 0.18

En face du port de Figueirette, peu de nouvelles traces de mouillage ont été observées au sonar latéral.

Cependant, une grande tache de matte morte peut être formée par **l'impact d'une bombe** pendant la seconde Guerre Mondiale a pu être cartographiée en profondeur intermédiaire d'herbier (carré jaune, figure suivante). Une seconde étendue de matte morte, due à la présence de **bassins d'aquacultures**, et déjà cartographiée à la suite de la mission SURFSTAT en 2014 (mise à jour de la cartographie des petits fonds), est toujours présente au sud-est du port de la Figueirette (carré rouge, figure suivante). La limite inférieure d'herbier a également pu être cartographiée plus finement. **La limite inférieure est plutôt diffuse et régressive** et cette typologie s'étend plus au sud (voir page suivante). Aucune carte d'évolution des surfaces d'herbier n'a pu être faite dû à l'absence de données sonar lors de la mission cartographique effectuée dans ce secteur en 2008.

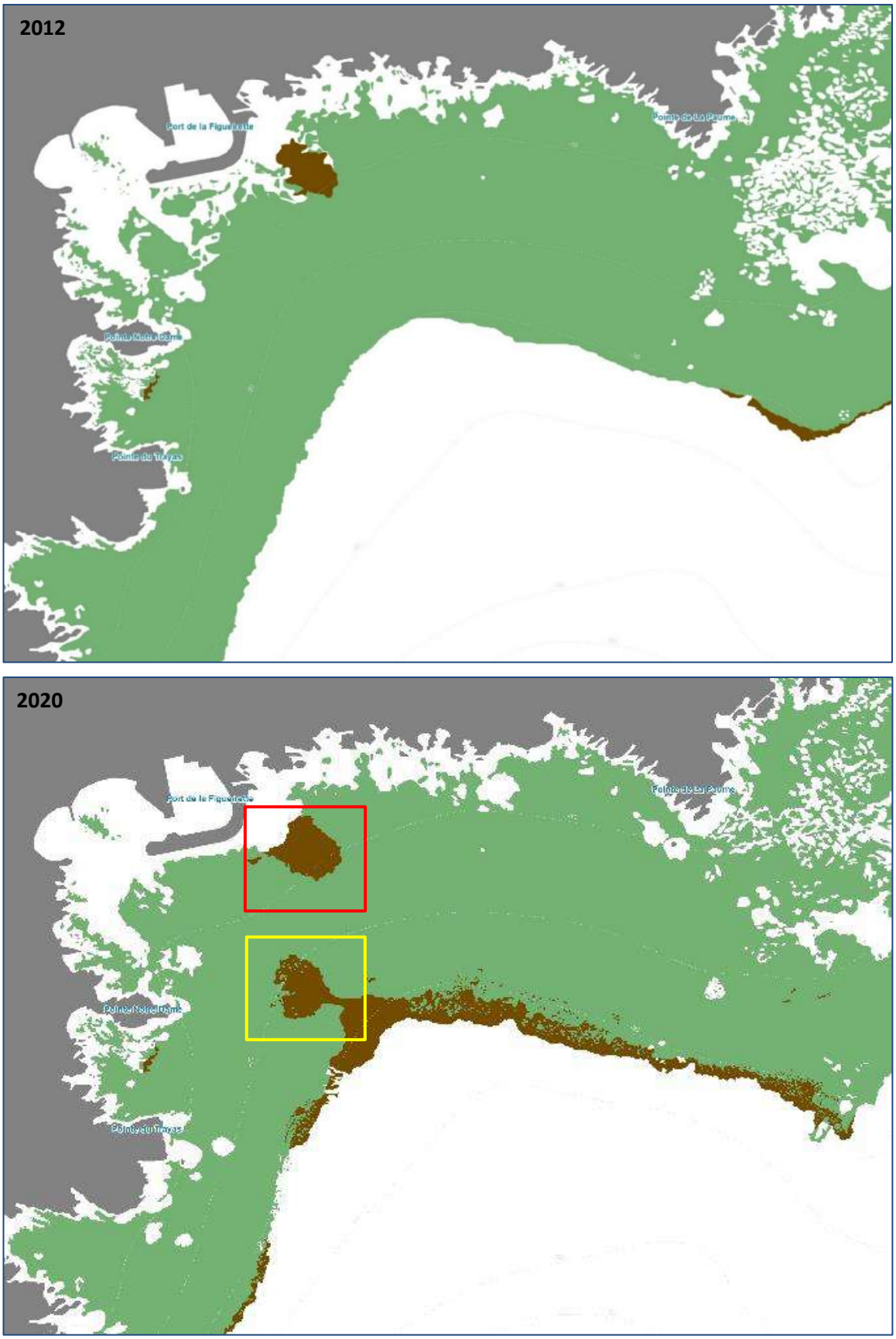
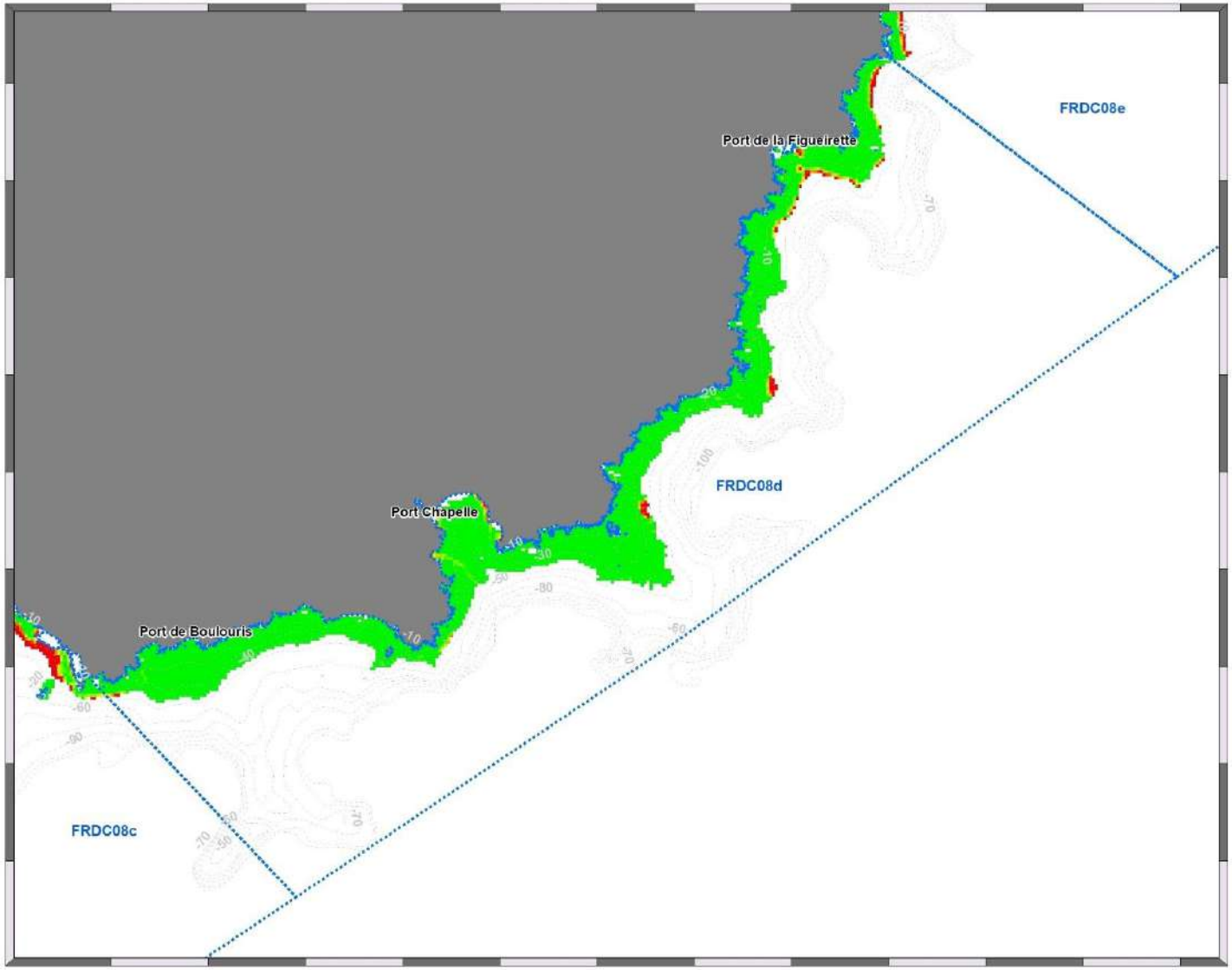
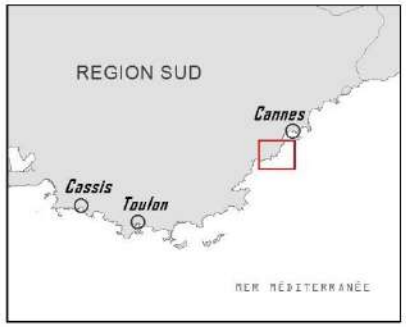


Figure 37 : Ancienne (2012) et nouvelle (2020) cartographie de l'herbier de posidonie au large du port de Figuerette. Le carré jaune illustre ce qui pourrait être l'impact d'une bombe, et le carré rouge celui de bassins d'aquaculture.

Indice de régression

FRDC08d - Saint-Raphaël – Pointe de la Galère





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de régression sur un pixel de 50 m

1

0

N
W E
S

0 1 2 3 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de régression : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

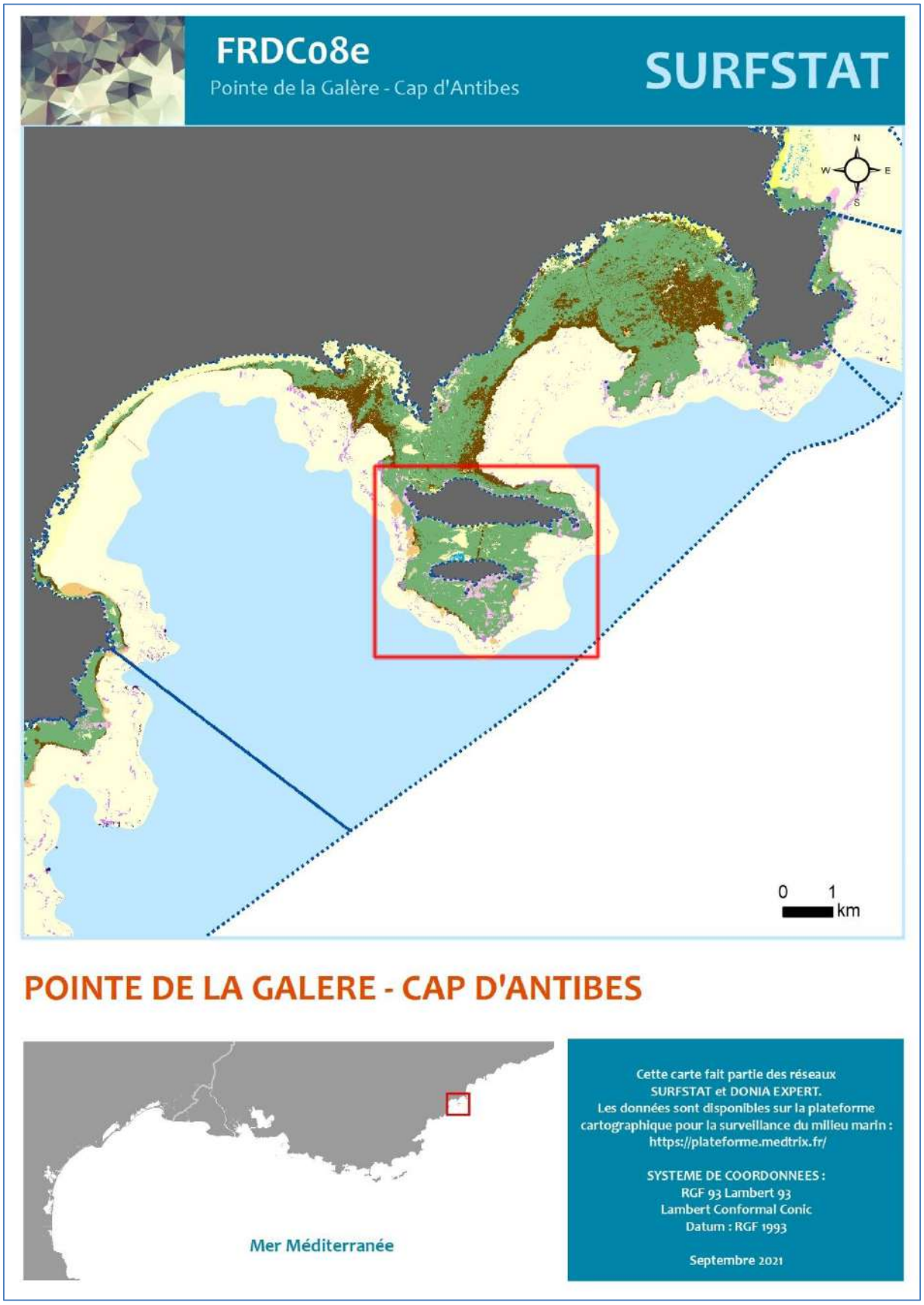
Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

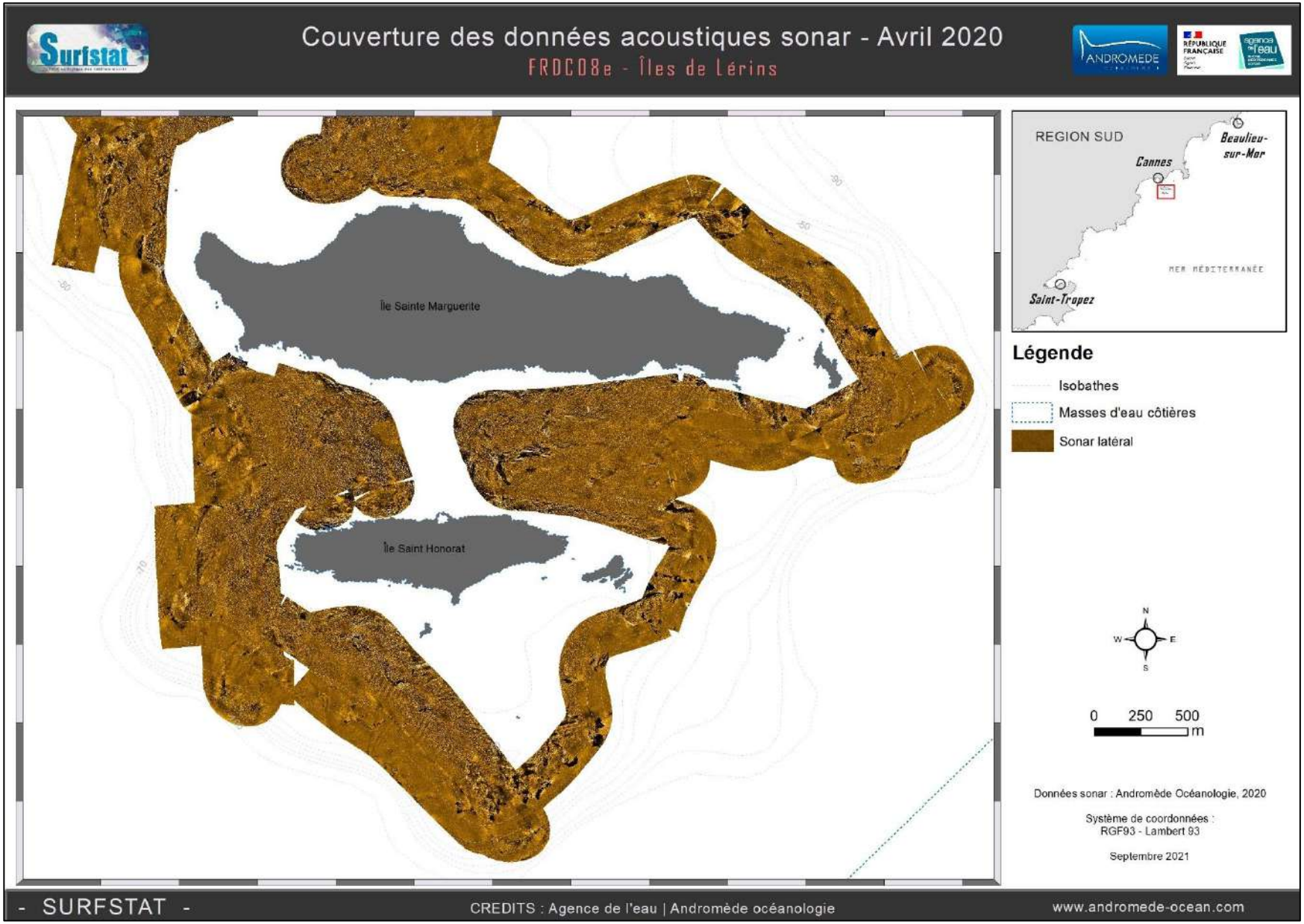
www.andromede-ocean.com

III.8. Masse d'eau FRDC08e : Îles de Lérins



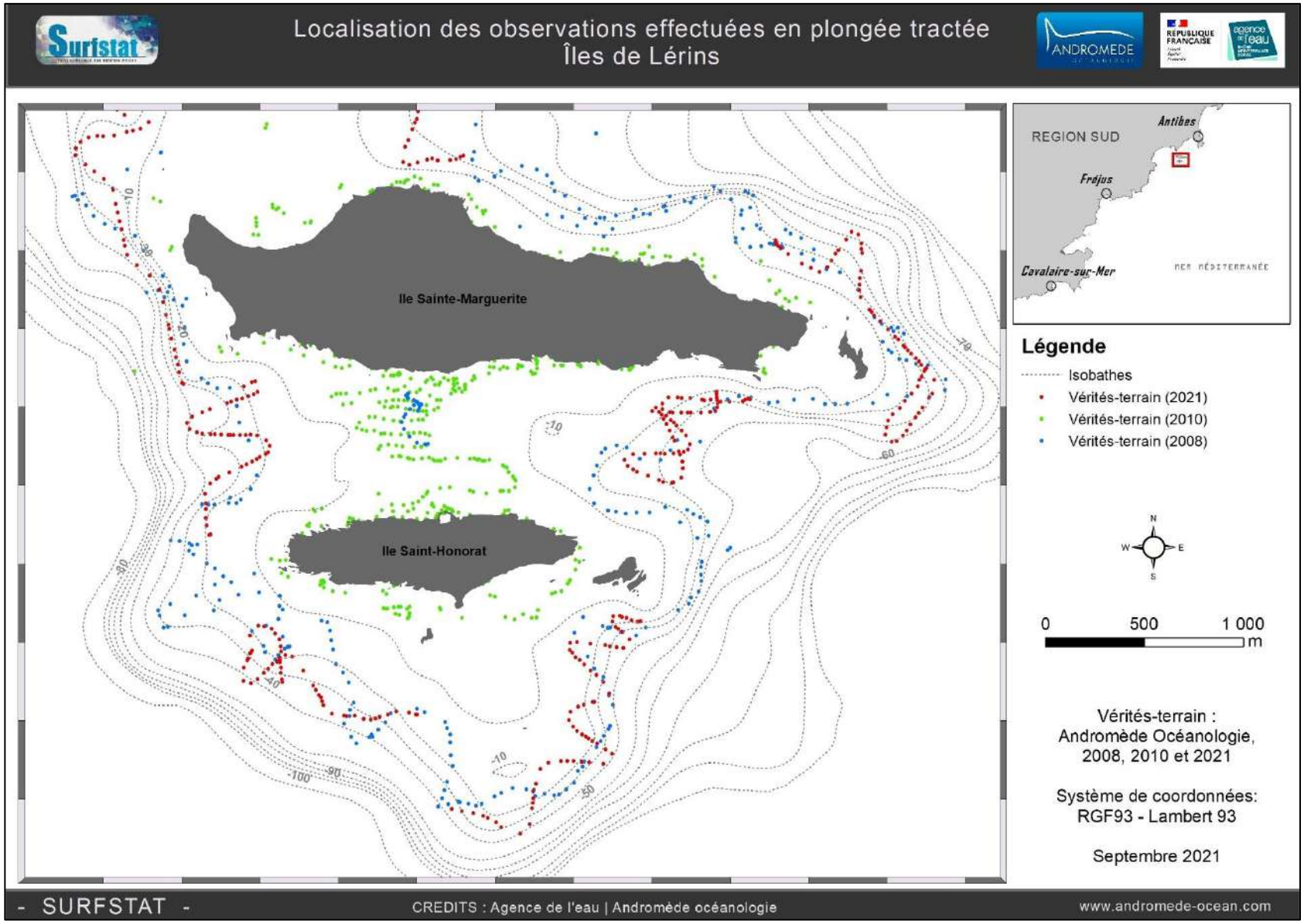
III.8.1. Sonar latéral

Au total, **550 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises puis traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses autour des îles de Lérins.

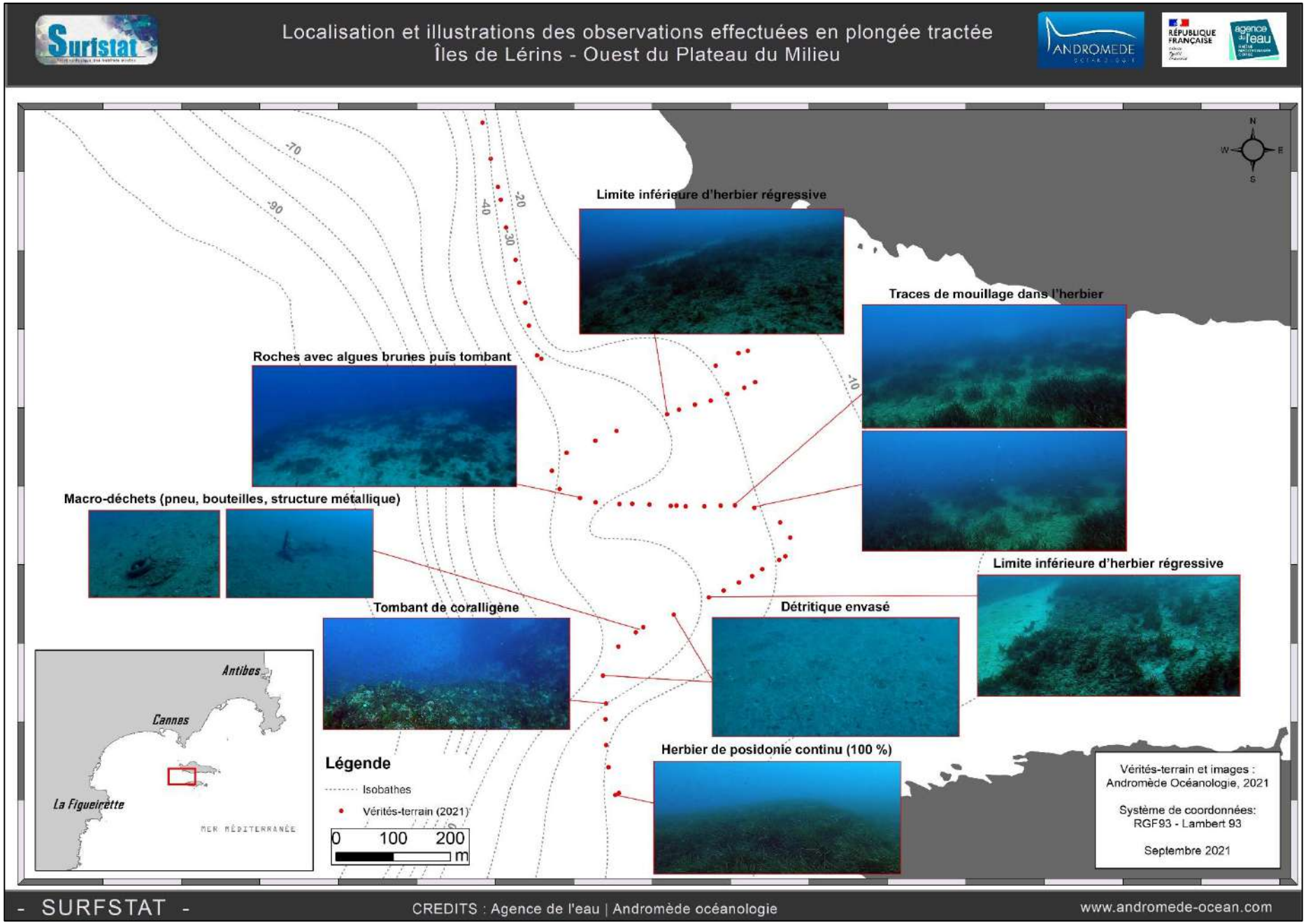


III.8.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée

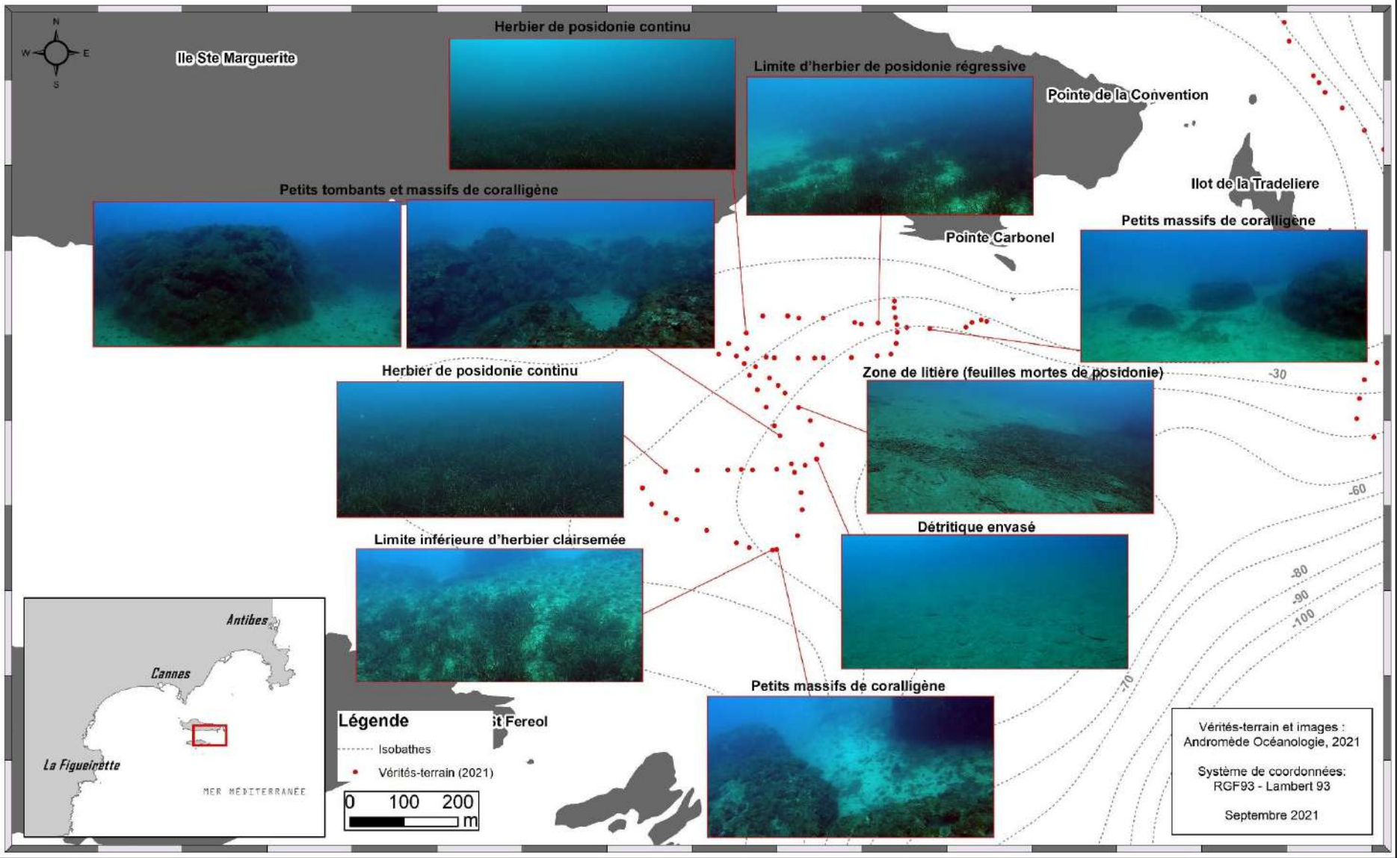
Près de **340 observations** ont été faites en plongée tractée en 2021 autour des îles de Lérins pour la validation de la cartographie des biocénoses (points rouges dans la carte ci-dessous), qui complètent les vérités terrain existantes réalisées en 2008 (points bleus dans la carte ci-dessous) et 2010 (points verts dans la carte ci-dessous).



ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Îles de Lérins - Ouest du Plateau du Milieu
Limite inférieure d'herbier régressive
Traces de mouillage dans l'herbier
Roches avec algues brunes puis tombant
Macro-déchets (pneu, bouteilles, structure métallique)
Limite inférieure d'herbier régressive
Tombant de coralligène
Détritique envasé
Herbier de posidonie continu (100 %)
Antibes
Cannes
La Figueirette
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Vérités-terrain (2021)
0 100 200 m
Vérités-terrain et images : Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées: RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Îles de Lérins - Est du Plateau du Milieu



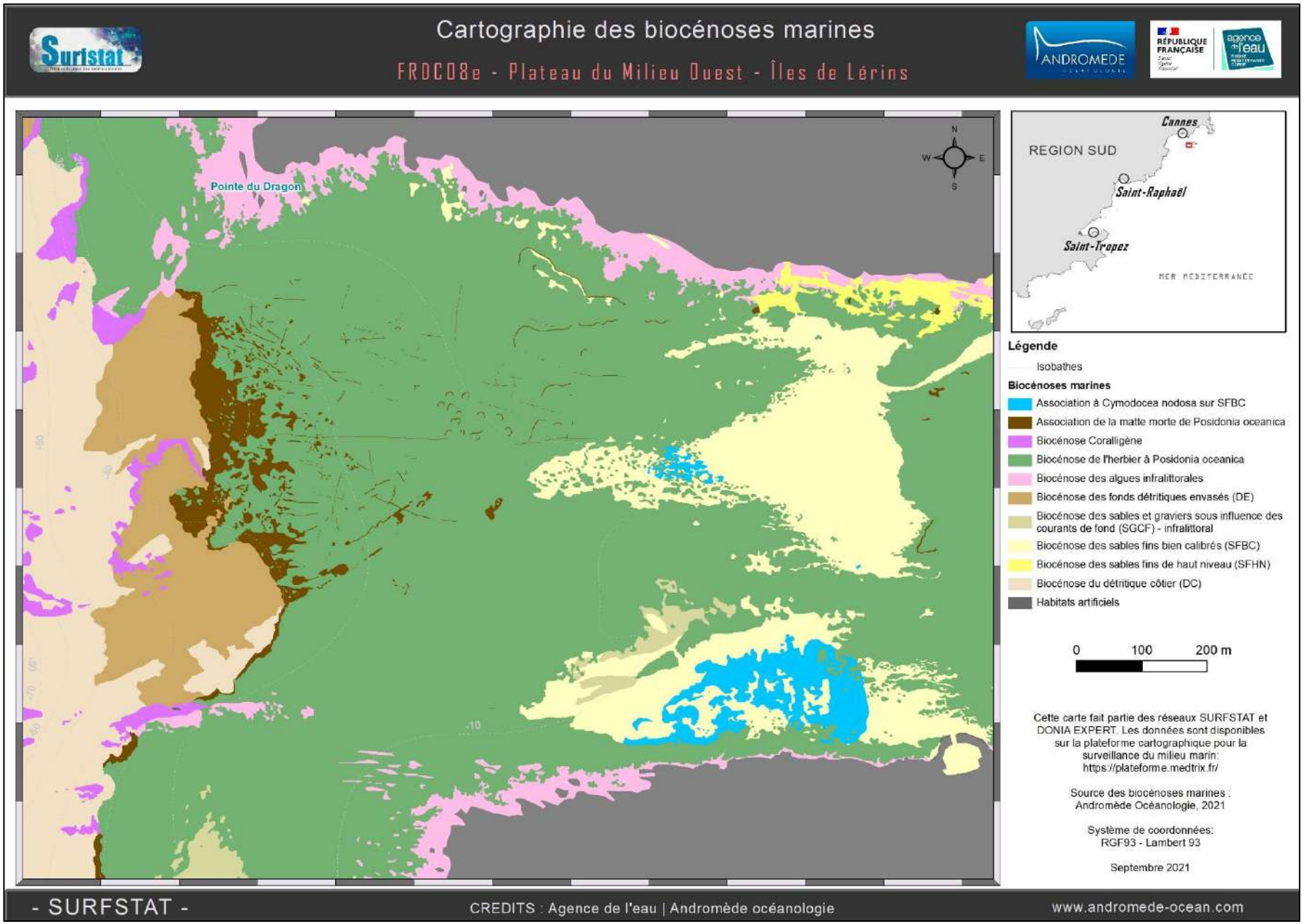
- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

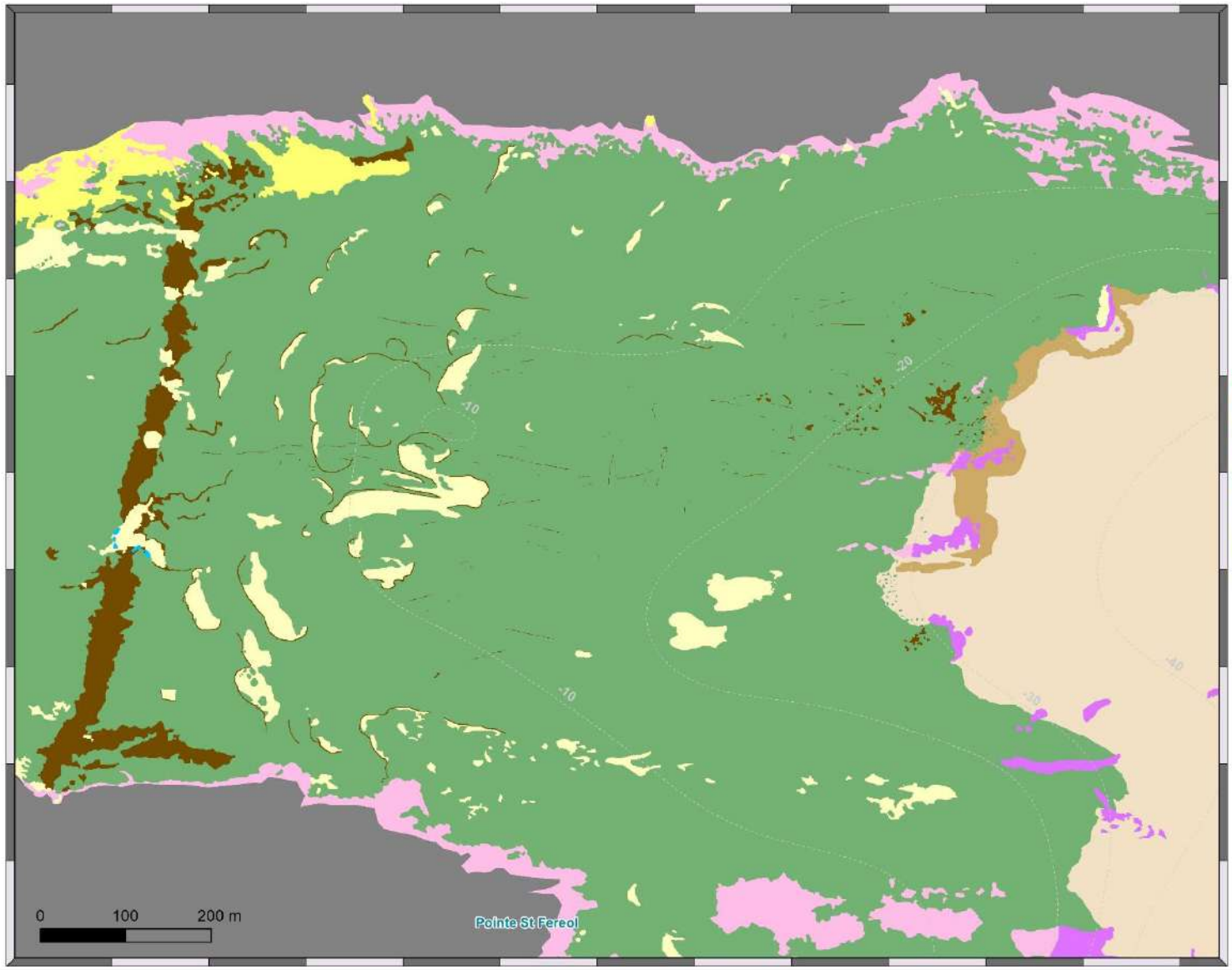
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

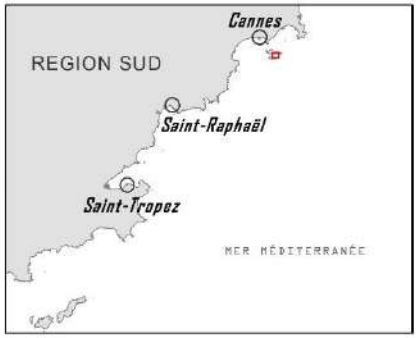
III.8.3. Cartographie des biocénoses marines



Cartographie des habitats marins actualisée en 2020

FRDC08e - Plateau du Milieu Est - Îles de Lérins





Légende

Isobathes

Habitats marins

- Association à Cymodocea nodosa sur SFBC
- Association de la matte morte de Posidonia oceanica
- Biocénose Coralligène
- Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
- Biocénose des algues infralittorales
- Biocénose des fonds détritiques envasés (DE)
- Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)
- Biocénose des sables fins de haut niveau (SFHN)
- Biocénose du détritique côtier (DC)
- Habitats artificiels

N
W E
S

Cette carte fait partie des réseaux SURFSTAT et DONIA EXPERT. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin:

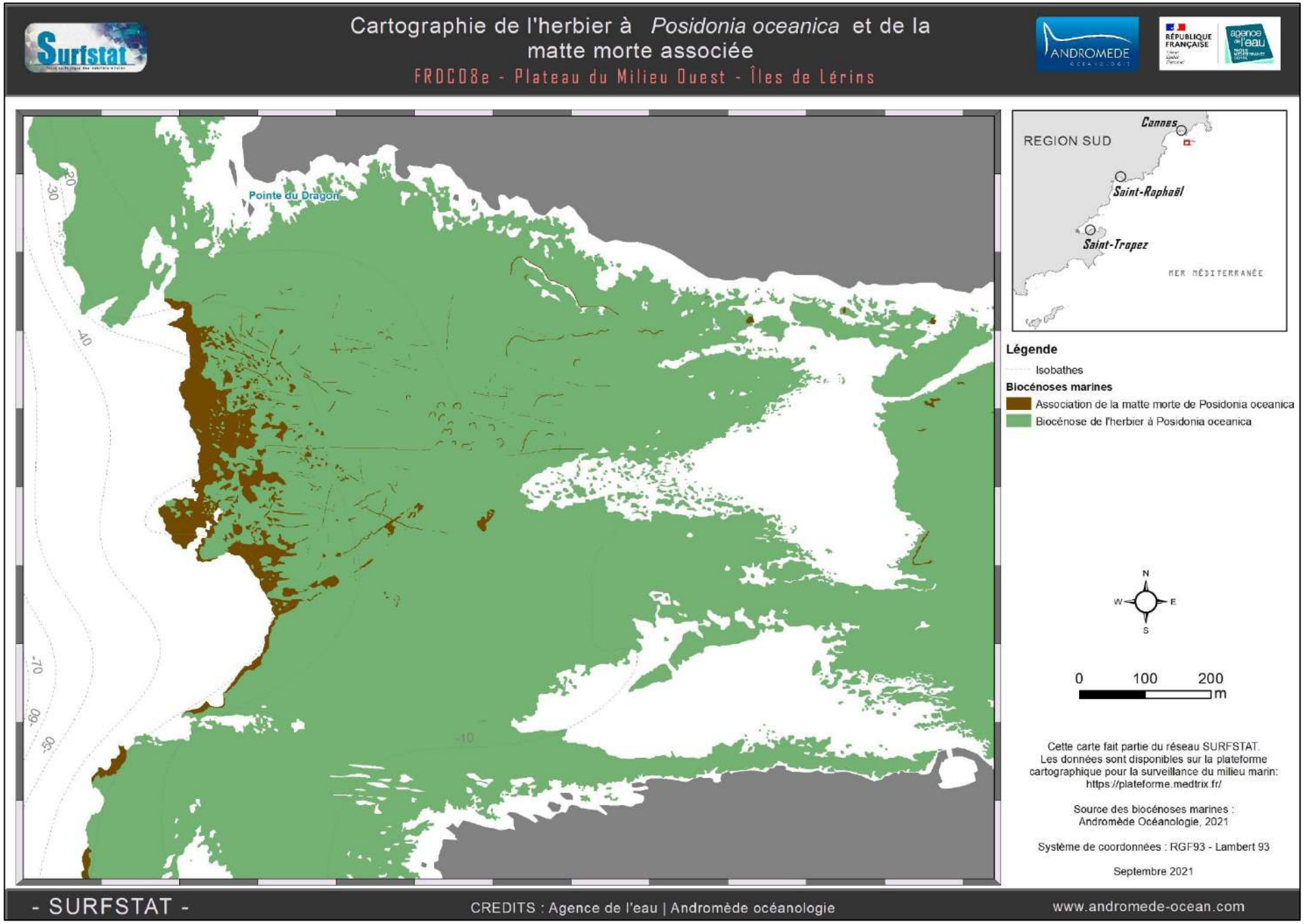
www.plateforme.medtrix.fr

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Juin 2021

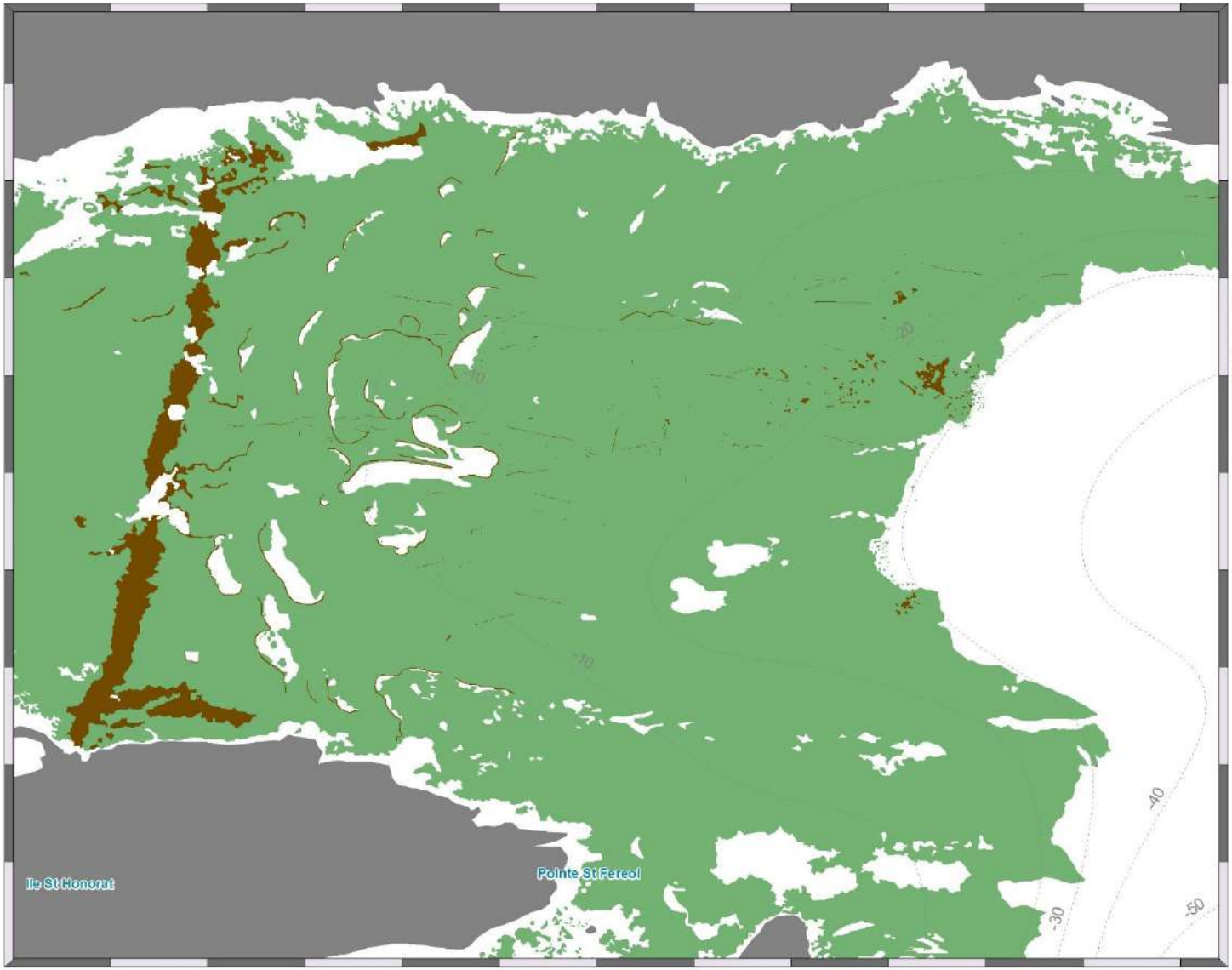
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

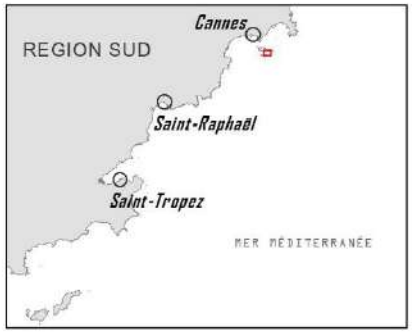
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE


Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée
FRDC08e - Plateau du Milieu Ouest - Îles de Lérins
Pointe du Dragon
-20
-30
-40
-70
-60
-50
-10
REGION SUD
Cannes
Saint-Raphaël
Saint-Tropez
MER MÉDITERRANÉE
Légende
Isobathes
Biocénoses marines
Association de la matte morte de Posidonia oceanica
Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica
N
W
E
S
0
100
200
m
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/
Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021
Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93
Septembre 2021
- SURFSTAT -
CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie
www.andromede-ocean.com

Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC08e - Plateau du Milieu Est - Îles de Lérins





Légende

Isobathes

Biocénoses marines

- Association de la matte morte de Posidonia oceanica
- Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 100 200 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

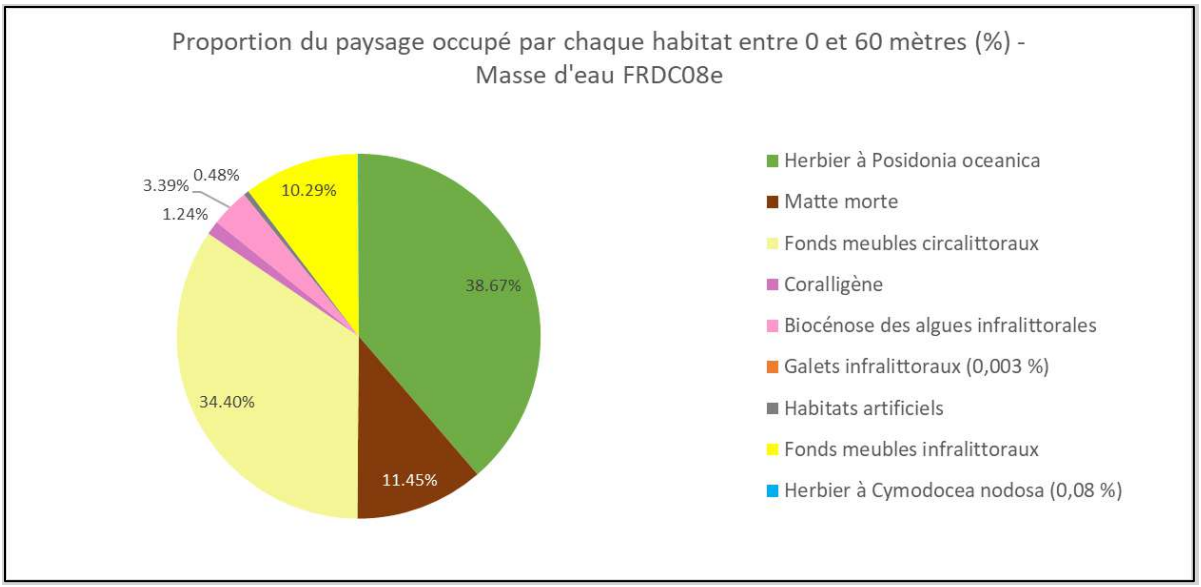
Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.8.4. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC08e « Pointe de la Galère – Cap d'Antibes » comprend 9 habitats entre 0 et -60 mètres dont les quatre principaux (>10 % de recouvrement du paysage) sont la biocénose de l'herbier à posidonie (38,67 %), les fonds meubles circalittoraux (34,40 %) et infralittoraux (10,29 %) et l'association de la matte morte de Posidonie (11,45 %). Un tiers du paysage est dominé par une tâche unique de fonds meubles circalittoraux. A noter sur cette masse d'eau la dominance de la biocénose de l'herbier à posidonie également entre 0 et -20 mètres et 0 et -40 mètres.

Tableau 19 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC08e.

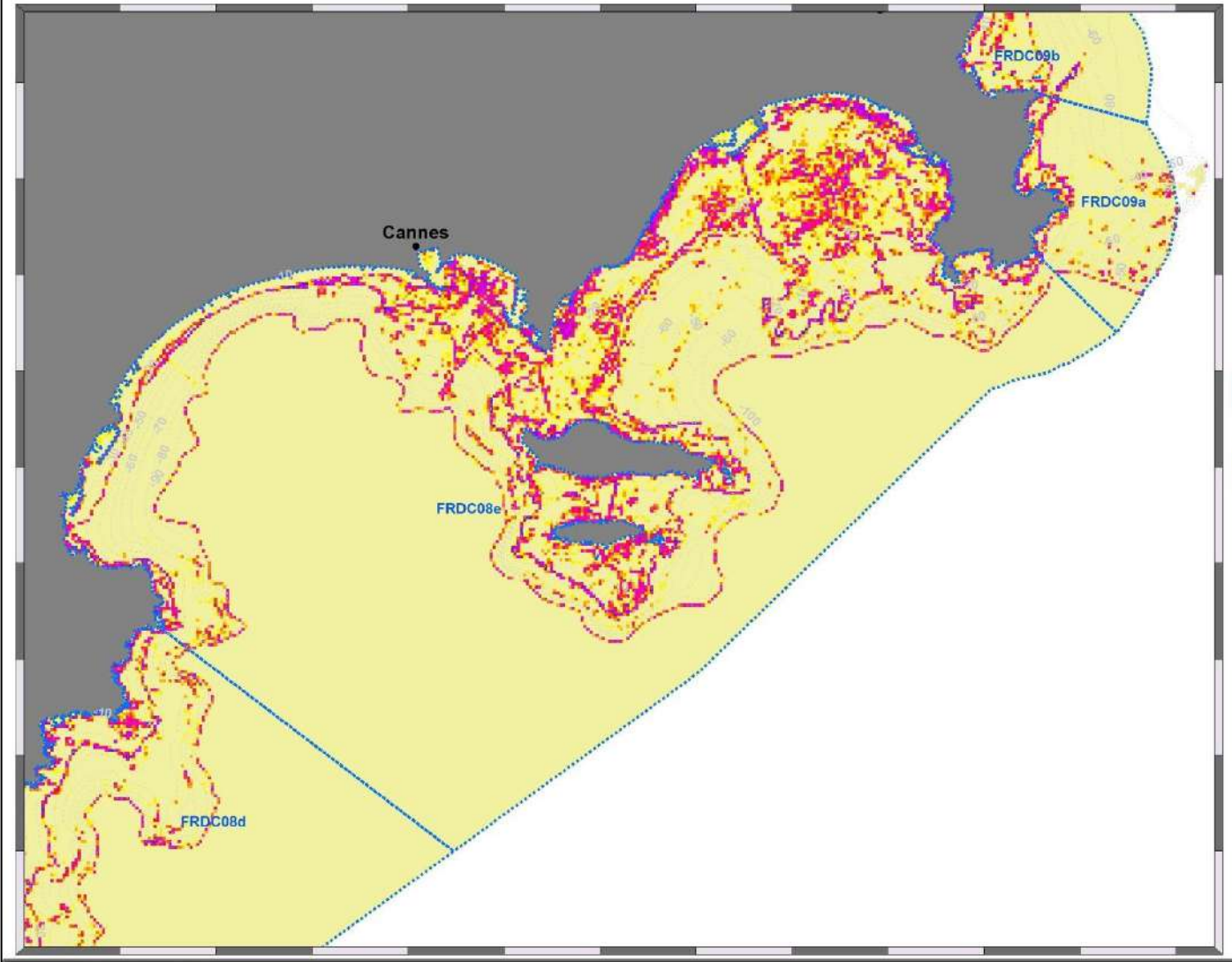
Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC08e	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	4245.03	86.85 – 4008.79 – 16846.79
Nombre d'habitats dans le paysage	9	7 – 8.4 – 10
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	386.15	12.8 – 162.81 – 548.39
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	33.91	25.7 – 51.37 – 78.51
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.21	0.05 – 0.92 – 8.06
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.79	0.44 – 0.66 – 0.84

Cette masse d'eau présente **une diversité paysagère très forte.** La valeur de l'indice de Simpson (0,79) est très forte comparativement aux autres valeurs de la région Sud. Il est représenté sur un pixel de 50 mètres sur la carte suivante.

Les indices d'agrégation et de connectivité entre les taches, entre 0 et 60 mètres, mettent en évidence une majorité d'habitats fragmentés dont les tâches sont déconnectées entre elles. Ainsi seul l'habitat des fonds meubles circalittoraux a un indice d'agrégation supérieur à 90 % (AI=95,4 %). Les habitats herbier de posidonie et fonds meubles infralittoraux ont cependant des indices d'agrégation moins faibles que les autres habitats fragmentés (respectivement 86,8 % et 84,3 %) et peuvent être considérés comme légèrement fragmentés.

Indice de diversité de Simpson

FRDC08e - Pointe de la Galère - Cap d'Antibes



Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 50 m

Faible

Elevée

N
W
E
S

0 1 2 3 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de Simpson : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

L'herbier occupe 50,13 % du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce **taux de recouvrement est élevé** par rapport à l'ensemble des masses d'eau en région Sud.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières en région Sud, l'herbier de posidonie de la masse d'eau FRDC08e se caractérise par un nombre moyennement élevé de tâches (68,55 tâches/100ha), de petite taille (0,73 ha) et proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux tâches les plus proches est de 10,72 mètres entre 0 et 40 mètres). On note la présence d'une tache moyenne (27,05 % du paysage compris par la tâche la plus grande d'herbier) malgré la proportion occupée par l'herbier dans cette masse d'eau. Cela est principalement dû à la présence d'un émissaire dans le Golfe Juan ainsi qu'à la présence de câbles sous-marins entre les deux îles de Lérins et le Cap Croisette, ce qui divise l'herbier à ces endroits.

L'indice de fragmentation de l'herbier pour cette masse d'eau (DIVISION=0,9) est légèrement plus élevé que la moyenne, et l'indice d'agrégation entre les taches est proche de la moyenne régionale (AI=86,8).

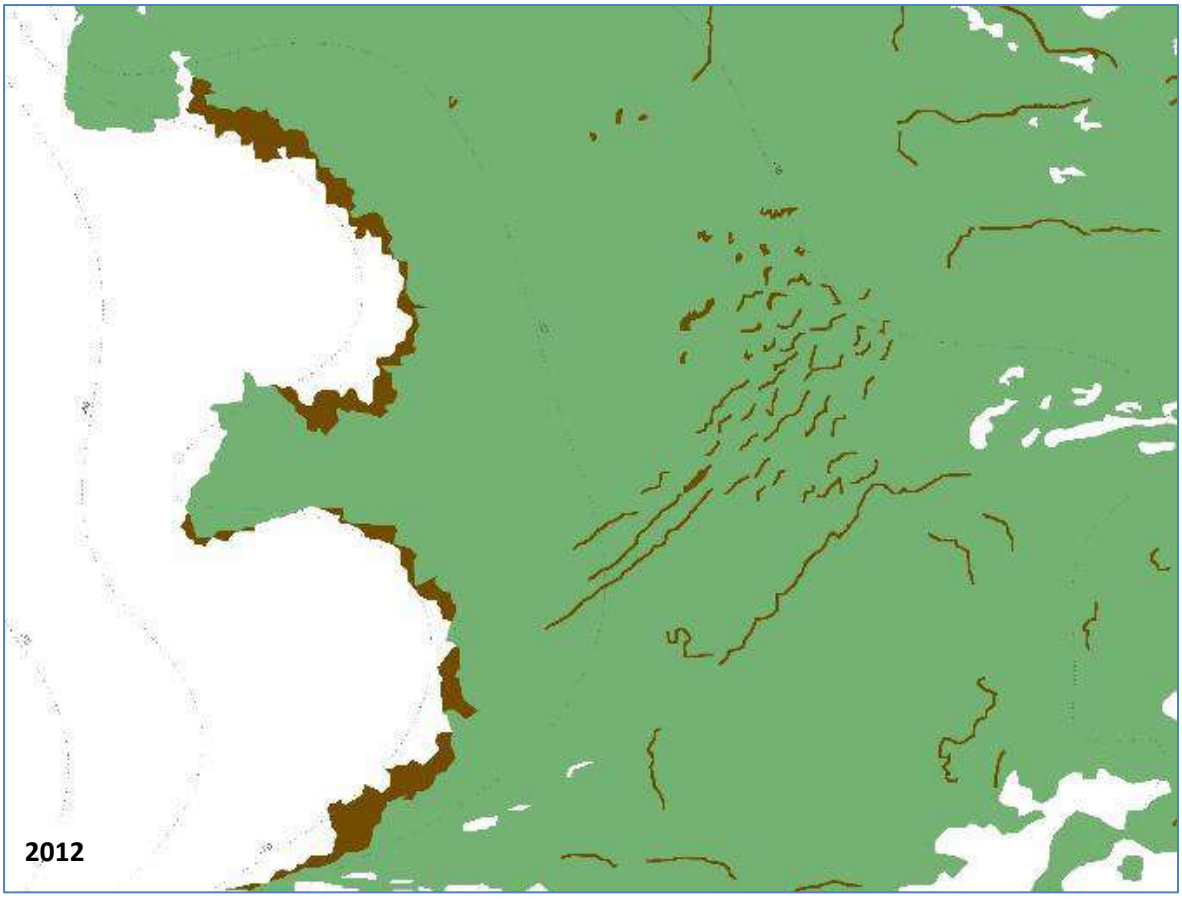
A noter que l'association de la matte morte de posidonie comprend un nombre très élevé de tâches entre 0 et 40 mètres (8099 polygones), peu agrégées (AI=67,9 %).

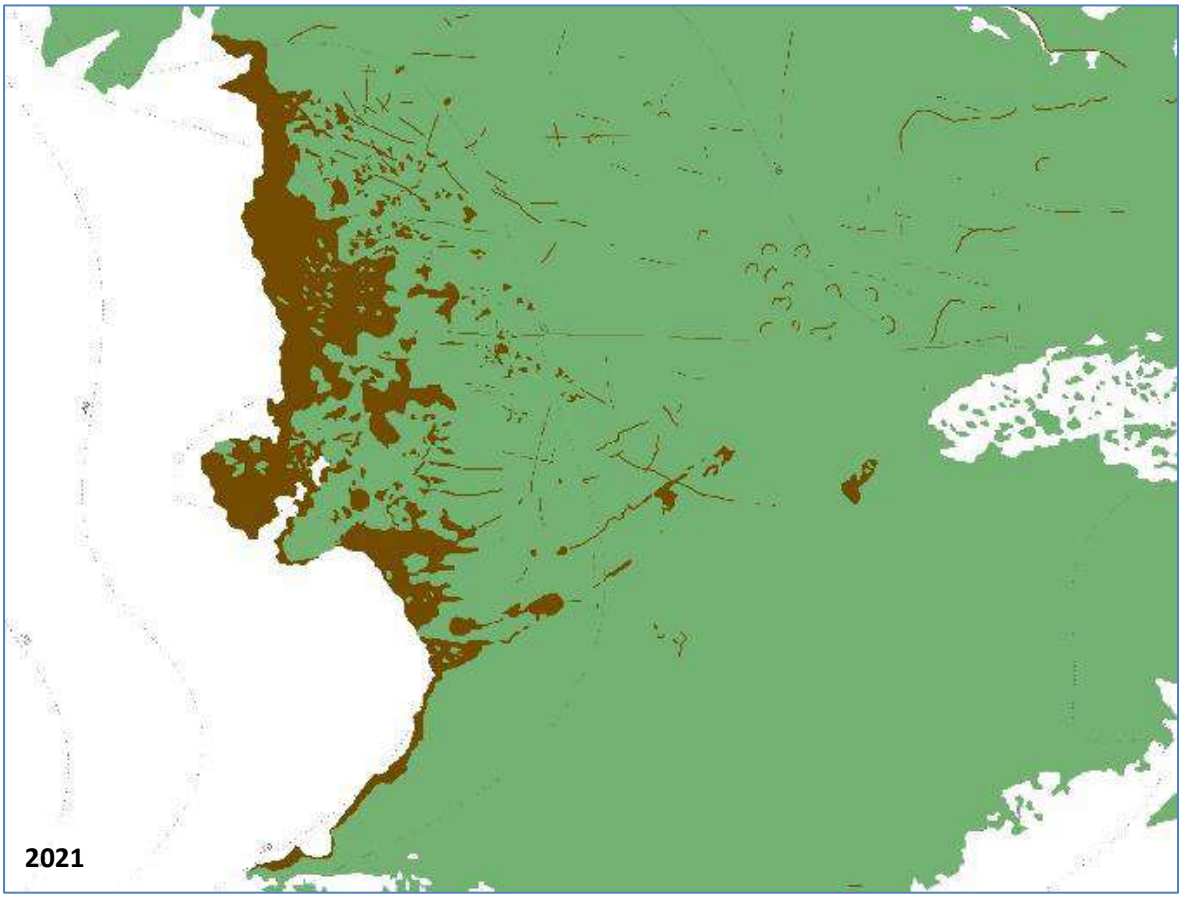
Ces éléments s'expliquent par les **nombreuses traces de mouillage dans l'herbier du Golfe Juan, en face du Vieux Port de Cannes et les limites inférieures extrêmement régressives sur l'ensemble du secteur à cause de la forte pression d'ancrage** (voir Figure 38).

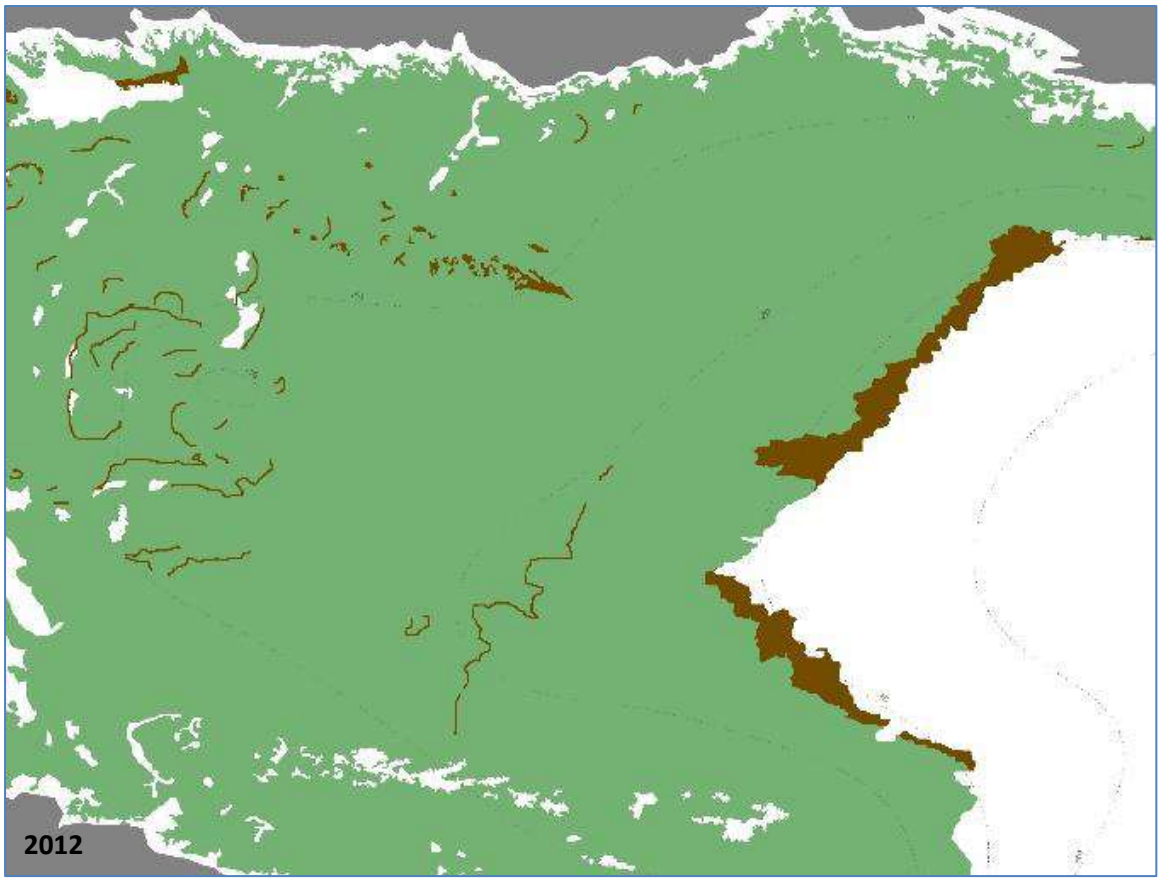
Tableau 20 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC08e.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC08e	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	50.13	1.79 – 77.82 ; 36.86
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	68.55	1.67 – 141.69 ; 42.35
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	27.05	0.61 – 77.49 ; 28.87
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.73	0.15 – 3.71 ; 1.19
Indice de complexité des formes	1.06	1.05 – 1.13 ; 1.07
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	10.72	7.49 – 94.76 ; 23.84
Indice de fragmentation de l'herbier	0.9	0.4 – 1 ; 0.87
Indice d'agrégation entre les taches (%)	86.8	76.73 – 97.25 ; 87.94
Indice de régression de l'herbier	0.23	0.01 – 0.59 ; 0.18

L'absence de données sonar historiques dans le secteur des Îles de Lérins (entre les deux îles et autour des îles) rend impossible l'analyse de l'évolution des surfaces d'herbier de posidonie dans cette zone particulièrement touchée par la pression d'ancrage. L'interprétation des levés sonar a cependant permis d'observer **une limite inférieure d'herbier beaucoup plus régressive et fragmentée à l'ouest du Plateau du Milieu qu'à l'est**. Un **herbier à Cymodocées plus vaste** a également été recartographié au Nord de l'île Saint-Honorat (voir cartographie des biocénoses marines page 149).


2012


2021



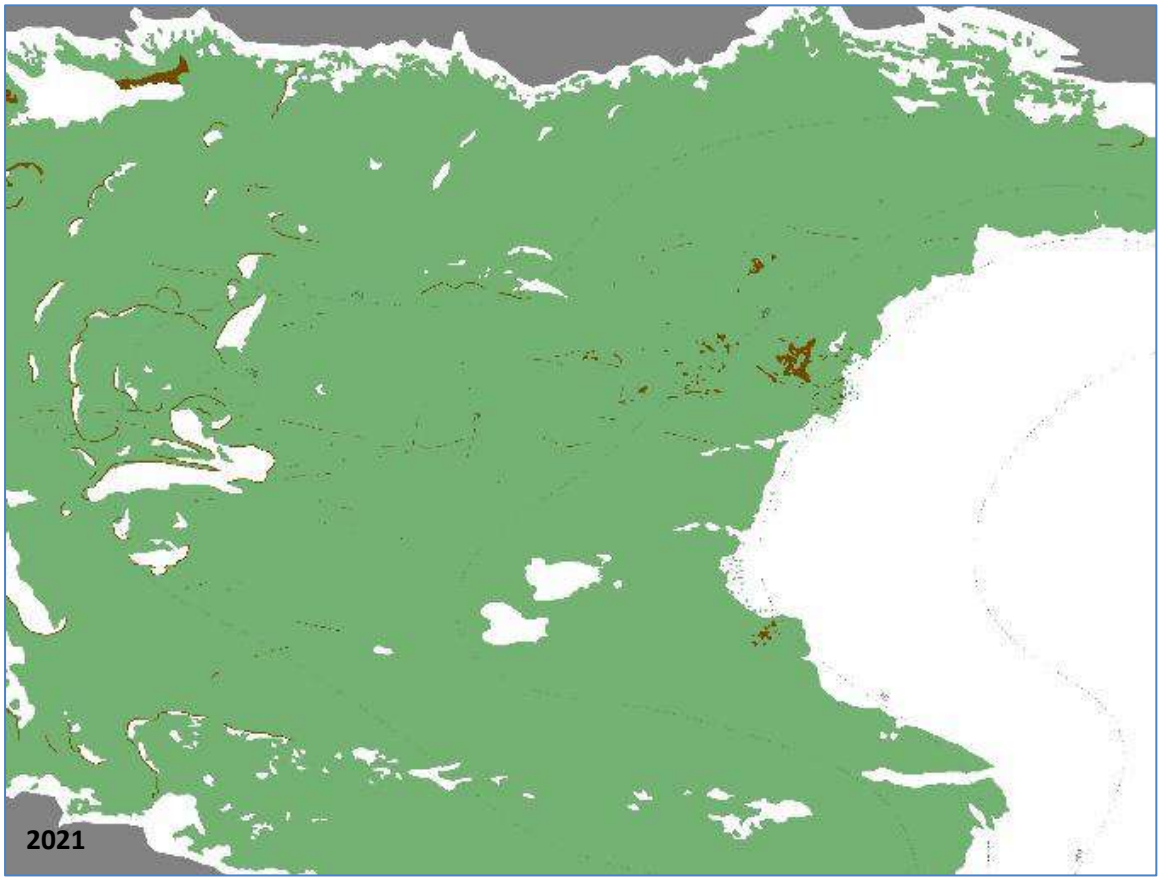
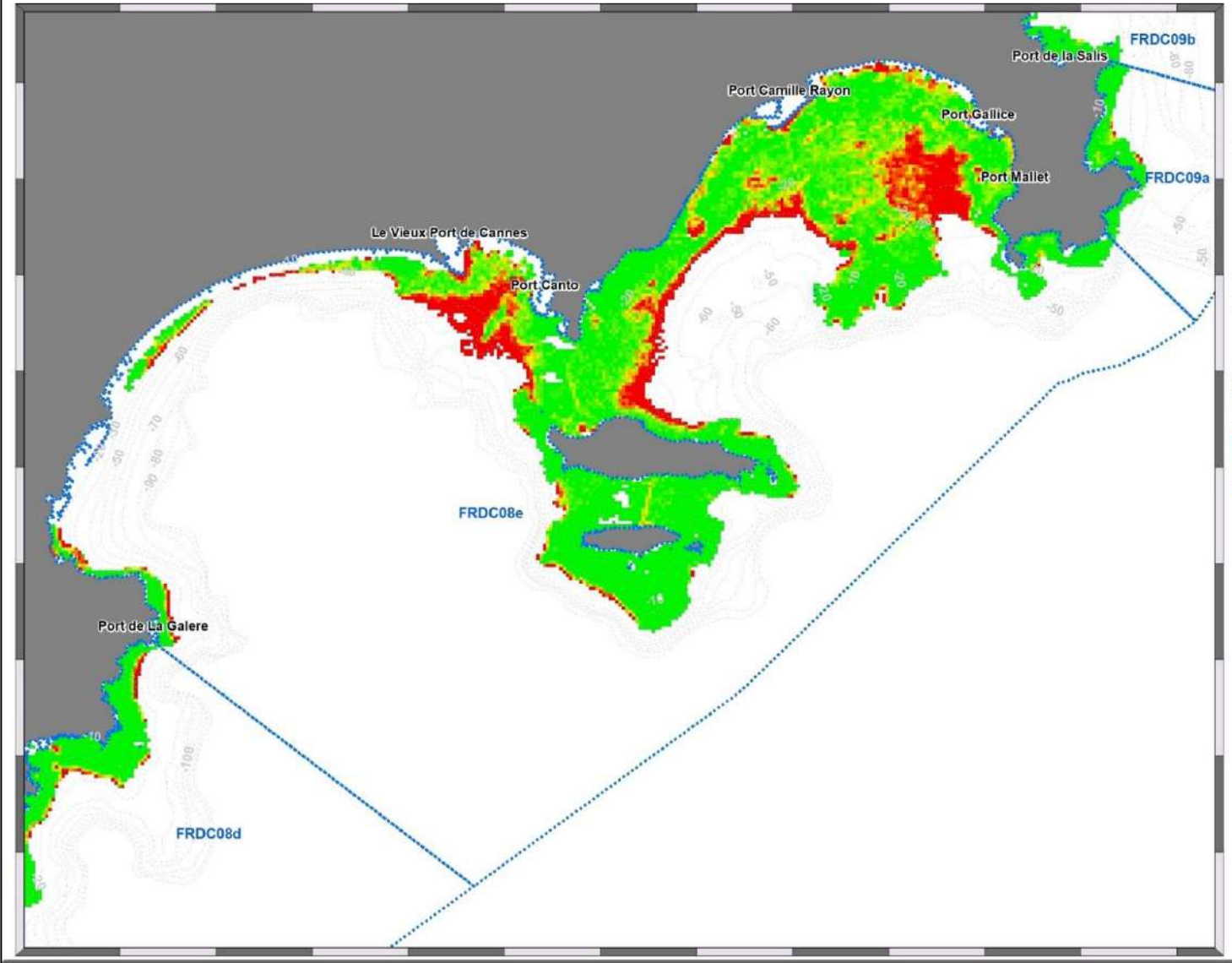


Figure 38 : Comparaison des cartographies de l'herbier de posidonie à l'ouest (page précédente) et à l'est (ci-dessus) du Plateau du Milieu (îles de Lérins).

Indice de régression

FRDC08e - Pointe de la Galère - Cap d'Antibes



Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de régression sur un pixel de 50 m

1

0

N
W E
S

0 1 2 3 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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de régression : Andromède Océanologie, 2021

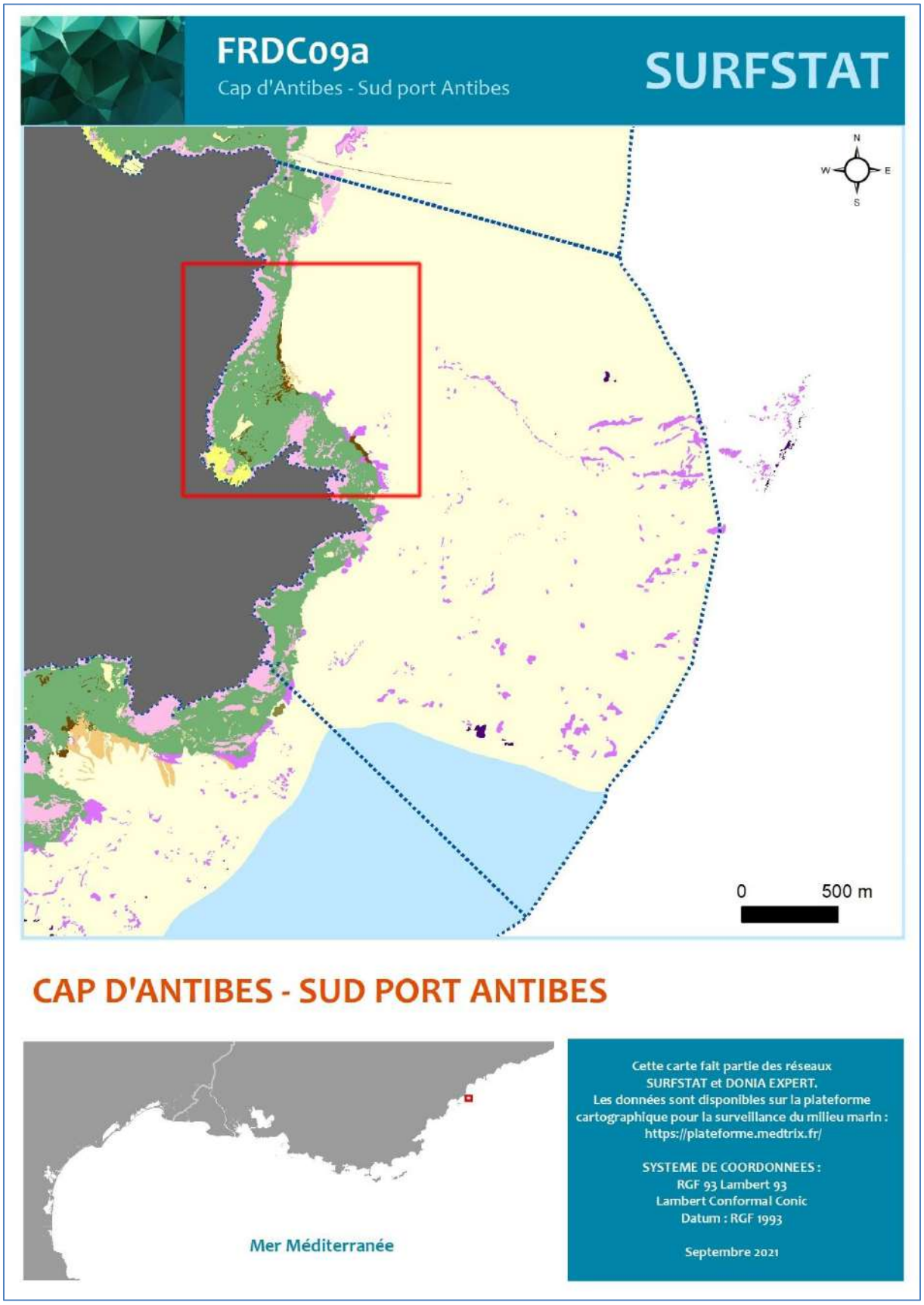
Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

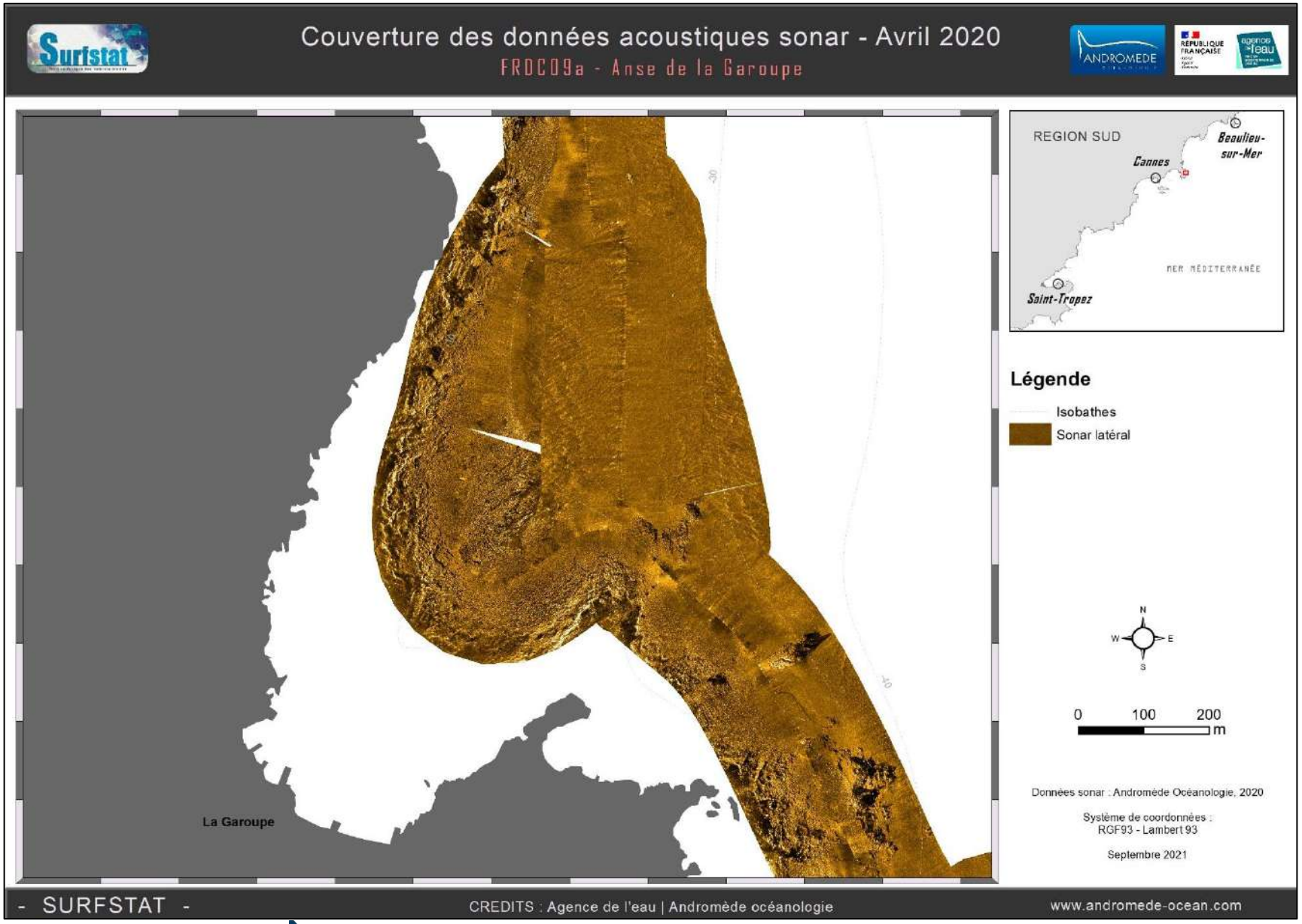
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.9. Masse d'eau FRDC09a : Anse de la Garoupe



III.9.1. Sonar latéral

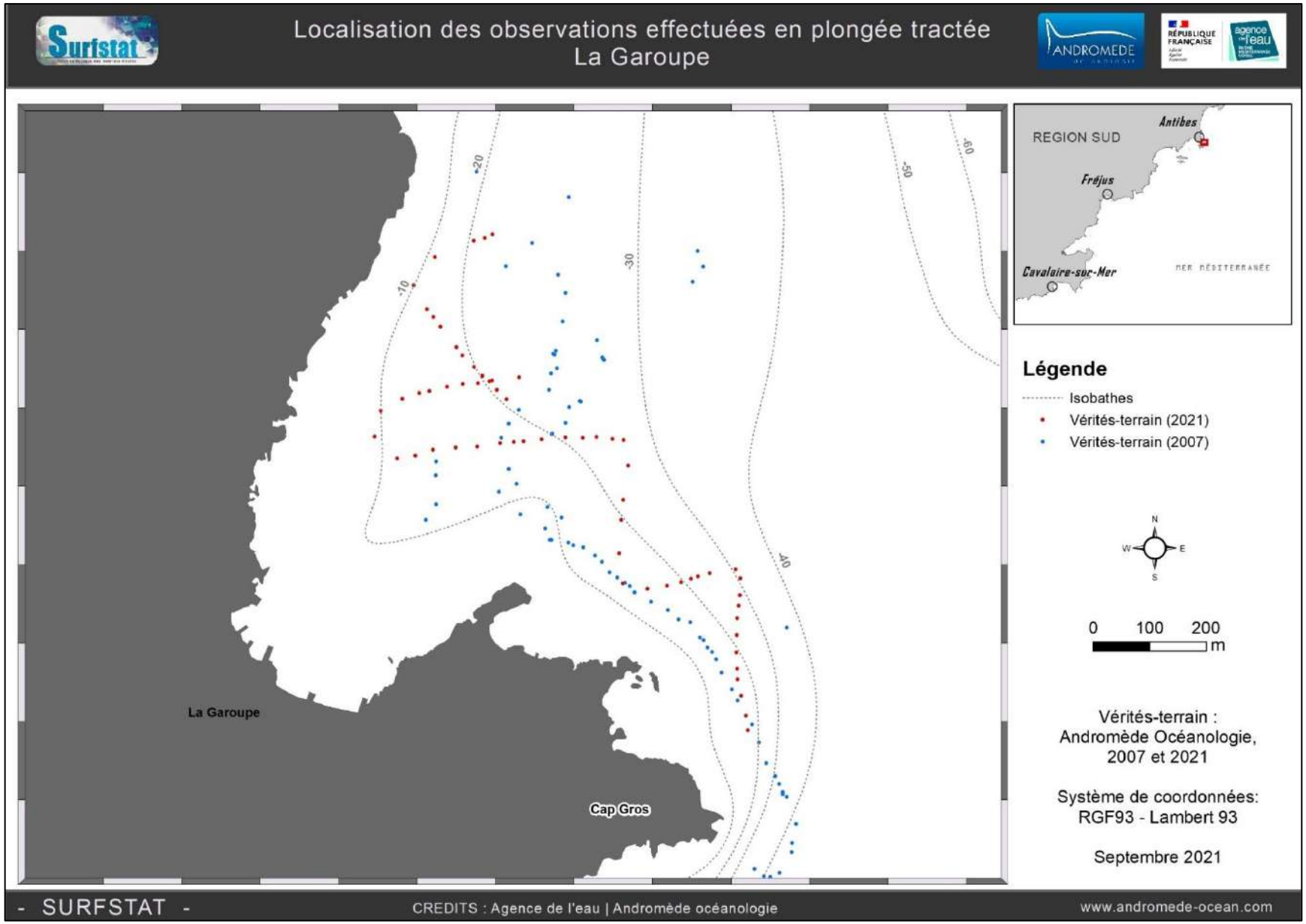
Au total, **140 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises puis traitées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses aux environs de la Garoupe à l'Est du Cap d'Antibes.



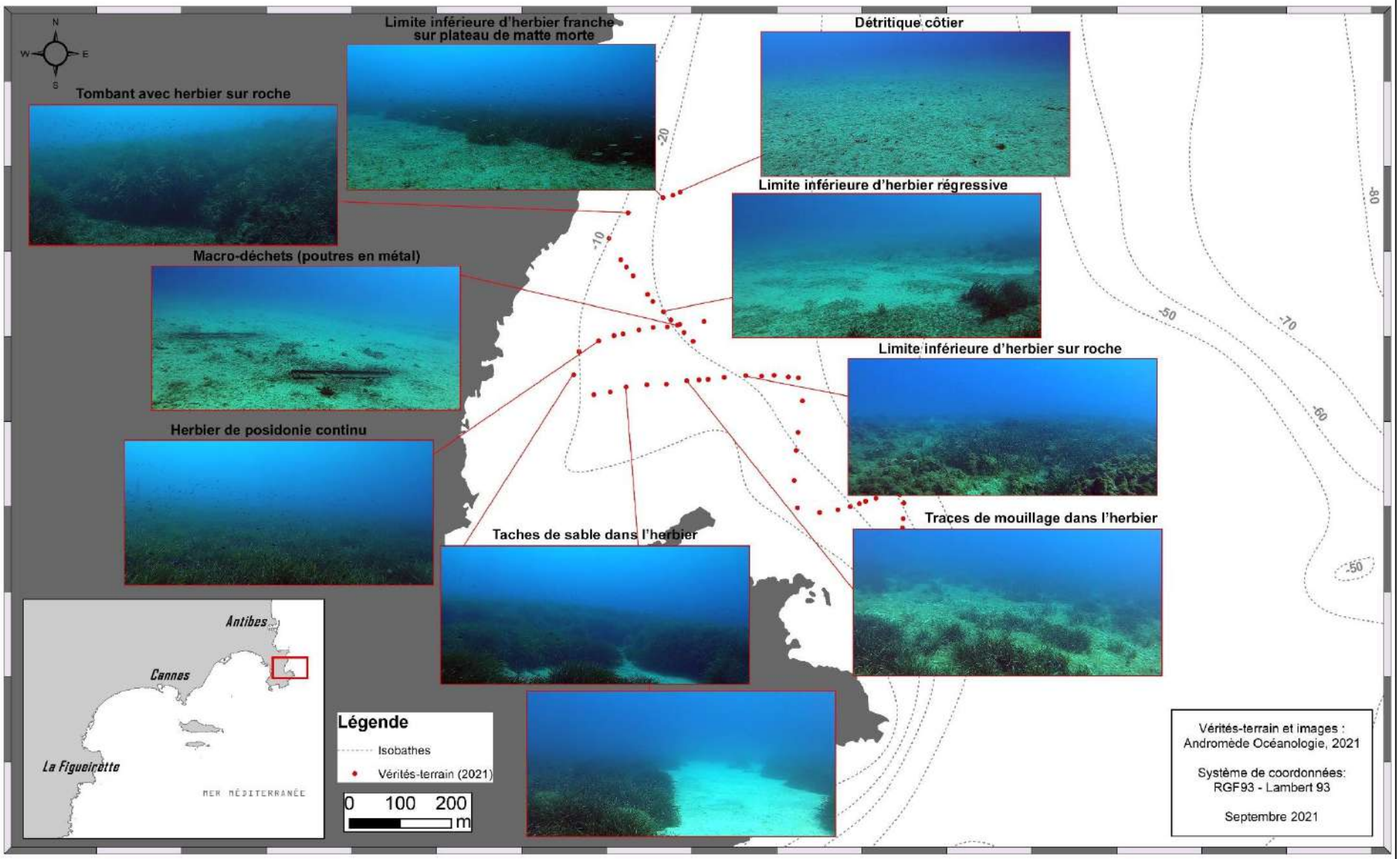
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.9.2. Vérités-terrain : Observations en plongée tractée

Près de **60 observations** ont été faites en plongée tractée au large de la Garoupe pour la validation de la cartographie des biocénoses (points rouges sur la carte ci-dessous), qui complètent les vérités terrain existantes réalisées en 2007 (points bleus sur la carte ci-dessous).



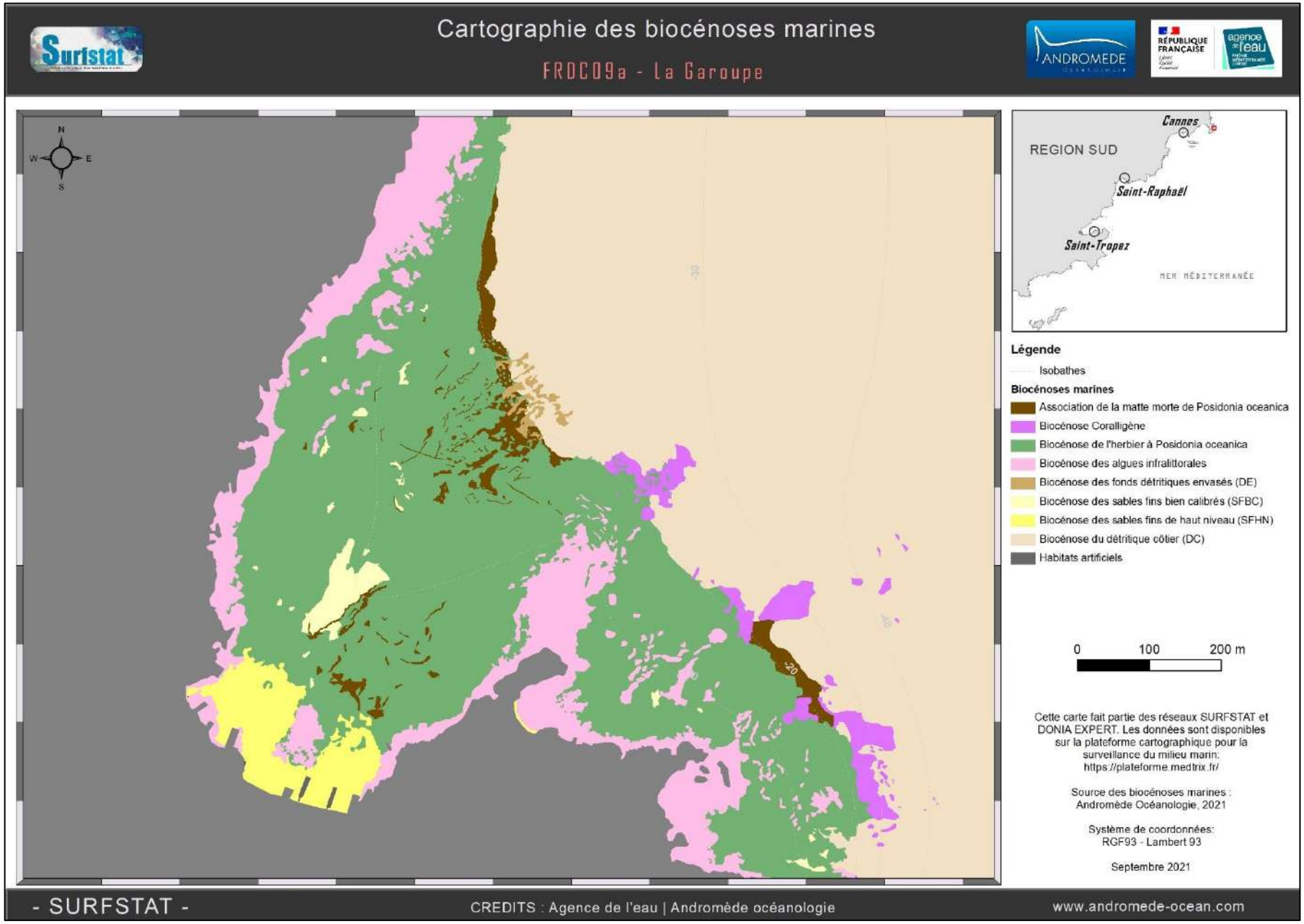
Localisation et illustrations des observations effectuées en plongée tractée
Anse de la Garoupe



CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

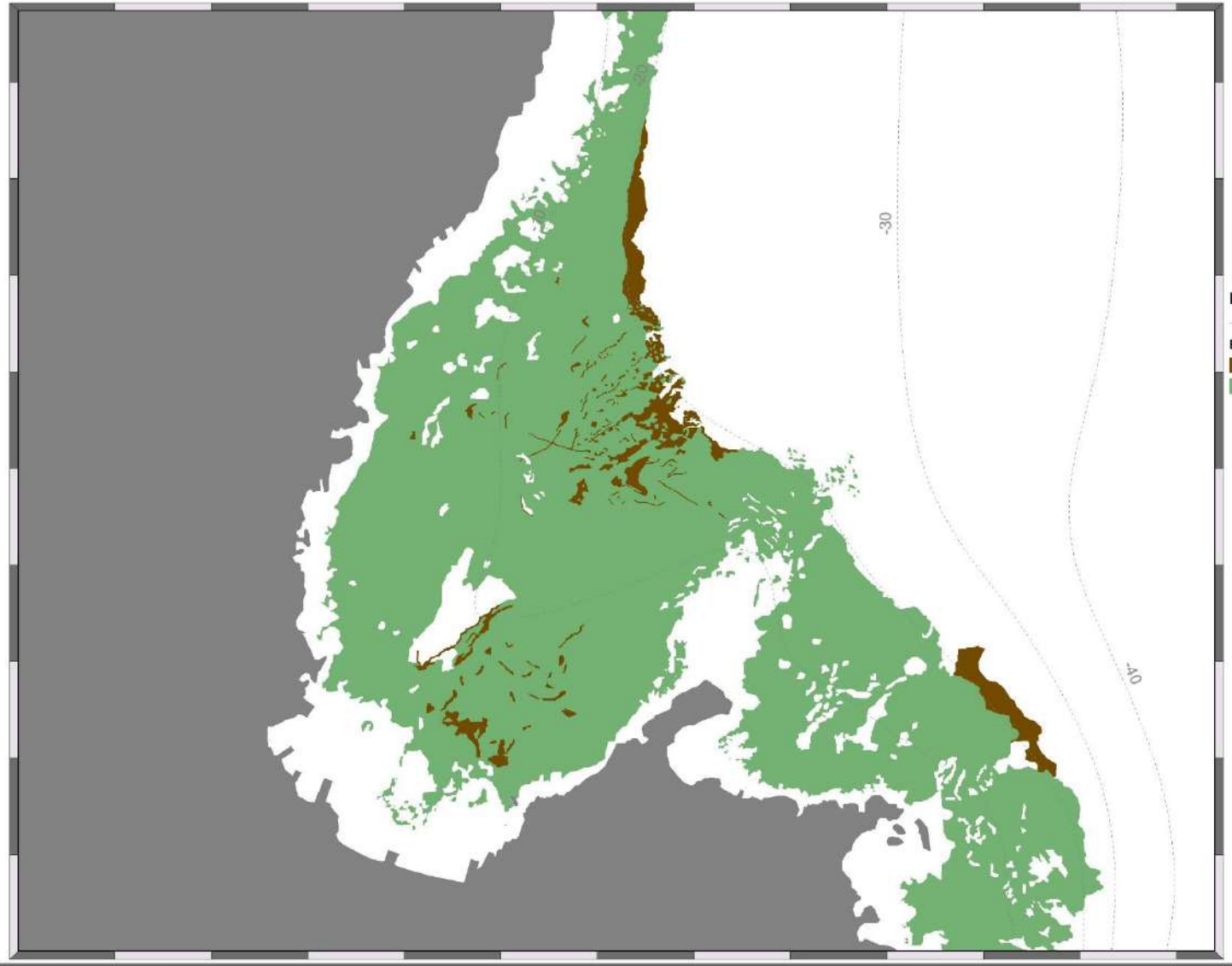
ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

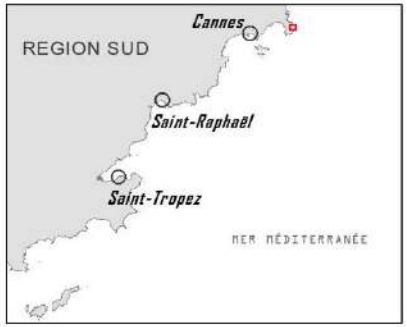
III.9.3. Cartographie des biocénoses marines



Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* et de la matte morte associée

FRDC09a - La Garoupe





Légende

Isobathes

Biocénoses marines

Association de la matte morte de Posidonia oceanica

Biocénose de l'herbier à Posidonia oceanica

N
W E
S

0 100 200 m

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/

Source des biocénoses marines :
Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées : RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

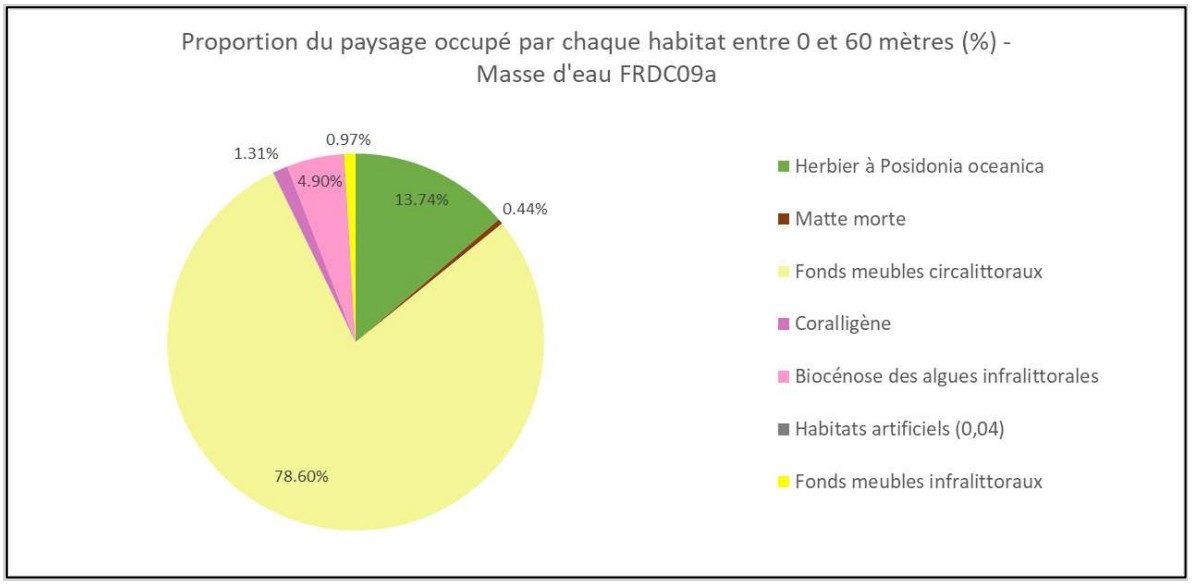
- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

III.9.4. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC09a « Cap d'Antibes – Sud port de Nice » comprend 7 habitats entre 0 et -60 mètres dont les deux principaux (>10 % de recouvrement du paysage) sont les fonds meubles circalittoraux (78,60 %) et l'herbier à posidonie (13,74 %). Les trois quarts du paysage sont dominés par une tâche unique de fonds meubles circalittoraux (78,6 %).

Cette masse d'eau présente une **diversité paysagère relativement faible.** Ainsi, la valeur de l'indice de Simpson (0,44) est la plus petite sur l'ensemble de la région Sud et celle du nombre d'habitats pour 100 ha (1,74) est moyenne comparativement aux valeurs régionales.

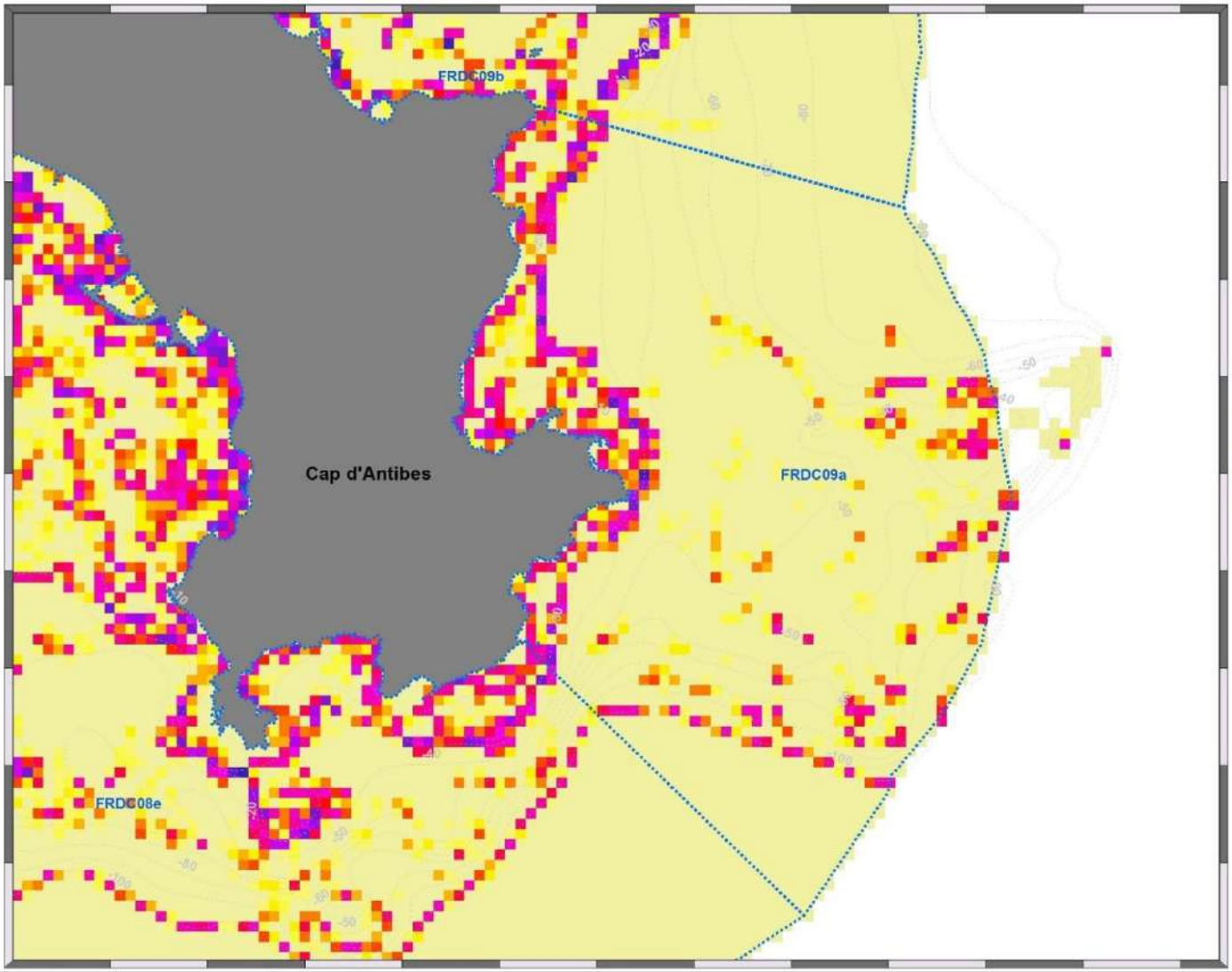
L'indice d'agrégation montre que six habitats sur sept sont fragmentés (AI<90 %) dont 5 ont un indice faible (AI < 70 %). Cela s'explique avant tout par le faible recouvrement de ces habitats à l'échelle de la masse d'eau. Seul l'habitat des fonds meubles circalittoraux présente un AI élevé de 98 %, et l'herbier de posidonie un AI de 86,1 % qui peut être considéré comme faiblement fragmenté.

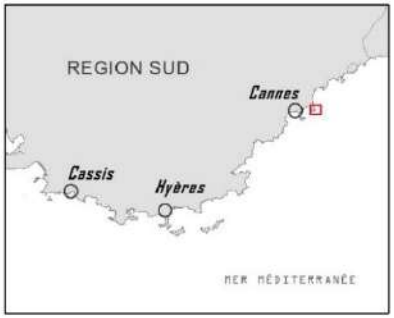
Tableau 21 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 60 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC09a.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC09a	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-60	
Surface du paysage (ha)	403.02	86.85 / 0 / 4008.79 / 16846.79
Nombre d'habitats dans le paysage	7	7 / 0 / 8.4 / 10
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	109.92	12.8 / 0 / 162.81 / 548.39
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	78.51	25.7 / 51.37 / 78.51 / 0
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	1.74	0.05 / 0 / 0.92 / 8.06
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.44	0.44 / 0 / 0.66 / 0.84

Indice de diversité de Simpson

FRDC09a - Cap d'Antibes – Sud port Antibes





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de Simpson sur un pixel de 50 m

Faible

Elevée

N
W
E
S

0 500 1 000 m

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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de Simpson : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

L'herbier occupe 34,03 % du paysage entre 0 et 40 mètres de fond. Ce **taux de recouvrement est moyen** par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières de la région Sud.

L'herbier de posidonie de la masse d'eau FRDC09a est continu. Il se caractérise ainsi par un faible nombre de taches (26,44 taches/100ha) dont la plus grande représente 27,82 % du paysage. On rencontre quelques taches de taille moyenne (1,29 ha) et assez proches les unes des autres (la distance moyenne qui sépare deux taches les plus proches est de 18,56 mètres entre 0 et 40 mètres).

Les taches d'herbier sont assez connectées entre elles : DIVISION = 0,92 et AI = 86 %.

L'absence de levés sonar historiques dans ce secteur du Cap d'Antibes ne permet pas d'analyser l'évolution des surfaces d'herbier entre les missions cartographiques de 2007, CARTHAM 2010-2012 et SURFSTAT 2020.

Cependant l'actualisation de la cartographie de l'herbier de posidonie de l'Anse de la Garoupe a permis d'affiner la limite inférieure de l'herbier ainsi que de cartographier de **nouvelles traces de mouillage au centre et en limite inférieure d'herbier**, limite inférieure qui se présente comme étant **régressive et clairsemée à cause des traces de mouillage** (voir Figure 39 page suivante).

Tableau 22 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de posidonie entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC09a.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC09a	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	34.03	1.79 – 77.82 ; 36.88
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	26.44	1.67 – 141.69 ; 42.35
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	27.82	0.61 – 77.49 ; 28.87
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	1.29	0.15 – 3.71 ; 1.19
Indice de complexité des formes	1.08	1.05 – 1.13 ; 1.07
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	18.56	7.49 – 94.76 ; 23.84
Indice de fragmentation de l'herbier	0.92	0.4 – 1 ; 0.87
Indice d'agrégation entre les taches (%)	86.09	76.73 – 97.25 ; 87.94
Indice de régression de l'herbier	0.03	0.01 – 0.59 ; 0.18

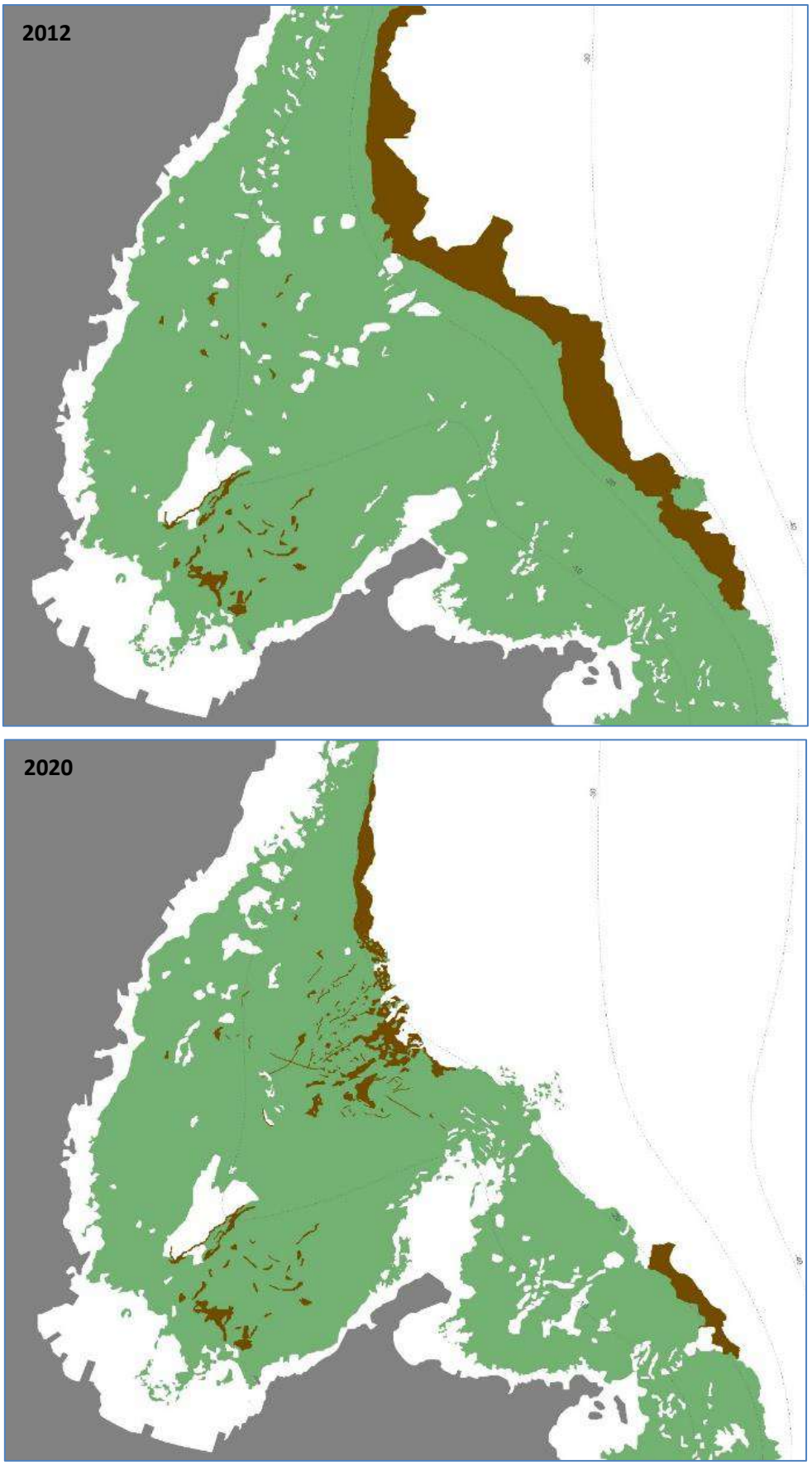
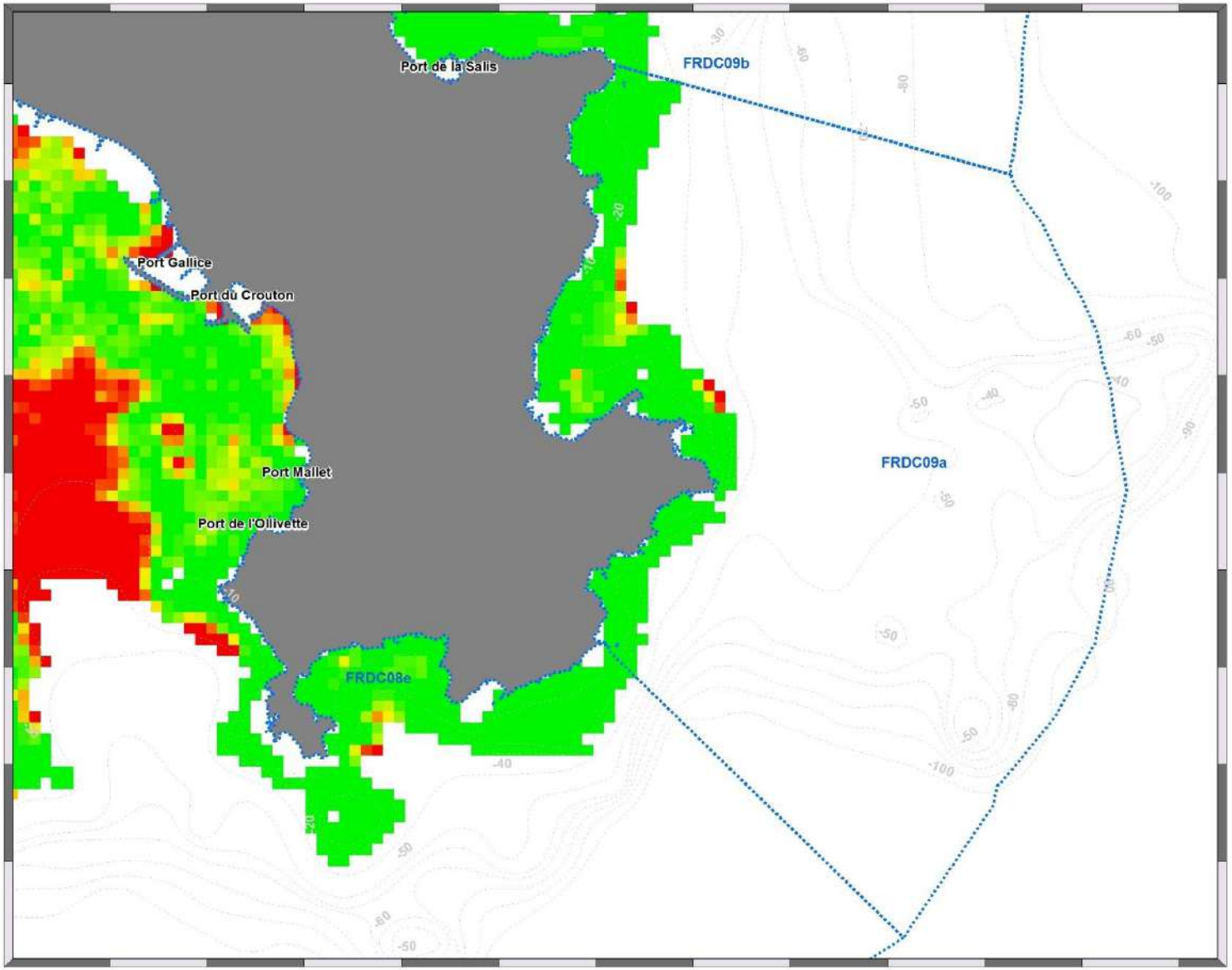
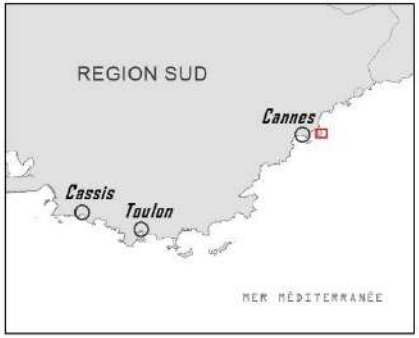


Figure 39 : Comparaison des cartographies de 2012 et 2020 de l'herbier de posidonie et de la matte morte associée dans l'Anse de la Garoupe.

Indice de régression

FRDC09a - Cap d'Antibes - Sud port Antibes





Légende

Isobathes

Masse d'eau côtière

Indice de régression sur un pixel de 50 m

1

0

N
W E
S

0 500 1 000 m

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/

Périmètre des masses d'eau : AERMC
Indice de régression : Andromède Océanologie, 2021

Système de coordonnées:
RGF93 - Lambert 93

Septembre 2021

- SURFSTAT -

CREDITS : Agence de l'eau | Andromède océanologie

www.andromede-ocean.com

IV.Synthèse des résultats

Le travail cartographique réalisé lors de cette étude a permis de compléter les cartes des biocénoses marines effectuées dans le cadre du programme SURFSTAT (Agence de l'eau RMC / Andromède Océanologie). Ainsi, de nouvelles cartographies plus détaillées des fonds (entre 15 mètres et jusqu'à 45 mètres de profondeur environ dans certains secteurs) de **quatorze zones fortement impactées par le mouillage** ont été réalisées. Une campagne d'acquisition sonar (couvrant **10 000 ha** répartis entre ces 14 zones) et d'observations en plongée (**1 800 observations** géoréférencées en plongée tractée dans ces 14 zones) menées respectivement en Avril 2020 et en Mars-Avril 2021 ont permis de cartographier les biocénoses marines au niveau de neuf masses d'eau côtière de la région Sud. **9096 ha d'herbier de posidonie** ont été mis à jour sur ces 14 zones, dont la cartographie est disponible sur la plateforme MEDTRIX (projets DONIA, DONIA Expert, SURFSTAT), le site internet de Donia et sur l'application DONIA. Au total, la campagne d'acquisition des données sonar qui s'est déroulée en Avril 2020 a permis de couvrir une surface totale de **30 345 ha** et la campagne effectuée en Mars/Avril 2021 a permis l'acquisition de **5000** observations. Toutes ces données permettront d'actualiser une surface totale d'herbier de **17 150 ha soit 65,4 % des herbiers en Région Sud.** Ainsi, un complément de plus de 8000 ha d'herbier est en cours d'actualisation en région Sud en 2022. Lors de la mission de terrain d'Avril 2021, les plongeurs d'Andromède Océanologie ont **découvert une population de *Halophila stipulacea* couvrant une surface estimée de 16,5 ha au large du port de Cannes**. Ceci représente la localité la plus septentrionale de l'espèce et un saut de 350 km au nord de sa localité la plus proche en Méditerranée occidentale (Razza di Juncu en Sardaigne). A Cannes, cette espèce a été observée vivante entre 11 et 17 m de profondeur sur de la matte morte de *Posidonia oceanica*. L'espèce a très probablement été introduite par le mouillage de méga-yachts ou de bateaux de croisière, la baie de Cannes étant l'un des endroits les plus fréquentés par les touristes. Un article scientifique (Thibaut et al., 2021) est paru dans Aquatic Botany (III.Publication scientifique).

Ces **cartographies détaillées au 1/10 000** 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'état 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 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 biocénoses de la région Sud effectuée à l'aide du logiciel RStudio © en s'inspirant des indices disponibles dans le logiciel Fragstats v.4.2. © (McGarigal et al. 2009).

Neuf masses d'eau sont traitées dans cette étude ; l'actualisation de la cartographie des biocénoses marines est partielle pour huit des neuf masses d'eau qui s'étendent souvent au large. Les indices surfaciques, qui sont les mêmes que dans les études de 2014 et 2018, ont été recalculés avec le logiciel RStudio 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 la présente 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 pages suivantes pour les 25 masses d'eau de la région Sud. Les neuf masses d'eau côtière actualisées pour cette étude sont encadrées en rouge.

Tableau 23 : Comparaison des indices surfaciques calculés pour l'analyse du paysage pour les 25 masses d'eau de la région Sud. Les 9 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	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC04	FRDC05	FRDC06a	FRDC06b	FRDC07a	FRDC07b	FRDC07c	FRDC07d	FRDC07e	FRDC07f	FRDC07g	FRDC07h	FRDC07i	FRDC07j	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	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)	15067.06	4811.08	2406.64	5435.39	1507.55	1546.72	2139.09	422.26	4163.35	5921.44	3487.85	16846.79	7721.14	7487.78	5556.18	2658.07	1115.71	2486.02	4245.03	403.02	1639.77	86.85	177.24	1491.54	1396.09	86.85 – 16846.79 (4008.79)
Nombre d'habitats dans le paysage	10	9	8	8	7	9	8	7	7	9	8	9	8	9	9	9	7	9	9	7	9	7	9	10	9	7 – 10 (8.4)
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	12.8	83.06	117.92	83.03	32.11	114.89	148.24	116.28	147.31	227.09	127.79	44.12	121.68	125.43	124.33	299.28	44.01	98.07	386.15	109.92	142.4	437.55	548.39	243.17	135.31	12.8 – 548.39 (162.81)
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	61.66	66.23	71.33	55.11	27.9	33.17	46.28	55.82	46.88	29.25	43.42	76.84	77.49	48.62	36.99	42.66	68.82	52.71	33.91	78.51	49.34	34.93	25.7	55.4	65.19	25.7 – 78.51 (51.37)
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.07	0.19	0.33	0.15	0.46	0.58	0.37	1.66	0.17	0.15	0.23	0.05	0.1	0.12	0.16	0.34	0.63	0.36	0.21	1.74	0.55	8.06	5.08	0.67	0.64	0.05 – 8.06 (0.92)
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.6	0.59	0.52	0.61	0.75	0.69	0.77	0.68	0.76	0.74	0.78	0.53	0.48	0.71	0.69	0.78	0.5	0.65	0.79	0.44	0.69	0.72	0.84	0.67	0.6	0.44 – 0.84 (0.66)

Tableau 24 : Comparaison des indices surfaciques calculés pour l'analyse de l'herbier pour les 25 masses d'eau de la région Sud. Les 9 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	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau	FRDC04	FRDC05	FRDC06a	FRDC06b	FRDC07a	FRDC07b	FRDC07c	FRDC07d	FRDC07e	FRDC07f	FRDC07g	FRDC07h	FRDC07i	FRDC07j	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	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 (%)	1.79	38.25	5.09	19.58	27.09	32.04	43.54	53.52	48.16	51.03	11.41	51.67	77.82	59.8	62.31	35.84	3.46	65.2	50.13	34.03	2.99	41.55	33.61	52.44	19.53	1.79 – 77.82 (36.88)
Densité de tâches (Nb taches /100 ha)	1.67	26.89	34.99	48.8	10.03	60.36	51.88	37.21	46.18	86.93	37.18	21.35	20.98	27.74	23.37	58.45	7.28	42.15	68.55	26.44	4.15	31.16	141.69	41.89	101.38	1.67 – 141.69 (42.35)
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	0.61	28.9	3	11.51	24.94	7.89	42.53	33.13	47.48	38.19	5.17	36.16	77.49	58.75	51.11	23.37	1.08	84.51	27.05	27.82	2.03	19.24	24.42	51.94	13.34	0.61 – 77.49 (28.87)
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	1.07	1.42	0.15	0.4	2.7	0.53	0.84	1.44	1.04	0.59	0.31	2.42	3.71	2.16	2.67	0.61	0.48	1.55	0.73	1.29	0.72	1.33	0.24	1.25	0.19	0.15 – 3.71 (1.19)
Indice de complexité des formes	1.13	1.07	1.06	1.08	1.1	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	1.06	1.07	1.06	1.08	1.06	1.06	1.08	1.09	1.11	1.05	1.05	1.08	1.05 – 1.13 (1.07)
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	63.23	12.5	11.89	19.98	69.69	12.53	10.05	25.98	13.97	10.68	11.16	34.56	21.6	14.19	21.48	9.77	25.83	13.96	10.72	18.56	32.7	94.76	7.49	10.81	17.92	7.49 – 94.76 (23.84)
Indice de fragmentation de l'herbier	1	0.91	1	0.99	0.94	0.99	0.82	0.85	0.77	0.85	1	0.86	0.4	0.65	0.73	0.94	1	0.58	0.9	0.92	1	0.94	0.93	0.73	0.93	0.4 – 1 (0.87)
Indice d'agrégation entre les taches (%)	88.15	91.87	80.05	86.35	92.51	87.21	91.44	90.53	91.12	89.68	84.4	93.38	97.25	94.09	94.86	86.72	83.7	93.42	86.8	86.09	85.85	76.73	78.72	87	80.57	76.73 – 97.25 (87.94)
Indice de régression de l'herbier	0.39	0.16	0.4	0.5	0.01	0.06	0.2	0.08	0.11	0.18	0.59	0.11	0.1	0.09	0.01	0.25	0.4	0.02	0.23	0.03	0.01	0.03	0.4	0.19	0.02	0.01 – 0.59 (0.18)

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

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 – FRDC04 (Golfe de Fos) et FRDC10a (Cap Ferrat – Cap d'Ail)), de densité de taches (entre 12,8/100 ha –FRDC04 (Golfe de Fos) et 548 /100 ha –FRDC09d (Rade de Villefranche) et de diversité paysagère (indice d'équitabilité de Simpson). Globalement la densité d'habitats est faible sur toutes les masses d'eau côtières, seules les masses d'eau FRDC07d (1,66 habitats/100 ha), FRDC09a (1,74 habitats/100ha), FRDC09c (8,1 habitats/100ha), et FRDC09d (5,1 habitats/100ha) se démarquent par un nombre d'habitats / 100ha plus élevé.

La diversité paysagère est en effet très variable : l'indice de Simpson est compris entre 0,44 (FRDC09a- Cap d'Antibes – Sud Port d'Antibes) et 0,84 (FRDC09d – Rade de Villefranche). Les masses d'eau les plus diversifiées sont FRDC09b, FRDC09c, FRDC09d, FRDC08e, FRDC08b, FRDC08a, FRDC07j, 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, dans les Calanques de Cassis, 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 - 45 mètres (voire 60 mètres dans certains secteurs) 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 en Région Sud, la diversité paysagère reste élevée dans l'ensemble (moyenne de 0,66 ± 0,1).

L'étude de l'herbier à Posidonie entre 0 et 40 mètres de profondeur montre une présence de cette biocénose sur toutes les masses d'eau en région Sud. Son **pourcentage de recouvrement varie fortement**, il occupe dans cette région entre 1,79 % du paysage (masse d'eau FRDC04 – Golfe de Fos) et 77,82 % (masse d'eau FRDC07i – Cap de l'Estérel – Cap de Brégançon), la moyenne étant de 36,88 % (± 21,2%).

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, Rade d'Hyères) 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 1,67 taches /100 ha (FRDC04 – Golfe de Fos) à 141,7 taches/100 ha (FRDC09d – Rade de Villefranche) avec une moyenne de 43,35 taches/100 ha et une taille comprise entre 0,15 et 3,71 ha. La distance séparant deux taches d'herbier les plus proches varie entre 7,49 et 94,76 mètres avec une moyenne de 23,84 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 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≥90%) : ce sont les masses d'eau FRDC05, FRDC07a, FRDC07c à 07e, FRDC07h à 07j, FRDC08a et 08d. La moyenne régionale de cet indice d'agrégation entre les taches d'herbier est de 87,94 % avec une valeur minimale de 76,73 % (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 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 l'aquaculture ou bien la plaisance contribuent directement 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 50 mètres**. A l'échelle de la région Sud, le taux de recouvrement de la matte morte est très faible : l'habitat occupe 4872 hectares soit 1,2 % 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 0,01 (FRDC07a, 08a et 09b) à 0,59 (FRDC07g – Cap Cépet – Cap de Carqueiranne) avec une moyenne de 0,18. L'herbier est très stable (IR≤0,05) pour 7 masses d'eau : FRDC07a, FRDC08a, FRDC08d, FRDC09a, FRDC09b, FRDC09c et FRDC10c. L'herbier montre une régression importante (0,2≤IR<0,6) pour 8 masses d'eau : FRDC04, FRDC06a, FRDC06b, FRDC07c, FRDC07g, FRDC08b, FRDC08c, FRDC08e et FRDC09d. Les masses d'eau FRDC05, FRDC07d, FRDC07e, FRDC07f, FRDC07h, FRDC07i et FRDC10a présentent une régression moyenne (0,1≤IR<0,2).

Les principales zones de matte morte 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 biocénoses marines 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) ou face au port de Figuerette (FRDC08d).

- Le **développement des infrastructures portuaires et des activités de plaisance** engendre également de nombreuses dégradations sur le milieu marin. Les zones de mouillage sont souvent situées au niveau des herbiers à Posidonie. Les ancres et chaînes raclent, labourent et détruisent les herbiers.

- 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).

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 souvent recouvertes de sable et donc peu « visibles ». C'est pourquoi il est nécessaire d'avoir soit des vérités terrain soit 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*.**

Grâce à l'actualisation de la cartographie de l'herbier de Posidonie dans quatorze 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 perdues ont pu être précisément calculées sur différentes échelles de temps sur deux secteurs dont les données sonar historiques étaient présentes et de qualité suffisante pour pouvoir procéder à l'analyse :

- **la Baie de Sanary-sur-Mer (FRDC07e) : 2,6 ha d'herbier de posidonie ont régressé entre 2014 et 2020** (zone de comparaison qui comprend majoritairement l'herbier entre 20 m de profondeur jusqu'à la limite inférieure de la pointe de la Cride au Nord des Embiez). Les zones de régression sont principalement recensées en limite inférieure d'herbier et profondeur intermédiaire dont deux étendues de matte morte sont de forme triangulaire (labourage de l'herbier par la chaine du navire au mouillage sous la force de la houle et des courants). Au sud du port de Sanary, **2,8 ha d'herbier ont régressé entre 2016 et 2020** sur une zone de mouillage très fréquentée par les navires de 80 mètres et plus (analyse rendue possible grâce aux données sonar de la société SEMANTIC sur une surface de 36 ha). En croisant la cartographie des habitats prioritaires et des données AIS disponibles sur MEDTRIX, on remarque que ces traces de mouillage concordent bien avec la présence de navires dont la longueur dépasse les 60 voire les 80 mètres entre 2014 et 2020.

- la Baie de Cavalière (FRDC07j) : 6 800 m² d'herbier de posidonie ont régressé entre 2012 et 2020. Cette régression est située en limite inférieure d'herbier. Ces zones de régression semblent ne pas concorder complètement avec les positions AIS enregistrées et/ou ne sont peut-être pas complètement explicables par ce type de données.

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 biocénoses marines, 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 biocénoses marines 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 de la mise à jour SURFSTAT 2020-2021 et perspectives

V.1. Les indices surfaciques

V.1.1. Simplification des indices

A partir de la cartographie continue fine et actualisée des biocénoses marines 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 50 mètres sont réalisées. En nous appuyant sur la récente étude de Houngnandan *et al.* (2019)[2] 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.* (en cours de correction) permet d'expliquer des indices de configuration paysagère de *P. oceanica* avec d'excellentes performances (jusque 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 2003) et évalue bien son état de

[2] 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

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 prochaine mise à jour de la cartographie de la région Sud (d'autres secteurs non prioritaires sont en cours d'actualisation le long du littoral de la Région Sud) pourra être complétée par des cartographies des indices de cohésion et de déclin selon la méthodologie développée par Houngnandan et *al.* (en cours de correction)[3] présentée sur les figures pages suivantes.

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

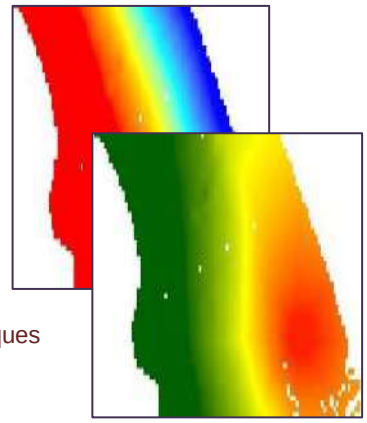
Herbiers à *Posidonia oceanica*

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)

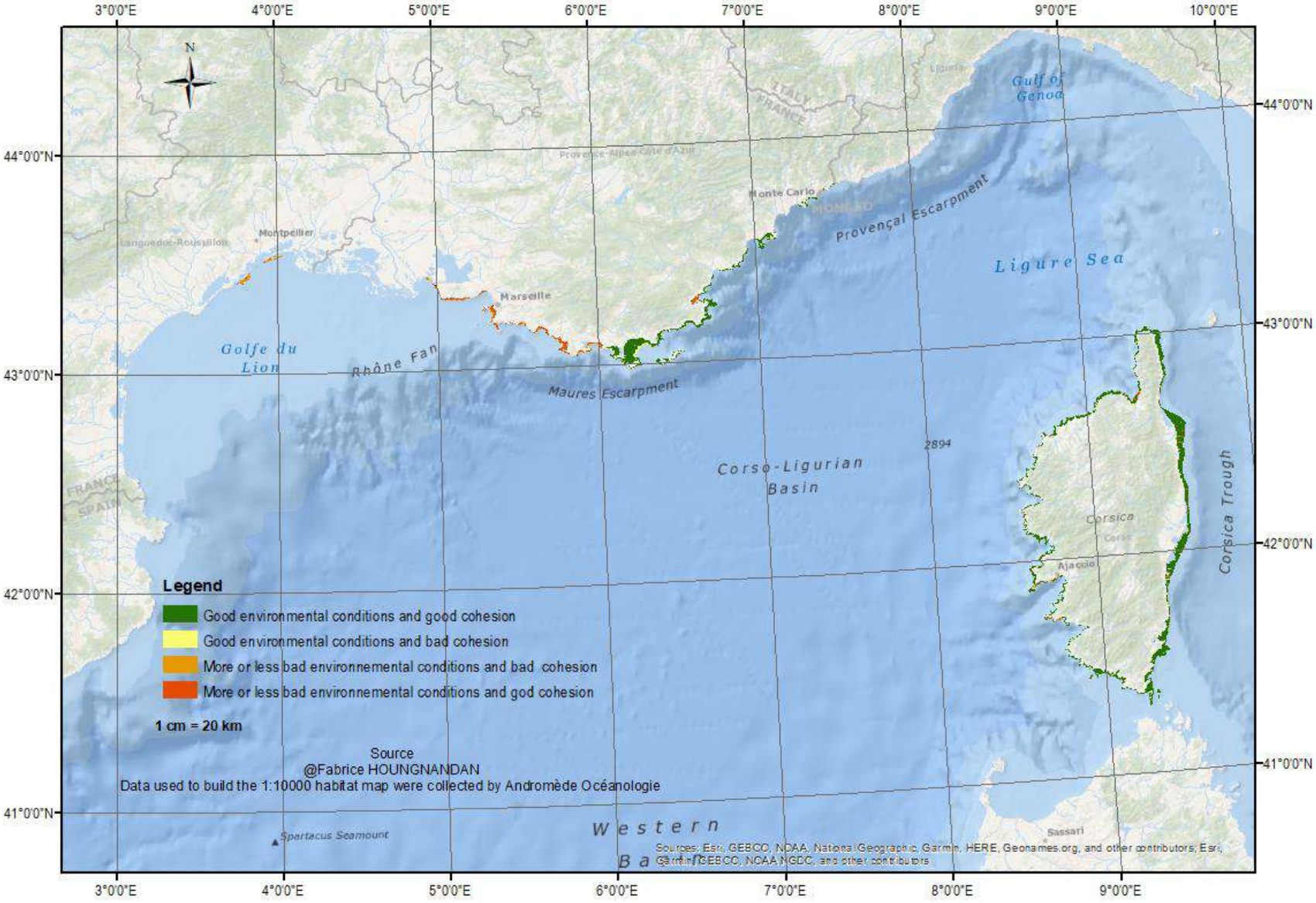
Pressions anthropiques (P)



100*100 m

[3] Fabrice HOUNGNANDAN, Sonia KEFI, Julie DETER. (en cours de correction). The environment, more than direct human activities, influences the spatial configuration of *Posidonia oceanica* seagrass beds in France.

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.1.2. Analyse temporelle des indices surfaciques

Au vu des nombreuses pressions anthropiques pesant sur les herbiers de posidonie le long du littoral méditerranéen français, une analyse temporelle de l'évolution des indices surfaciques pourrait être effectuée entre chaque actualisation pour les zones fortement impactées. Cela permettrait de vérifier si la dégradation et/ou la recolonisation progressive des herbiers pourrait être détectée à travers ces indices surfaciques sur une échelle de temps plus ou moins longue.

V.2. Actualisation de la cartographie des biocénoses marines le long du littoral méditerranéen français en région Occitanie

D'autres secteurs 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 et les récifs coralligène dans des projets de gestion du littoral méditerranéen français. L'actualisation concerne principalement la région Occitanie 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)

En Occitanie, plusieurs secteurs plus au large et au-delà des -30 m, 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 (voir carte page 182). Plusieurs observations d'herbier de posidonie ont été faites par des plaisanciers et autres usagers du littoral marin au sein du Parc Naturel Marin du Golfe du Lion dans le secteur Collioure/Port Vendres (pers. com. Parc Naturel Marin du Golfe du Lion) nous informant que la cartographie actuelle n'est pas complète et que trop d'incertitudes restent à soulever (voir Figure 40 et

Figure 41). Une actualisation complète de la cartographie des herbiers et de la matte morte associée serait nécessaire du Racou à la frontière espagnole afin d'avoir une connaissance détaillée de l'aire de répartition des herbiers de posidonie le long du littoral des Pyrénées Orientales.

En ce qui concerne les biocénoses marines de la côte palavasienne, une étude cartographique complète va être réalisée au sein de la zone Natura 2000 d'Octobre 2021 à début 2022 (marché avec l'OFB) ; la nouvelle cartographie pourra être mise en ligne sur MEDTRIX dans les projets DONIA, DONIA Expert et SURFSTAT avant l'été 2022.

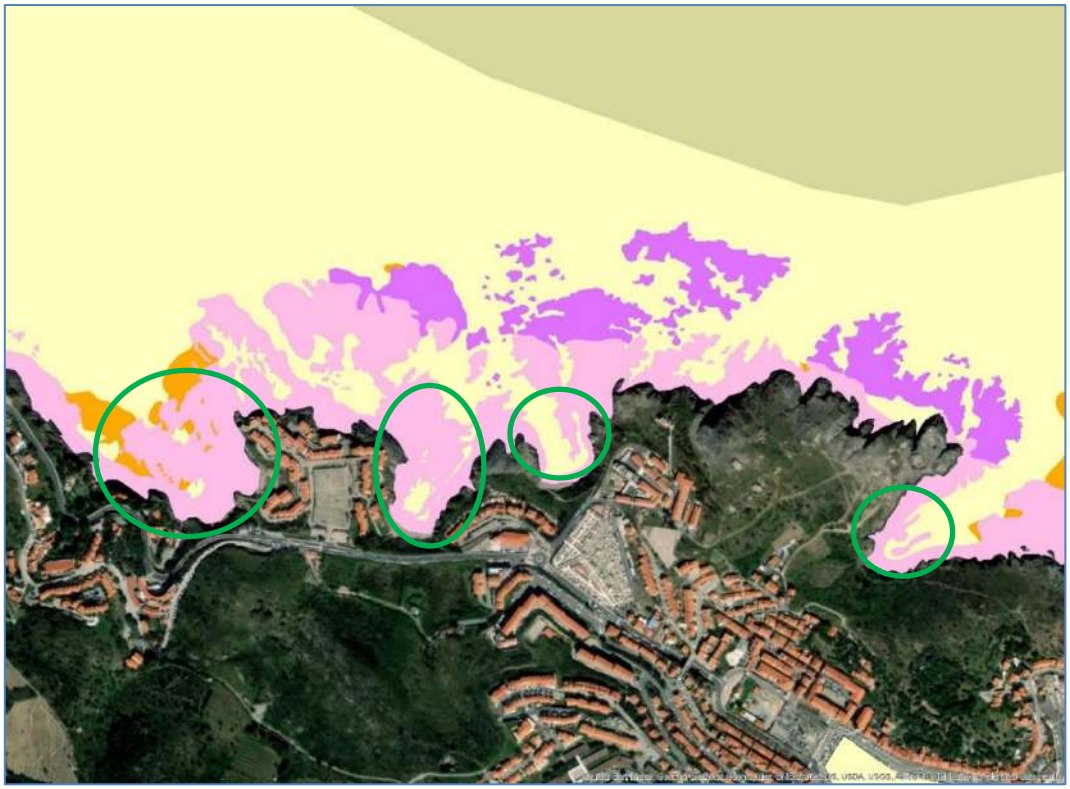


Figure 40 : Cartographie des biocénoses marines entre Collioure et Port-Vendres. D'après plusieurs observations par les plaisanciers et autres usagers du littoral ainsi que l'analyse de photographies aériennes, plusieurs herbiers de posidonie sur roche seraient présents dans ce secteur (cercles verts).

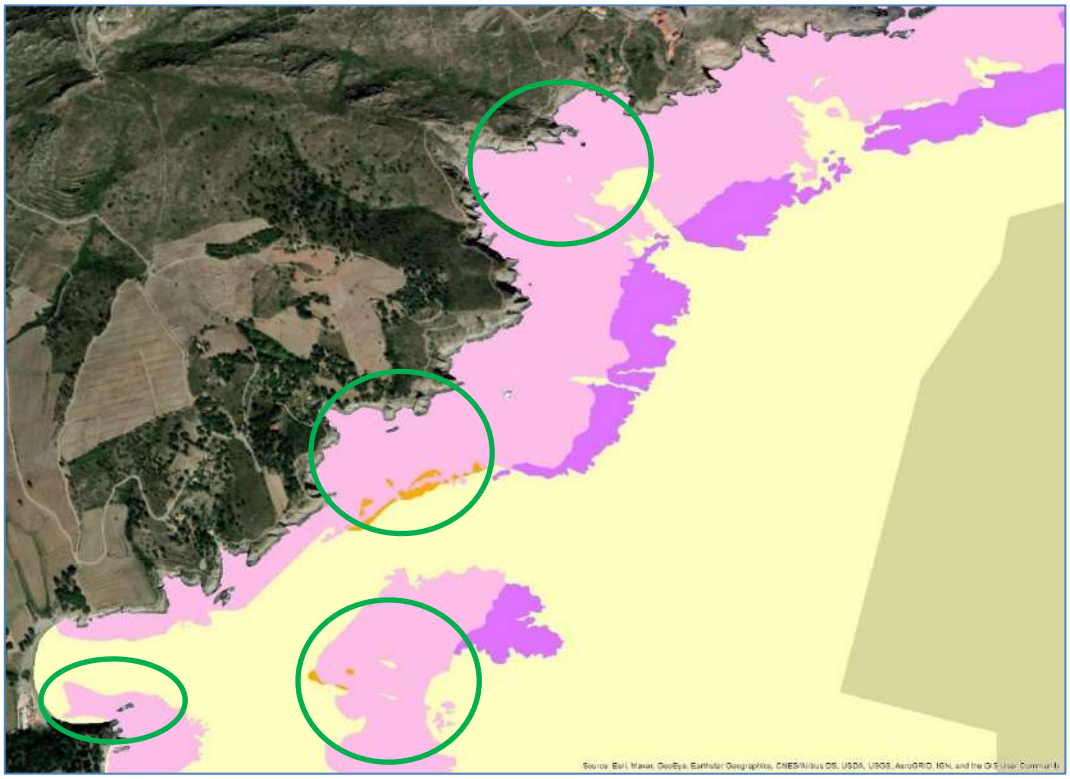
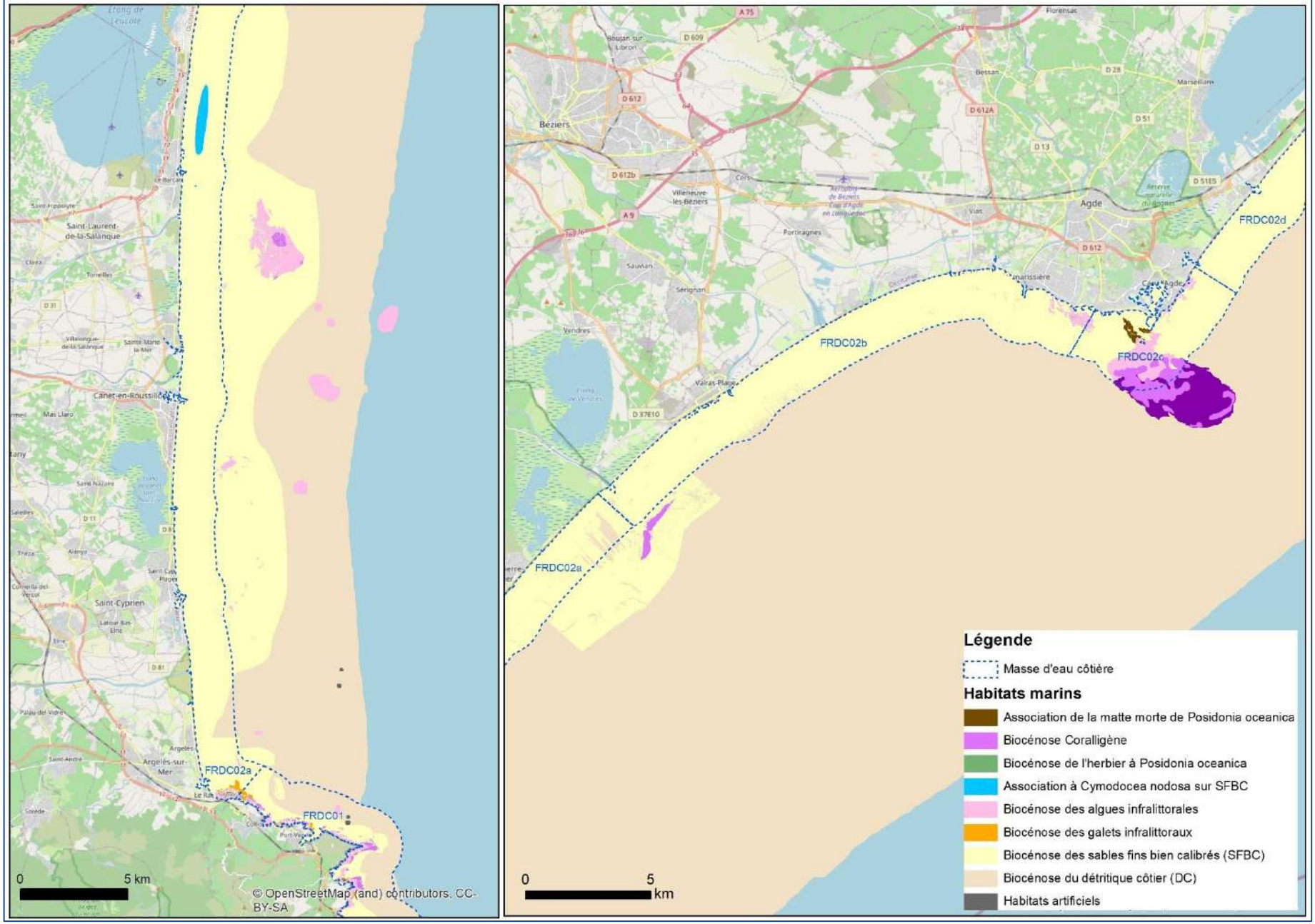


Figure 41 : Cartographie des biocénoses marines dans le secteur de l'Anse de Sainte-Catherine. D'après plusieurs observations par les plaisanciers et autres usagers du littoral ainsi que l'analyse de photographies aériennes, plusieurs herbiers de posidonie sur roche seraient présents dans ce secteur (cercles verts).

Cartographie ancienne ou incomplète : région Occitanie



ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

V.3. Suivi de la recolonisation de l'herbier de posidonie – Projet RECOVERY

Les acquisitions au sonar latéral en région Sud réalisées dans le cadre de SURFSTAT en 2020 ont mis en évidence des formations de taches arrondies de posidonie sur une centaine de secteurs le long du littoral. Des observations similaires de taches de posidonie avaient déjà été réalisées par Andromède en 2012 et 2019 dans la baie de Cavalaire-sur-Mer et avaient montré que ces taches arrondies, visibles sur les mosaïques sonar, étaient la première étape d'un processus de recolonisation naturelle de l'herbier. Il existe plusieurs exemples dans la littérature en Italie et en Espagne de recolonisation spatiale naturelle de l'herbier de posidonie (Noé et al., 2020, Kletou et al., 2018 Guillén et al., 2013 , Almela et al., 2008) mais peu en France.

Ce présent projet vise, dans un premier temps, à étudier ces secteurs de recolonisation mis en évidence dans le cadre de SURFSTAT en réalisant leur inventaire précis en région Sud et en cartographiant finement les taches d'herbier à partir des données sonar. Une analyse du paysage avec le calcul d'indices de complexité de forme sera menée ainsi qu'une caractérisation des conditions physico-chimiques et du niveau de pressions anthropiques sur certains secteurs afin de comprendre les facteurs qui influencent le développement de ces taches.

Dans un second temps, nous étudierons le phénomène de recolonisation de l'herbier dans 30 taches réparties sur cinq secteurs géographiques (trois taches suivies par zone, deux zones par secteur). Sur chaque zone, nous réaliserons une étude pour déterminer l'origine des taches (analyses génétiques) et leur âge (datation au carbone bombe), puis une étude qui concernera la dynamique des taches d'herbier (évolution surfaces et densité de faisceaux) et leur état de santé (déchaussement, longueur des feuilles, recouvrement, espèces associées etc.).

Réseau de surveillance des pressions anthropiques (IMPACT)

I. Introduction

I.1. Contexte

Les activités humaines induisent des **pressions importantes sur le milieu marin**, et en particulier sur les écosystèmes côtiers. Afin de mettre en relation les données biologiques sur les écosystèmes marins côtiers avec les activités humaines, Andromède Océanologie a souhaité cartographier finement les pressions côtières. C'est ainsi que le **projet IMPACT** a été initié en 2013, en collaboration avec l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse.

Les modèles spatiaux disponibles dans le réseau 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.

Dix pressions anthropiques ont été modélisées en 2015 (Holon et al. 2015[4]) et ont déjà permis de cartographier leurs impacts sur les habitats sous-marins côtiers et d'analyser les données de régression d'herbiers de posidonie (Holon et al. 2018[5]). Les 10 pressions anthropiques modélisées sur la première année du projet en 2015 sont les pressions engendrées par les aménagements côtiers, les rejets urbains, les effluents industriels, le mouillage des bateaux, l'agriculture, l'urbanisation, l'érosion côtière, la population côtière, l'aquaculture et la pêche.

En 2018, les 10 pressions ont été mises à jour avec des données récentes et la méthodologie de modélisation a été modernisée. Les pressions engendrées par les cours d'eau, le tourisme balnéaire et le trafic maritime, ont été rajoutées à la liste des pressions modélisées. Le rapport sur la modélisation des pressions anthropiques côtières – IMPACT 2018 est disponible sur MEDTRIX.

I.2. Objectifs de la mise à jour du programme IMPACT

Face au développement croissant des activités humaines sur le littoral, la surveillance des pressions et impacts engendrés est aujourd'hui une priorité. Afin de faire face aux défis futurs en matière de surveillance, un ensemble de développements et mise à jour de données du réseau de surveillance IMPACT ont été effectués en 2020. Ils concernent les éléments suivants :

- Une mise à jour des **cartes d'impacts et d'impacts cumulés** à partir des dernières couches de pressions anthropiques et de la cartographie des biocénoses marines actualisées dans les 14 secteurs impactés par le mouillage (Mise à jour SURFSTAT 2020-2021 en région Sud).

---

[4] Holon, F., Mouquet, N., Boissery, P., Bouchoucha, M., Delaruelle, G., Tribot, A. S., & Deter, J. (2015). Fine-scale cartography of human impacts along French Mediterranean coasts: a relevant map for the management of marine ecosystems. *PLoS One*, *10*(8), e0135473.

[5] Holon, F., Marre, G., Parravicini, V., Mouquet, N., Bockel, T., Descamp, P., ... & Deter, J. (2018). A predictive model based on multiple coastal anthropogenic pressures explains the degradation status of a marine ecosystem: Implications for management and conservation. *Biological Conservation*, *222*, 125-135.

- Une amélioration de la méthodologie de modélisation pour **la pression de mouillage due à la petite plaisance**.

- Une première modélisation des **anomalies de température** de fond des eaux côtières.

- Un élargissement du **réseau d'antennes de réception AIS**.

- Le développement d'une base de données **PostgreSQL.**

II. Mise à jour des cartes d'impacts et d'impacts cumulés

La mise à jour du programme SURFSTAT 2020-2021 en région Sud a permis d'actualiser la cartographie des biocénoses marines sur 14 secteurs impactés par le mouillage (cf. première partie du présent rapport). En couplant ces données de cartographie des biocénoses à la matrice de vulnérabilité issue d'une compilation de la littérature (Halpern et al. 2008; Micheli et al. 2013; Holon et al. 2015) et de dires d'experts, il a été possible de mettre à jour la cartographie des impacts et impacts cumulés.

Pour chacune des 13 pressions, l'intensité de l'impact a été calculé (en cinq classes entre 0 = faible impact et 1 = très fort impact). La figure ci-dessous illustre en exemple l'intensité de l'impact du mouillage de la grande plaisance.

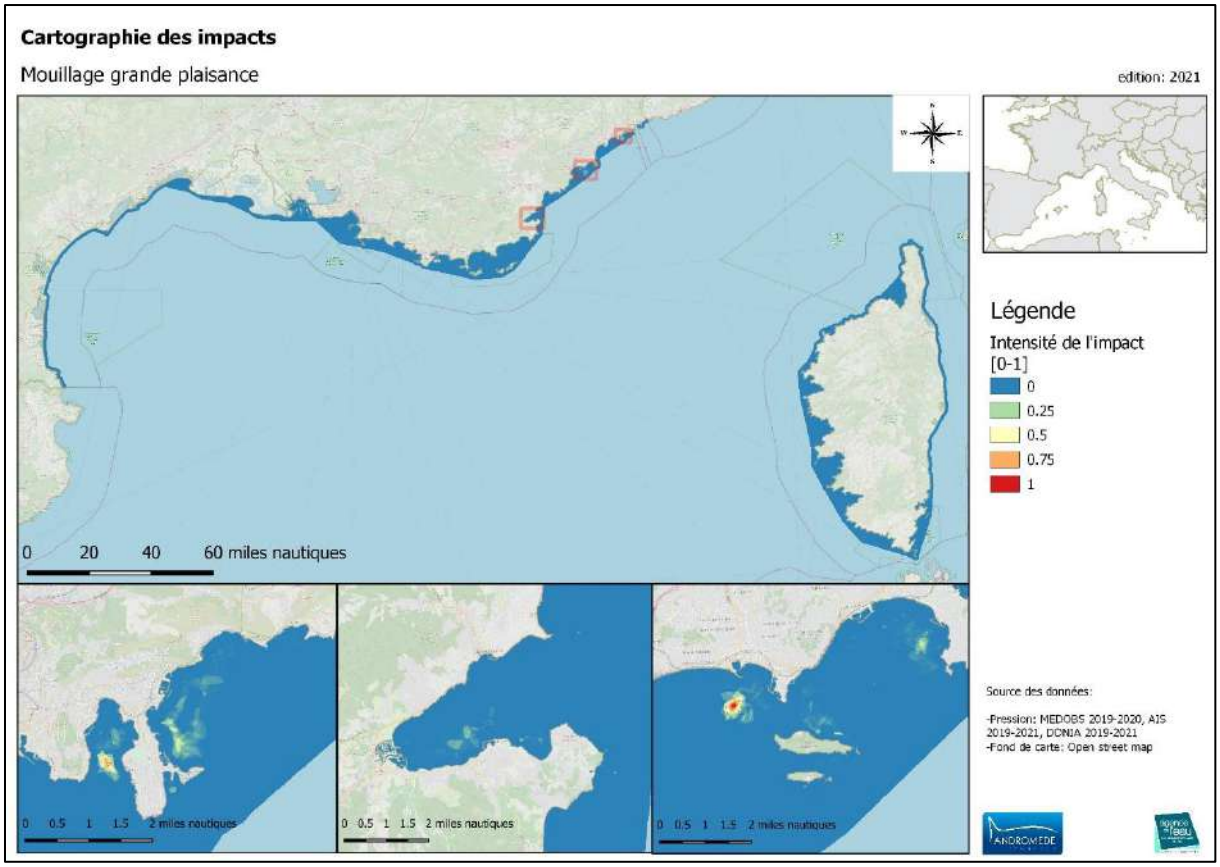


Figure 42 : Cartographie de l'impact du mouillage de la grande plaisance.

Dans un second temps a été réalisée la **cartographie des impacts cumulés**, représentés en cinq classes (impact très faible, faible, moyen, fort, très fort). Elle est disponible en visualisation sur le projet IMPACT 2018 sur la plateforme MEDTRIX.

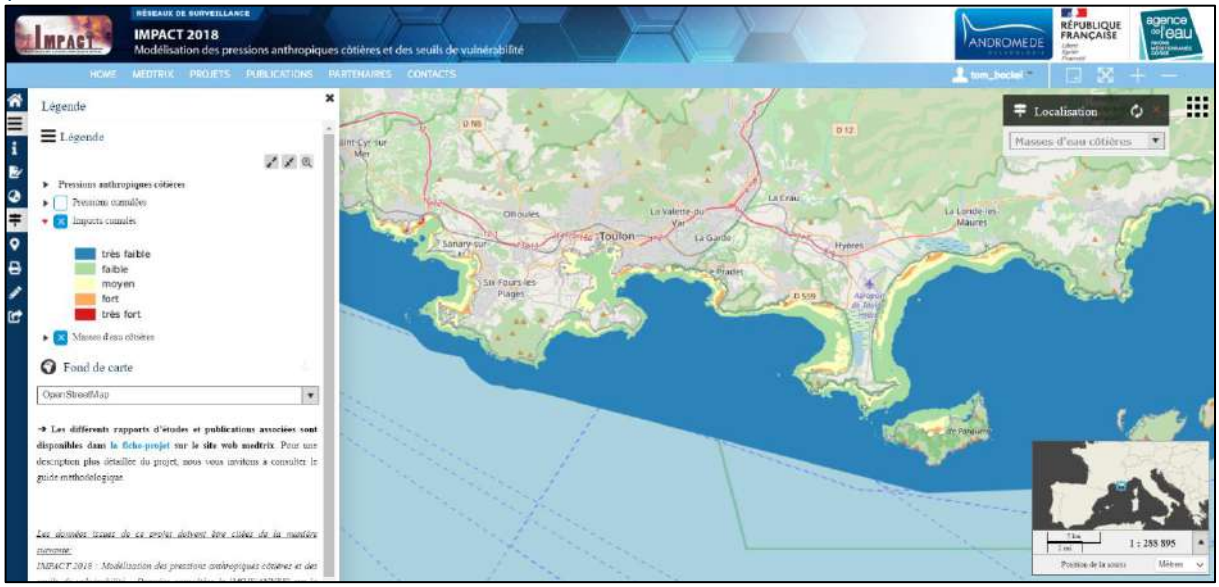


Figure 43 : Cartographie des impacts cumulés (Source : projet IMPACT 2018, plateforme MEDTRIX).

III. Amélioration de la méthodologie de modélisation de la pression de mouillage de la petite plaisance

La première version de la cartographie de la pression de mouillage de la petite plaisance a été réalisée en 2015. Elle était basée sur les **données MEDOBS**, Observatoire Aérien de la Méditerranée -Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse (www.medobs.fr), un réseau de suivi aérien des pressions anthropiques en mer, notamment la pression de mouillage sur les zones les plus fréquentées.

En 2015, le nombre de bateaux par catégorie de taille (<20 m ou >20 m) étaient comptés à partir de prises de vues aériennes en été (données MEDOBS), complétées par des images satellites. Les zones de mouillage étaient ensuite été catégorisées en trois classes en fonction du nombre moyen de bateaux : (1) <100 bateaux, (2) >100 et <200 bateaux, (3) >200 bateaux.

En 2018, une première mise à jour de la carte de pression des mouillages de la petite plaisance a été réalisée en utilisant les données du réseau MEDOBS, hors grande plaisance, à jour (données jusqu'à 2016). Les zones de mouillage étaient séparées en trois catégories : 1 : zone de mouillage avec densité maximale de moins de 0.5 bateaux/100 m²; 2 : zone de mouillage avec entre 0.5 et 1 bateau/100 m²; 3 : zone de mouillage avec plus de 1 bateau/100 m².

Le réseau de réception de données AIS, ainsi que les données issues de l'application DONIA, fournissent aujourd'hui des outils précis et adaptés à l'étude de la petite plaisance. Ces données ont été intégrées à la modélisation en 2021. La pression de mouillage de la petite plaisance a ainsi été mise à jour à l'aide des données de **comptages aériens de l'observatoire MEDBOS pour les années 2019 et 2020, ainsi que les données AIS et DONIA pour les navires inférieurs à 24 mètres, de 2019 à 2021**. La cartographie réalisée est présentée ci-dessous.

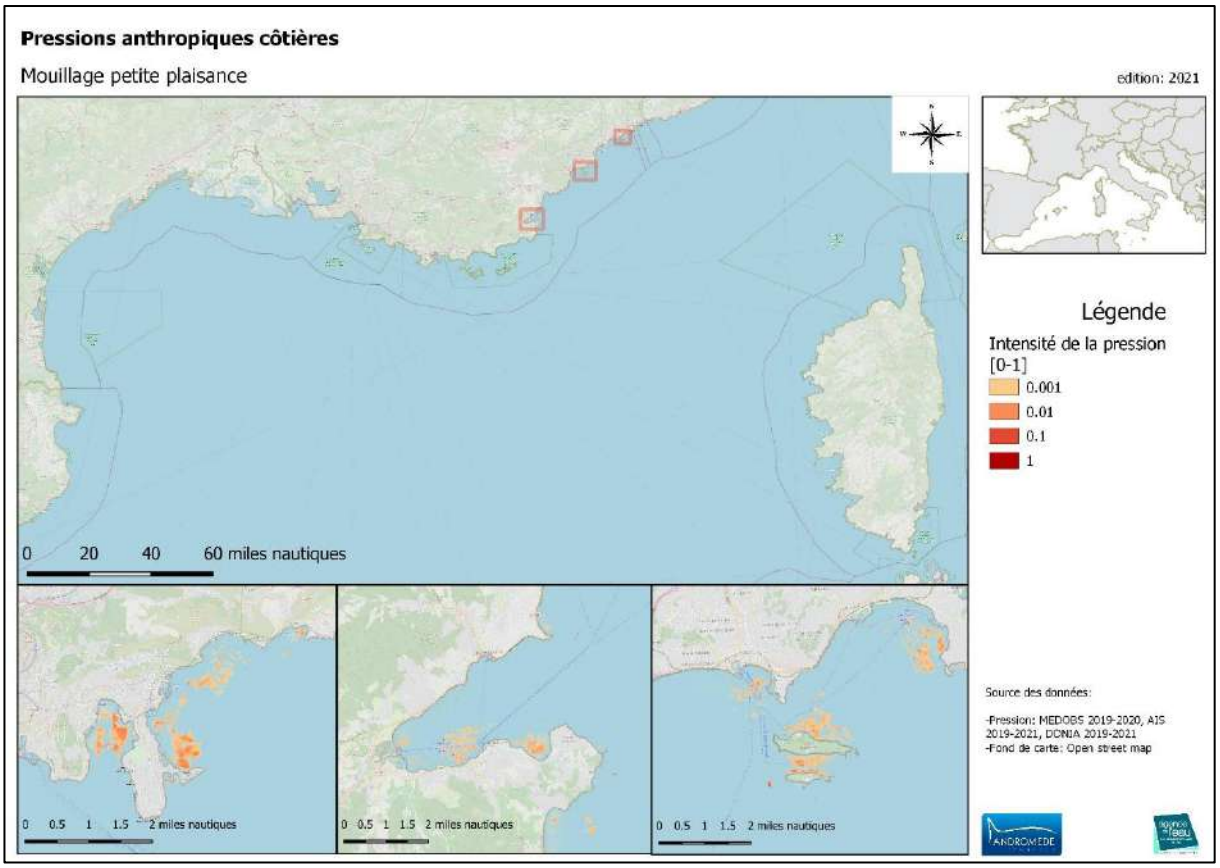


Figure 44 : Cartographie de la pression de mouillage petite plaisance mise à jour en 2021.

IV. Modélisation des anomalies de température de fond des eaux côtières

Un premier travail d'investigation a été réalisé afin d'explorer l'impact des variations de température de fond sur les peuplements coralligènes en Méditerranée française. Andromède Océanologie équipe en effet depuis 2013 (en partenariat avec l'AERMC), l'ensemble des sites de surveillance des réseaux RECOR et TEMPO avec des capteurs de température (réseau CALOR). Chaque site est relevé en mai-juin tous les trois ans avec un décalage d'un an d'une région à une autre : Occitanie/PACA Ouest, PACA Est et Corse.

Ces données de température, affinées tous les ans et disponibles tout le long des côtes méditerranéennes françaises, sont essentielles pour **comprendre les effets du changement climatique** sur les écosystèmes marins, en utilisant les données collectées dans les autres réseaux de surveillance.

Actuellement, **239 capteurs de fond sont en cours d'acquisition de données entre 5 et 115 mètres de fond en Méditerranée française** (133 capteurs RECOR, 14 capteurs PNMCCA et 92 capteurs TEMPO).

Les données de température de fond ont été utilisées pour produire un ensemble d'indicateurs thermiques sur les trois dernières années de mesure : moyenne, maximum, minimum, écart-type, étendue, nombre de vagues de chaleurs marines, somme des intensité journalières cumulées des vagues de chaleur marines. Ces indicateurs thermiques ont été comparés aux occurrences de nécroses des organismes coralligènes (réseau RECOR), et aux observations d'algues filamenteuses (réseaux SURFSTAT et RECOR), en prenant en compte la profondeur d'échantillonnage.

Ces analyses ont permis la mise en avant de l'influence du nombre de vagues de chaleur marines (sur les 3 dernières années) sur la nécrose des organismes coralligènes. Ces résultats manquant encore de robustesse statistique, ces analyses seront affinées à l'avenir au fur et à mesure de l'enrichissement des bases de données de température et d'état de santé du coralligène

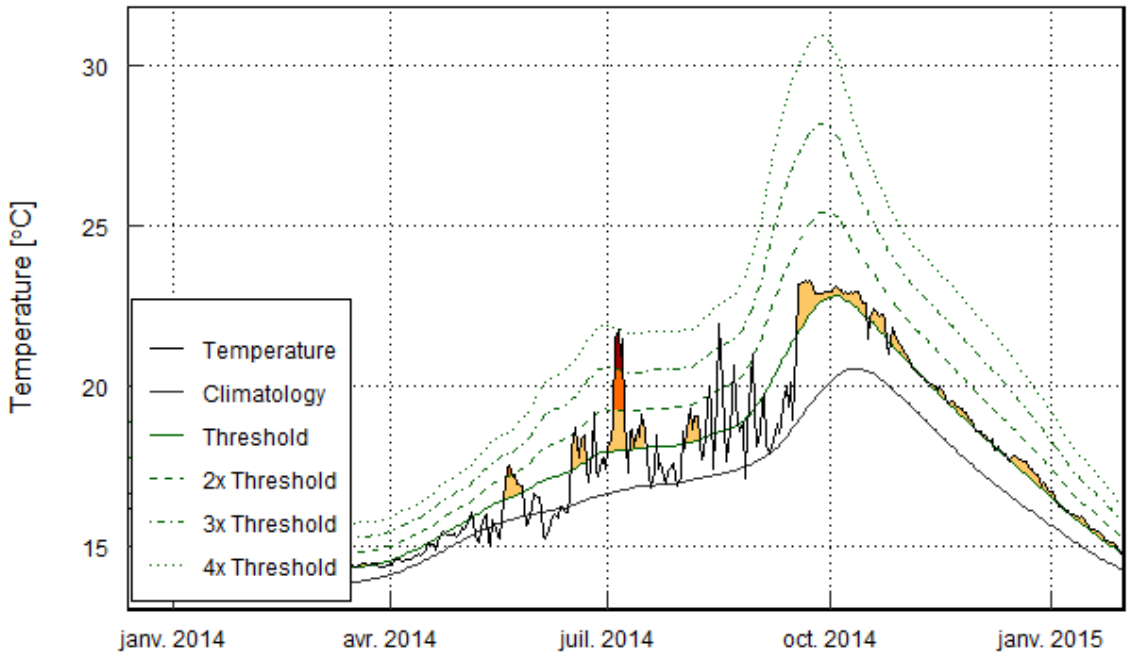


Figure 45 : Exemple d'analyse des vagues de chaleur marines pour le site de la pointe Bacon

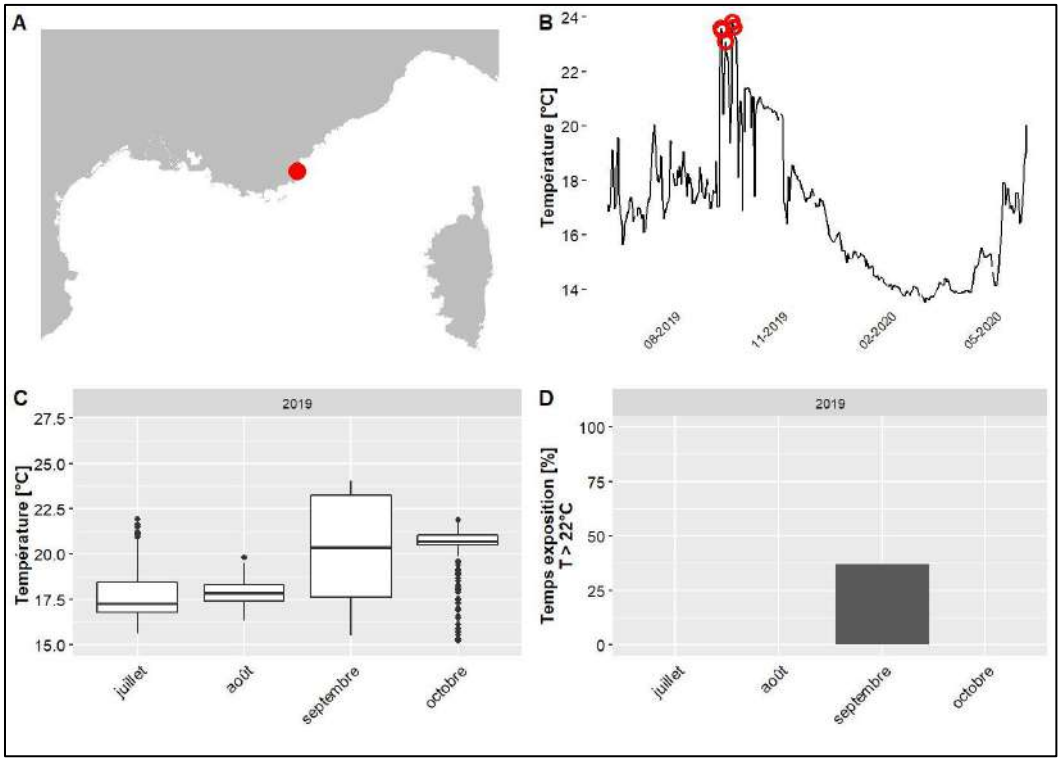


Figure 46 : Exemple d'exploitation des données de température pour le site balise Rabiou, du réseau RECOR : A. LOCALISATION, B. EVOLUTION TEMPORELLE DE LA TEMPERATURE (MOYENNE JOURNALIERE), AVEC ANOMALIES DE TEMPERATURE EN ROUGE, C. DISTRIBUTION STATISTIQUE DES TEMPERATURES, D. POURCENTAGE DE TEMPS PASSE AU-DESSUS DE 22 °C

V. Elargissement du réseau d'antennes de réception AIS

Les données AIS (bateaux >24 m) permettent la localisation fine des ancrages de la grande plaisance et les données AIS (bateaux <24 m) celle des ancrages de la petite plaisance. Exploitées par l'application DONIA et le module DONIA Manager, elles proviennent du réseau AISHub. Ce réseau de stations de réceptions AIS terrestres est implanté dans le monde entier. Il constitue un ensemble d'utilisateurs partageant leurs données pour enrichir les connaissances de la communauté.

Depuis le lancement du projet IMPACT en 2013, **le réseau de stations de réception AIS terrestres en Méditerranée française a été consolidé par l'ajout de cinq nouvelles stations** (points bleus, carte suivante**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), dont le fonctionnement est en cours de pérennisation pour être pleinement opérationnelles :

- une station à Carnon sur les locaux d'Andromède Océanologie ;

- une station à La Ciotat installée par Andromède Océanologie sur les locaux de M. Gérard Carrodano ;

- une station à Argelès installée par Andromède Océanologie sur les locaux de Parc Naturel Marin du Golfe du Lion ;

- une station à Santa Cevera en Haute Corse installée par le Parc Naturel Marin du Cap Corse et de l'Agriate, en collaboration avec l'équipe d'Andromède Océanologie

- une station à Porticcio dans le golfe d'Ajaccio.

Andromède Océanologie travaille en parallèle sur la remise en état d'une station en Corse située à Calvi, installée par la STARESO en collaboration avec Andromède Océanologie.

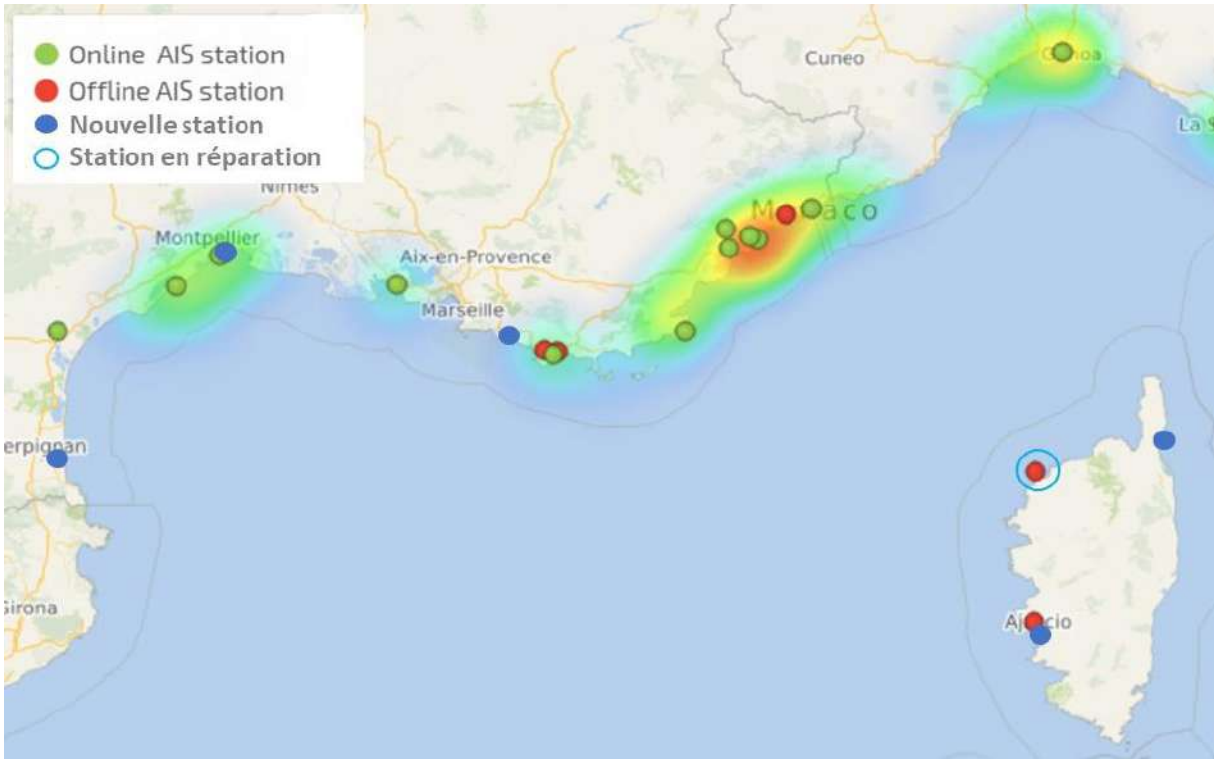


Figure 47 : Réseau de stations de réception AIS terrestres en Méditerranée française.

Le **matériel** installé comporte une antenne AIS Glomex RA300 d'environ 1m20, un boitier AIS COMAR R400N, et une antenne wifi ubiquity locoM2. L'antenne AIS est câblée au boitier à l'aide de câble coaxial RG8x.

Le **poids des données** transférées est d'environ 200Mo par mois et par station.

L'antenne AIS doit être localisée le plus haut possible afin d'avoir un champ de vision dégagé vers l'espace maritime à surveiller.

La configuration du récepteur AIS se fait en direct sur site par un membre de l'équipe.

Une fois l'antenne installée et configurée, les positions sont envoyées toutes les minutes vers la base de données AISHUB, et récupérées toutes les 2 minutes par les serveurs d'Andromède Océanologie afin de traiter et rebasculées vers les diverses applications (DONIA, DONIA Manager, MEDTRIX).

Figure 48 : (gauche à droite) Antenne wifi, boitier AIS et antenne AIS

Andromède prévoit de plus à court terme l'installation de deux autres nouvelles stations AIS sur la région Corse, qui présente une large bande côtière non équipée à l'heure actuelle (Sud-Est). Ces données sont traitées en temps réel afin de **calculer le point d'ancrage des navires et de les corréler avec la cartographie des fonds marins**. Les points d'ancrage et leur impact renseignent à la fois DONIA Manager et l'application DONIA.

VI. Actualisation, structuration et stockage des données d'IMPACT dans une base de données PostgreSQL

L'affichage, le stockage et l'analyse de ces gros jeux de données a représenté un challenge technique important (cf. chiffres présentés dans le tableau ci-dessous). Andromède Océanologie a mis en place sur ses serveurs des **bases de données PostgreSQL-PostGIS**. PostgreSQL est opensource, et dispose d'une communauté d'utilisateurs et de développeurs très large. PostgreSQL possède de plus une extension permettant le stockage et la manipulation de données spatiales, l'extension PostGIS. Cette technologie offre entre autres une plus grande fluidité dans l'accès aux données, et de nombreuses possibilités de traitement facilité. Andromède océanologie opère depuis cette année une transition progressive de ses différentes bases de données vers la technologie PostgreSQL-PostGIS.

*Les **données AIS** représentent un volume conséquent avec plus d'un million de positions par jour, et plus d'un milliard de positions stockées en base de données à l'heure actuelle. L'acquisition, le traitement et le stockage de ces données ont nécessité l'acquisition d'un **serveur de calcul DELL precision T7820** opéré sous Linux et hébergé localement dans les bureaux d'Andromède océanologie.

*La transformation des **données de positions en données de mouillages** ainsi que leur gestion en temps réel ont aussi nécessité l'acquisition d'un nouveau serveur de calcul. Ce serveur est hébergé à distance chez l'opérateur Online. La base de données PostgreSQL-PostGIS installée sur ce serveur permet la mise à jour des positions de navires au mouillage en temps réel sur l'ensemble de la méditerranée.

*Les **données de mouillages historiques** sont stockées elles aussi sur une base de données PostgreSQL-PostGIS située sur le serveur « MEDTRIX », hébergé lui aussi à distance chez l'opérateur Online.

Le tableau ci-dessous récapitule le bilan des données numériques AIS et DONIA de positions des navires stockées sur les servers Andromède et de localisation des mouillages, stockées et gérées sur les bases de données PostgreSQL-PostGIS maintenues par Andromède Océanologie.

Tableau 25 : Bilan des données numériques AIS et DONIA (en date d'Octobre 2021) qui sont stockées sur les serveurs et les bases de données d'Andromède

Bilan des données numériques AIS et DONIA - Echelle Méditerranée	
total positions donia historiques (milliards)	0,048
total positions ais historiques (milliards)	6,594
total positions historiques (milliards)	**6,642**
total mouillages donia historiques (nombre)	7000
total mouillages ais historiques (nombre)	173000
total mouillages historiques (nombre)	**180000**
total mouillages donia temps réel* (nombre)	50
total mouillages ais temps réel* (nombre)	1700
total mouillages temps réel* (nombre)	**1750**
**Temps réel en Octobre 2021*	

Les bases de données PostgreSQL-PostGIS d'Andromède Océanologie permettent aujourd'hui :

- **la mise à jour des positions des navires ainsi que des mouillages en temps réel sur l'ensemble de la Méditerranée**, visibles sur l'application DONIA, sur le module Temps Réel de DONIA Manager, sur le projet « Suivi du mouillage » de la plateforme MEDTRIX.

- le **stockage des données de mouillages historiques** depuis 2010 sur l'ensemble de la Méditerranée française, visibles sur le module Historique de DONIA Manager et sur le projet « Suivi du mouillage » de la plateforme MEDTRIX.

- le **stockage des spots partagés du module communautaire** de l'application DONIA, visibles sur le projet « Sciences participatives » de la plateforme MEDTRIX.

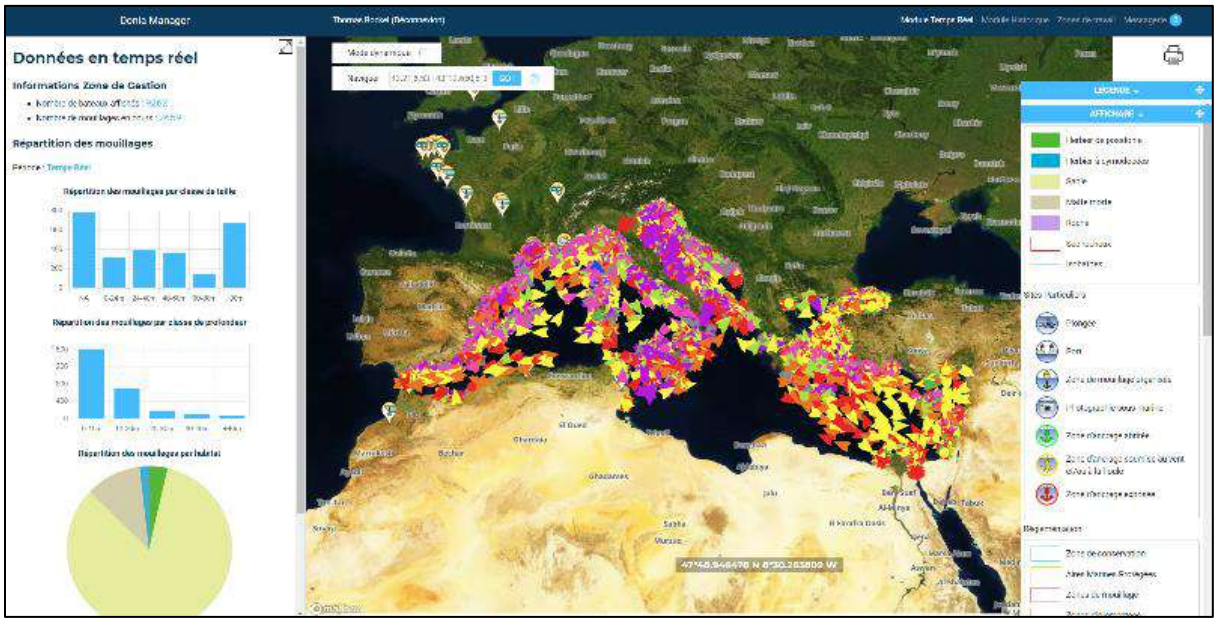


Figure 49 : Positions AIS en temps réel accessibles sur le module DONIA Manager.

L’utilisation de la base de données PostgreSQL-PostGIS permet pour finir une interaction directe et participative avec les utilisateurs de la plateforme MEDTRIX à travers le projet « Sciences participatives ». Les utilisateurs de la plateforme peuvent ainsi renseigner directement sur MEDTRIX leurs observations concernant les perturbations physiques (ex. filets de pêches abandonnés …) et biologiques (ex. espèces envahissantes) aperçus sur le terrain.

La figure 50 illustre de la **chaine de traitement des données AIS et DONIA**.

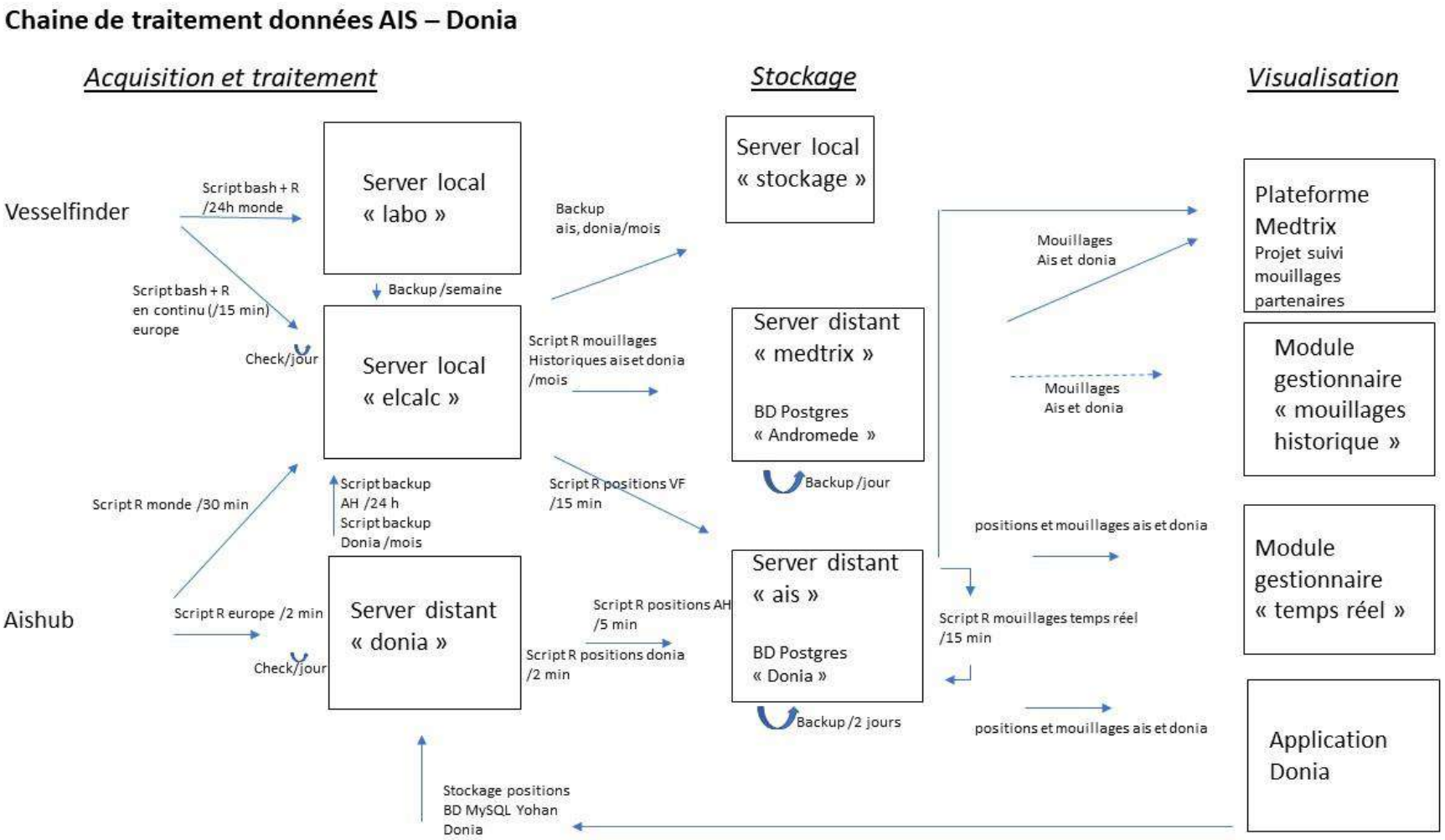


Figure 50 : Schéma illustratif de la chaine de traitement des données AIS et DONIA

Bancarisation et valorisation des données IMPACT et SURFSTAT

I. Plateforme Medtrix

L'ensemble de la cartographie continue des biocénoses marines mise à jour pour SURFSTAT 2020-2021 et des données IMPACT 2020-2021 est mis à disposition et intégré à la **plateforme cartographique MEDTRIX** (https://plateforme.medtrix.fr/) dans les projets suivants :

- **DONIA EXPERT**, projet de cartographie détaillée des biocénoses marines disponible sur la plateforme MEDTRIX. Grâce à 30 années de données provenant de multiples travaux compilés et de campagnes de terrain en Méditerranée française, de nombreuses lacunes ont pu être comblées. Ainsi, (1) la cartographie des petits fonds le long de la façade méditerranéenne française a pu être actualisée à l'aide de photographies aériennes, et les fonds plus profonds (en-dessous de 15 mètres) ont été analysés grâce à (2) des campagnes d'acquisition bathymétrique et (3) des campagnes de vérités-terrain (plongées ponctuelles et transects plongeur audio). Au total, 11 classes d'habitats sont cartographiées (similaires à SURFSTAT en excluant la zone bathyale et la biocénose des roches bathyales). Ce projet permet aux utilisateurs de MEDTRIX de s'informer sur l'hétérogénéité des fonds marins sur 1700 km de côte française (47 masses d'eau côtières) et avec une précision de 1/10 000ème entre 0 et 80 mètres. Des données sur les aires marines protégées de Tavolara (Sardaigne), Galite et Zembra (Tunisie) sont également disponibles. **Les données cartographiques des 14 zones prioritaires mises à jour en 2020-2021 sont intégrées au projet DONIA Expert.**

- **DONIA**, projet en lien avec l'application mobile DONIA® (http://www.donia.fr) qui permet aux plaisanciers, plongeurs, pêcheurs et à tous les amoureux de la mer, d'échanger des informations tout en contribuant à protéger les écosystèmes marins sensibles, dans le respect de la loi. Il met à la disposition de l'utilisateur, une cartographie simplifiée des habitats marins (jusqu' à 50 m de profondeur), de nombreux points d'intérêt (sites de plongée, sentiers sous-marins, ports et zones de mouillage organisé, etc.) et la réglementation en mer (notamment les arrêtés règlementant le mouillage des navires de plus de 20 ou 24 mètres dans les départements littoraux, qui sont une déclinaison de l'arrêté cadre n°123/2019). **Les données cartographiques des 14 zones prioritaires mises à jour en 2020-2021 sont intégrées au projet DONIA.**

- **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. **Les données cartographiques des 14 zones prioritaires mises à jour en 2020-2021 sont intégrées au projet SURFSTAT.**

IMPACT, projet sur la modélisation des pressions anthropiques côtières opéré depuis 2013 par Andromède océanologie avec le soutien de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse. Les modèles spatiaux disponibles sur MEDTRIX 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. **Les données cartographiques de la petite plaisance et des impacts et impacts cumulés mises à jour en 2020-2021 sont intégrées au projet SURFSTAT.**

II. Application DONIA

DONIA, une application de cartographie marine, communautaire et gratuite. Elle est téléchargeable sur les stores Android et Apple et permet aux plaisanciers ou capitaines de yacht de se positionner par rapport à la nature des fonds et d'éviter d'ancrer dans les herbiers sous-marins. Cette application, développée en 2013, est également destinée aux pêcheurs, aux plongeurs et à tous les usagers de la mer souhaitant bénéficier de cartes marines enrichies et d'informations en temps réels. Les cartes, précises au 1/10 000ème, intègrent également la bathymétrie et des alarmes prévenant collisions, dérapage et emmêlage afin de permettre aux utilisateurs d'être plus en sécurité à bord et d'avoir plus de choix de sites de mouillage. La méthodologie concernant la cartographie des biocénoses marines 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). **Les données cartographiques des 14 zones prioritaires mises à jour en 2020-2021 sont intégrées à l'application DONIA.**

III. Publication scientifique

Aquatic Botany 176 (2022) 103465

Contents lists available at ScienceDirect

Aquatic Botany

journal homepage: www.elsevier.com/locate/aquabot

Short communication

Distribution of the seagrass *Halophila stipulacea*: A big jump to the northwestern Mediterranean Sea

T. Thibaut [a,*], A. Blanfuné [a], C.F. Boudouresque [a], F. Holon [b], N. Agel [b], P. Descamps [b], J. Deter [b], T. Pavy [b], G. Delaruelle [b], M. Verlaque [a]

[a] Aix Marseille University and Université de Toulon, CNRS, IRD, Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), UM 110, Marseille, France
[b] Andromède Océanologie, 7 place Cassann Carnon-Plage, 34130 Mauguio, France

ARTICLE INFO

Keywords:
Mediterranean
Halophila
Introduced species: northern limit
French Riviera

ABSTRACT

The Red Sea and Indian Ocean seagrass *Halophila stipulacea* entered the Mediterranean in the late 19th century via the Suez Canal. Here, we report on the discovery of a population of *H. stipulacea* covering 16.5 ha off the harbour of Cannes, French Riviera, France. This represents the northernmost locality of the species and a jump of 350 km to the north from its closest western Mediterranean locality (Razza di Juncu in Sardinia). At Cannes, it was found dwelling between 11 and 17 m depth on a dead *matte* of *Posidonia oceanica*. The species has most probably been introduced through mega-yacht or cruise ship anchoring since the Bay of Cannes is among the most highly-frequented places for luxury yachting and tourism. The lack of effective regulation to prevent the introduction of non-indigenous species in France and Europe is highlighted.

1. Introduction

The Mediterranean Sea is a hot-spot of biological invasions (Galil, 2000). The Suez Canal, and the entry of Red Sea species into the Mediterranean (Lessepsian immigrants), together with shellfish aquaculture, are the main pathways of species introduction; shipping (fouling, clinging, ballast water) and aquarium release also constitute important vectors (Zenetos et al., 2012). Among the ca. 1000 Non-Indigenous Species (NIS) recorded in the Mediterranean Sea, 535 are naturalized, and 159 of them are macrophytes (C.F. Boudouresque, unpublished data), including two exotic seagrasses: *Halophila stipulacea* (Forsskål) Ascherson, introduced into the Mediterranean Sea via the Suez Canal more than a century ago (Por, 1978) and *Halophila decipiens* Ostenfeld, introduced, probably through shipping, in Greece and first discovered in 2018 (Gerakaris et al., 2020).

Since its first Mediterranean sighting (Rhodes Island, in 1894), *H. stipulacea* has colonized the eastern Mediterranean basin, the south of the Adriatic Sea and the south of the Tyrrhenian Sea: Albania, Cyprus, Egypt, Greece, Israel, mainland Italy (northernmost limit: Porto Palinuro, Salerno), Lebanon, Libya, Malta, Sardinia, Syria, Tunisia and Turkey (Winters et al., 2020; CABI, 2021; Pica et al., 2021).

Halophila stipulacea has been also introduced into the Atlantic Ocean where it was first observed in 2001 (Ruiz and Ballantine, 2004). Since then, it has been rapidly invading the western tropical area: Curaçao, Dominica, Grenada, Grenadines, Guadeloupe, Martinique, Sant Eustatius, Saint Lucia, Saint Martin, Saint Vincent, US Virgin Islands and Venezuela; (Winters et al., 2020; CABI, 2021). The genotype that invades the Atlantic Ocean is believed to originate from the Mediterranean Sea and to have probably crossed the Atlantic in the anchor well of a pleasure yacht or cruise ship (Ruiz and Ballantine, 2004), the Mediterranean thus functioning as a hub for exotic species transfer (Boudouresque et al., 2016).

Here, we report on the discovery of *H. stipulacea* along the French Riviera (France), which represents a jump in its known distribution of several hundred kilometres from its previously known northernmost localities in the western Mediterranean (northern Sardinia), and we describe its habitat and morphological features.

2. Material and methods

The observations have been done by scuba-diving during a survey along the French Mediterranean coast, performed by the *Andromède Océanologie* Society, in the framework of the implementation of the EU directives WFD (Water Framework Directive) and MSD (Marine Strategy Directive) by the French State Agency *Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse*. Identification was made through documentation,

* Corresponding author.
E-mail address: thierry.thibaut@univ-amu.fr (T. Thibaut).

https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2021.103465
Received 8 July 2021; Received in revised form 21 September 2021; Accepted 1 October 2021
Available online 9 October 2021
0304-3770/© 2021 Published by Elsevier B.V.

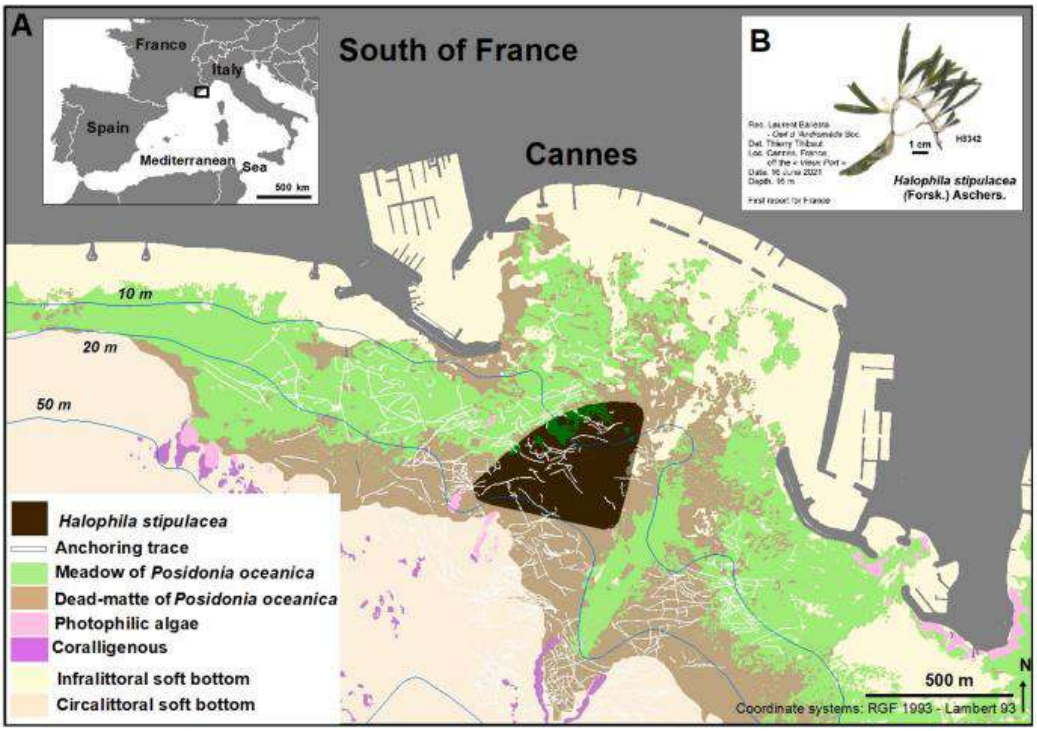


Fig. 1. A. Location of *Halophila stipulacea* at Cannes (French Riviera, France). Habitats have been extracted from the Medtrix platform (2021). B. *Halophila stipulacea.*, specimen H8342 collected at Cannes in June, 2021.

literature, and vouchers – of the *Plateforme Macrophytes* of the MIO (Mediterranean Institute of Oceanography). Temperature and salinity data were extracted from the SOMLIT database (SOMLIT, 2021).

The shoot density of *H. stipulacea* was measured in situ within 20 cm × 20 cm frames (10 replicates), and the invaded area was accurately mapped using GPS positioning. The diver is positioned with a USBL positioning system, the MicronNav from Tritech. This system is fixed on the towing board to which the diver is attached; it transmits its numerous marine observations via a communication system (RCH's Aquacom) to the surface team, while being geo-located. The affected surface was calculated and a map was produced with ArcGIS, including habitats, bathymetry, as well as traces of anchoring injuries extracted from the Medtrix platform, a French governmental platform data centre hosting the data on marine habitats of the French Mediterranean coasts (Medtrix, 2021).

Collected specimens were deposited in the HCOM Herbarium under the references H8342 and H8343 (Macrophyte collection - MIO - Aix-Marseille University, Marseille).

3. Results and discussion

In June 2021, a population of *H. stipulacea* was discovered at Cannes (French Riviera, France) in front of the harbour entrance (43°32.479′ N; 7°01.298′ E) (Fig. 1A). The population was growing mixed with the invasive green alga *Caulerpa cylindracea* Sonder on a *Posidonia oceanica* (L.) Delile dead *matte* (natural network of rhizomes, roots and sediments subsisting a long time after the death of the seagrass) between 11 and 17 m depth. In the Bay of Cannes, the *P. oceanica* meadows have been severely damaged by the anchoring of large ships (mega-yachts and cruise ships). In the area where the species was observed, the dead *matte* dominates and a dense network of conspicuous traces of anchoring is visible. The invaded area reached 16.5 ha with a density ranging from 143 to 437 shoots m^{-2} (mean: 202; SE: 31; n = 10).

The morphological features of specimens match with the *H. stipulacea* diagnosis i.e. a pair of large, persistent, transparent scales, elliptical in shape at the base of the short petiole; linear, oblong and membranous blades (up to 57 mm long), with 10–40 branched cross veins and serrulate margins (Fig. 1B). Sexual reproduction was not observed.

The Cannes *H. stipulacea* record is the northernmost in the western Mediterranean, more than 340 km from Razza di Juncu the northeastern Sardinia (Pica et al., 2021). This record is also the first of an exotic seagrass for the French Mediterranean coasts.

Densities measured at Cannes are much lower than those measured in a shallow habitat, 2 m depth, at Palinuro (10,500 shoots m^{-2}) (Gambi et al., 2009), between 5 and 25 m depth, at Vulcano Island (10,500–15,000 shoots m^{-2}) (Procaccini et al., 1999), and at 4 m depth at Giardini Naxos in eastern Sicily (> 19,000 shoots m^{-2}) (Cancemi et al., 1994).

Considering the large area invaded at Cannes, the introduction seems to date back to a few years ago, which means that the species has endured at least one winter period. The Bay of Cannes is among the world's most highly-frequented places for luxury mega-yachts and cruise ships, especially from May to the end of August, and in particular during prestigious cultural events such as the Cannes Film Festival, when a large number of large ships moor there. Anchors are an effective mode of dissemination for NIS (Boudouresque and Verlaque, 2002; West et al., 2007) and are strongly suspected of being responsible for the dissemination of *H. stipulacea* (Lipkin, 1975; Ruiz and Ballantine, 2004;

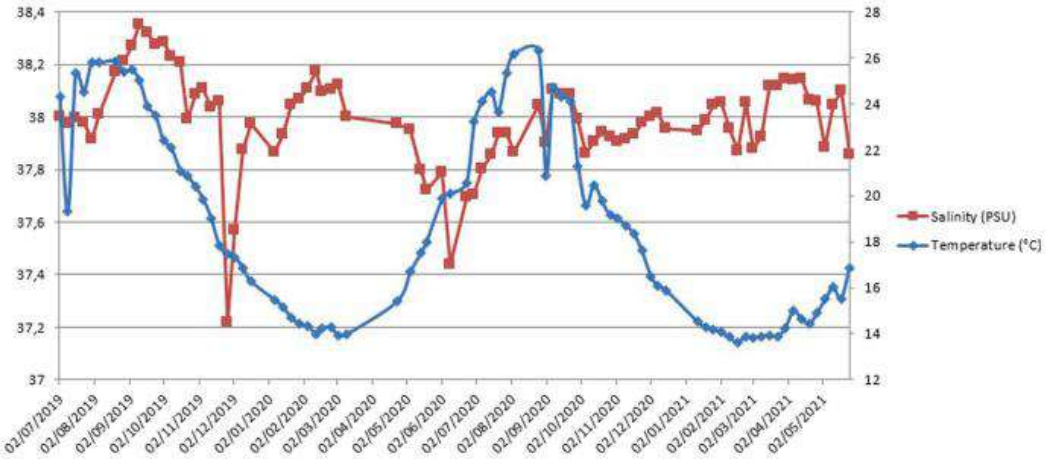


Fig. 2. Sea surface temperatures and salinities recorded between 2019 and 2021 in Villefranche-sur-Mer Bay (French Riviera) (SOMLIT, 2021).

Gambi et al., 2009).

Sexual reproduction was not observed at Cannes. In the Mediterranean, there is a bias towards male flowers (Gambi et al., 2009) and fruits have been reported only twice (Lipkin, 1975; Gerakaris and Tsiamis, 2015). The rarity of successful sexual reproduction, with production of fruits, has also been reported in the Caribbean Sea (Chiquillo et al., 2019). Unlike the natural range of *H. stipulacea* where both sexual reproduction and vegetative propagation occur, in its invasive range (Mediterranean Sea and Caribbean Sea), the latter mode appears to be dominant (Malm, 2006; Chiquillo et al., 2019; Nguyen et al., 2018).

Annual sea surface temperatures range from 13 °C to 28 °C and salinity from 37 to 38 in the very close bay of Villefranche-sur-Mer (SOMLIT, 2021; Fig. 2). Wesselmann et al. (2020), through thermo-tolerance experiments highlighted the wide temperature range (8–40 °C for 7 days) for survival of *H. stipulacea*, both in Red Sea and Mediterranean populations, and a possible thermal niche shift of *H. stipulacea* to the colder thermal regime of the Mediterranean Sea. The present new record supports the hypothesis that *H. stipulacea* is able to survive much colder temperatures (− 13 °C in winter along the French Riviera) than those encountered in its native range. It will be interesting to follow the spread, decline or possibly extinction of the Cannes population over the coming years, especially after winters colder than those of 2020 and 2021. At Palinuro, 130 km south of Naples, *H. stipulacea* meadows declined from 2007, the year of its discovery, to 2010 and became extinct in 2011, before reappearing in 2017, possibly following a new introduction event. Grazing by the herbivorous fish *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) was suggested as a possible cause of these local fluctuations (Gambi and Barbieri, 2013; Gambi et al., 2018).

The record from France highlights the absolute need for regulation and prevention of the spread of introduced species in the Mediterranean and European waters. The European Invasive Alien Species (IAS) regulation (1143/20141) provides a list of regulated IAS at European level (UE, 2016, 2019). To date, of the 66 IAS on this list, only two are marine species. After analysing their capacity for invasion, Pisanu et al. (2020) proposed to add 14 new taxa to this list but *H. stipulacea* was not included.

CRediT authorship contribution statement

T. Thibaut: Conceptualization, Writing. **F. Holon:** Field work. **N. Agel:** Field work. **P. Descamps:** Field work. **J. Deter:** Field work. Field work. **T. Pavy:** Field work. **G. Delaruelle:M. Verlaque:** Writing. **C.F. Boudouresque:** Writing. **A. Blanfuné:** Writing, GIS Analysis.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. This manuscript has not been published previously.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The study was partially funded by Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse. We thank Michael Paul, a native English speaker, for proofreading. The *Plateforme Macrophytes* facilities, documentations and GIS analysis at the MIO have been used for this study.

Conflict of interest

We declare that we do not have any conflict of interest.

References

Boudouresque, C.F., Verlaque, M., 2002. Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes. Mar. Poll. Bull. 44 (1), 32–38. https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00150-3.

Boudouresque, C.F., Perret-Boudouresque, M., Verlaque, M., 2016. Donor and recipient regions for exotic species of marine macrophytes: a case of unidirectional flow, the Mediterranean Sea. Rapp. Comm. Int. Mer. Méditerr. 41, 426.

CABI, 2021. Halophila stipulacea (Forsskål) Ascherson [original text by D.A. Willette]. In: Invasive Species Compendium. CAB International, Wallingford, UK. (https://www.cabi.org/isc, searched on 20 June 2021).

Cancemi, G., Terlizzi, A., Scipione, M.B., Mazzella, L., 1994. Il prato ad *Halophila stipulacea* (Forssk.) Aschers di Giardini Naxos (Sicilia): caratteristiche della pianta e del popolamento a fauna vagile. Biol. Mar. Medit. 1, 401–402.

Chiquillo, K.L., Barber, P.H., Willette, D.A., 2019. Fruits and flowers of the invasive seagrass *Halophila stipulacea* in the Caribbean Sea. Bot. Mar. 62 (2), 109–112.

Galil, B.S., 2000. A sea under siege – alien species in the Mediterranean. Biol. Invasion 2, 177–186. https://doi.org/10.1023/A:1010057010476.

Gambi, M.C., Barbieri, F., 2013. Regression of *Halophila stipulacea* (Forssk.) Aschers. (Hydrocharitaceae) in the harbor of Palinuro (Salerno, Italy)/regressione di Halophila stipulacea (Forssk.) Aschers (Hydrocharitaceae) nel porto di Palinuro (Salerno). Biol. Mar. Medit. 20 (1), 134.

Gambi, M.C., Barbieri, F., Bianchi, C.N., 2009. New record of the alien seagrass *Halophila stipulacea* (Hydrocharitaceae) in the western Mediterranean: a further clue to changing Mediterranean Sea biogeography. Mar. Biodivers. Rec. 2, e84 https://doi.org/10.1017/S175526720900058X.

Gambi, M.C., Gaglioti, M., Barbieri, F., 2018. Sometimes they come back: the re-colonization of the alien seagrass *Halophila stipulacea* (Forsskål) Ascherson, 1867

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

(Hydrocharitaceae) in the Palinuro Harbor (Tyrrhenian Sea, Italy). BioInvasions Rec. 7 (3) https://doi.org/10.3391/bir.2018.7.3.01.

Gerakaris, V., Tsiamis, K., 2015. Sexual reproduction of the Lessepsian seagrass *Halophila stipulacea* in the Mediterranean Sea. Bot. Mar. 58 (1), 51–53. https://doi.org/10.1515/bot-2014-0091.

Gerakaris, V., Lardi, P., Issaris, Y., 2020. First record of the tropical seagrass species *Halophila decipiens* Ostenfeld in the Mediterranean Sea. Aquat. Bot. 160, 103151 https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2019.103151.

Lipkin, Y., 1975. *Halophila stipulacea*, a review of a successful immigration. Aquat. Bot. 1, 203–215. https://doi.org/10.1016/0304-3770(75)90023-6.

Malm, T., 2006. Reproduction and recruitment of the seagrass *Halophila stipulacea*. Aquat. Bot. 85 (4), 345–349.

Medtrix, 2021. Plaeforme Medtrix, project DONIA Expert. (https://plateforme.medtrix.fr/) (Accessed on 28 June 2021).

Nguyen, H.M., Kleitou, P., Kletou, D., Sapir, Y., Winters, G., 2018. Differences in flowering sex ratios between native and invasive populations of the seagrass *Halophila stipulacea*. Bot. Mar. 61 (4), 337–342. https://doi.org/10.1515/bot-2018-0015.

Pica, D., Galanti, L., Pola, L., 2021. 2. Tracheophyta. 2.1 First records of the seagrass Halophila stipulacea in Sardinia (Tyrrhenian Sea, Italy). In: Orfanidis, S., Alvito, A., Azzurro, E., Badreddine, A., Souissi, J.B., Chamorro, C., et al. & Zenetos, A. New Alien Mediterranean Biodiversity Records" (March 2021). Medit. Mar. Sci. 22(1), 180–198. (https://doi.org/10.12681/mms.25294).

Pisanu, B., Masse, C., Thevenot, J., Bachelet, G., Bierne, N., Curd, A., Guerin, L., Gouilleux, B., Labrine, C., De Montaudouin, X., Nowaczyk, A., Pezy, J.P., Raybaud, V., Viard, F., Vincent, D., Souquiere, A., 2020. Proposition d'espèces non indigènes pour les façades maritimes du territoire métropolitain à soumettre à réglementation. UMS Patrimoine Naturel, MNHN, Paris, 18p.

Por, F.D., 1978. Lessepsian Migrations. The Influx of Red Sea Biota into the Mediterranean by Way of the Suez Canal, i-viii. Springer Publ., Berlin, pp. 1–228.

Procaccini, G., Acunto, S., Famà, P., Maltagliati, F., 1999. Structural, morphological, and genetic variability in *Halophila stipulacea* (Hydrocharitaceae) populations of the Western Mediterranean. Mar. Biol. 135, 181–189. https://doi.org/10.1007/s002270050615.

Ruiz, H., Ballantine, D., 2004. Occurrence of the seagrass *Halophila stipulacea* in the tropical West Atlantic. Bull. Mar. Sci. 75, 131–135.

SOMLIT, 2021. Service d'Observation en Milieu Littoral. (www.somlit.fr.) (Accessed on 28 June 2021).

UE, 2016. Commission Implementing Regulation (EU) 2016/1141 of 13 July 2016 adopting a list of invasive alien species of Union concern pursuant to Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council. OJ L 189, 14.7.2016, p. 4.

UE, 2019. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/1262 of 25 July 2019 amending Implementing Regulation (EU) 2016/1141 to update the list of invasive alien species of Union concern. OJ L 199, 26.7.2019, p. 4.

Wesselmann, M., Anton, A., Duarte, C.M., Hendriks, I.E., Agustí, S., Savva, I., Apostolaki, E.T., Marbà, N., 2020. Tropical seagrass *Halophila stipulacea* shifts thermal tolerance during Mediterranean invasion. Proc. R. Soc. B 287 (1922), 20193001. https://doi.org/10.1098/rspb.2019.3001.

West, E.J., Barnes, P.B., Wright, J.T., Davis, A.R., 2007. Anchors aweigh: fragment generation of invasive *Caulerpa taxifolia* by boat anchors and its resistance to desiccation. Aquat. Bot. 87, 196–202. https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.06.005.

Winters, G., Beer, S., Willette, D.A., Viana, I.G., Chiquillo, K.L., Beca-Carretero, P., et al., 2020. The tropical seagrass *Halophila stipulacea*: reviewing what we know from its native and invasive habitats, alongside identifying knowledge gaps. Front. Mar. Sci. 7, 300. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00300.

Zenetos, A, Gofas, S., Morri, C., Rosso, A., Violanti, D., Garcia Raso, J.E., et al., 2012. Alien species in the Mediterranean Sea by 2012. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction trends and pathways. Medit. Mar. Sci. 13 (2), 328–352. https://doi.org/10.12681/mms.327.

Conclusion générale

La réalisation d'un état des lieux précis est nécessaire 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 cadre n°123/2019 le 3 juin 2019 et de 14 nouveaux arrêtés préfectoraux entre octobre 2020 et mai 2021 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.

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 permet 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.

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.

"ASTRUCH P., ROUANET E., CHEMISKY B., SEGUIN E., BONHOMME D., GOUJARD A., HARMELIN J.G., VACELET J., PEREZ T., CHEVALDONNE P., BELLAN G., 2012. Inventaires biologiques et analyse écologique de l'existant, Natura 2000 en mer, Lot n°6 « Calanques et îles marseillaises – Cap Canaille et Massif du Grand Caunet » FR 9301602. Contrat COMEX SA/GIS Posidonie – Agence des Aires Marines Protégées, COMEX SA/GIS Posidonie publ., 470 pp.

Andromède Océanologie, 2020. Suivi écologique quadriennal du milieu marin au droit des stations d'épuration des eaux usées de la Métropole Aix-Marseille-Provence. Rejet de Cassis. 33 p.

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'Andromede/Agence de l'eau.

Andromède Océanologie, 2014. La Méditerranée dévoile ses dessous – Cartographie continue des habitats marins. Partenariat Agence de l'eau RMC – Andromède

Ballesteros, E.,2006. Mediterranean coralligenous assemblages: A synthesis of present knowledge (in *Oceanography and marine biology: An annual review*-Volume 48, pp. 123-195).

Bay, Daniel. Etude" in situ" de la production primaire d'un herbier de posidonies (Posidonia oceanica (L.) Delile) de la Baie de Calvi-Corse. 1978. Thèse de doctorat.

Bédhomme, A. L., Thélin, I., & Boudouresque, C. F.,1983. Mesure de la production primaire des feuilles de Posidonia oceanica: modifications de la méthode de Zieman. *Botanica Marina*, *26*(1), 35-43.

Bellan-Santini, D. & Ruitton, S., 2008. ZNIEFF N° 83-008-005. Presqu'ile de Gien-récif barrière. Zone marine de type I. In Inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (actualisées) de Provence Alpes Côte d'Azur. Ministère chargé de l'Environnement, Muséum National d'Histoire Naturelle.

Bensettiti F., Bioret F., Roland J. & Lacoste J.-P. (coord.), 2004. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 - Habitats côtiers. MEDD/MAAPAR/MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 399 p.

Bianchi, C.N., 2001. La biocostruzione negli ecosistemi marini e la biologia marina italiana. *Biol. Mar. Medit.* 8, 112–130.

Blanc, J. J., & Jeudy de Grissac, A.,1984. Erosions sous-marines des herbiers à Posidonia oceanica (Méditerranée). In International Workshop on Posidonia oceanica Beds. GIS Posidonie, France (pp. 23-28).

Boudouresque, C. F., & Meinesz, A.,1982. Discovery of the posidonia herbarium. *Cahier du Parc Naturel Regional de la Corse*, *4*, 1-79.

Boudouresque, C.-F., 1996. Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2ème éditi., Marseille: GIS Posidonie publ.

Boudouresque, C. F.,2004. Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, 20, 97-146.

Boudouresque, C.-F. et al., 2006. Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica, Monaco: Ramoge.

Boudouresque, C.-F. et al., 2009. Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina* 52, 395-418. *Botanica Marina*, 52, pp.395–418.

Boudouresque, C.-F. et al., 2012. Protection and conservation of Posidonia oceanica meadow, Tunis: Ramoge and RAC/SPA publisher.

Burel, F., Baudry, J., 2000. Ecologie du paysage. Concepts, Méthodes et Applications, Technique & Documentation. Paris.

BRL ingénierie, 2011. Volet littoral et Maritime du Schéma de Cohérence Territoriale des cantons de Grimaud et Saint Tropez valant Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM)- Diagnostic et enjeux du territoire. 262p.

Cappato, A.,2011. Croisières et plaisance en Méditerranée. Rapport final. Sophia Antipolis: Plan Bleu.

Caye, G. *Sur la morphogenèse et le cycle végétatif de Posidonia oceanica (L. Delile)*. 1980. Thèse de doctorat.

Chefaoui, R. M., Duarte, C. M., & Serrão, E. A.,2018. Dramatic loss of seagrass habitat under projected climate change in the Mediterranean Sea. *Global Change Biology*. DOI: 10.1111/gcb.14401

Cinelli, F., & Codomier, L.,1974. Note floristique et repartition de Rhodophycées rares (Kallymeniacées et Sebdeniacées) de la Méditerranée occidentale. *Plant Biosystem*, *108*(1-2), 13-18.

Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement, 2015. Etude sur les transports maritimes. UNCTAD/RMT/2015. eISBN:978-92-1-057411-2

Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement, 2017. Etude sur les transports maritimes. UNCTAD/RMT/2017. eISBN:978-92-1-362809-6

Costanza, R. et al., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, pp.253–260.

Davis, G. E.,1977. Anchor damage to a coral reef on the coast of Florida. *Biological Conservation*, 11(1), 29-34.

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

Delaruelle G., Deter J., Descamp P., Boissery P., Holon F. 2014. SURFSTAT, réseau d'analyse surfacique des habitats marins. Cartographie et développement d'indicateurs 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., Bouchoucha, 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'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2012. Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Objectifs environnementaux et indicateurs associés. Sous région Méditerranée occidentale. , p.13.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et de L'Energie, 2012. *Directive Cadre stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Évaluation initiale des eaux marines. Sous-région marine Méditerranée occidentale. Résumé à l'attention du public.*

Molinier, R., & Picard, J.,1952. *Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français*. Masson.

Observatoire du milieu marin Méditerranéen, 2014. Observatoire du milieu marin Méditerranéen. *Observatoire du milieu marin Méditerranéen*.

Olsen, Y.S., Sánchez-Camacho, M., Marbà, N. et al. Estuaries and Coasts (2012) 35: 1205. https://doi.org/10.1007/s12237-012-9521-z

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,áphotogrammetry and GIS technologies in seagrass mapping. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 67(1), pp.99–105.

Pasqualini, V. et al., 1997. The use of airborne remote sensing for benthic cartography: Advantages and reliability. *International Journal of Remote Sensing*, 18(5), pp.1167–1177.

Pérès, J. M., & Picard, J.,1964. *Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée*. Station Marine d'Endoume.

Pergent, G. et al., 2015. Dynamic of Posidonia oceanica seagrass meadows in the northwestern Mediterranean: Could climate change be to blame? *Comptes Rendus Biologies*, 338(7), pp.484–493. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1631069115001225.

Pergent, G. et al., 2014. Climate change and Mediterranean seagrass meadows: a synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science*, 15(2), pp.462–473.

Pergent, G. et al., 2010. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1.

Pergent-Martini, C., 2006. *Elément de qualité biologique : Posidonie – Compte-rendu de l'exercice d'intercalibration.* Contrat Ifremer / Université de Corse - EqEL, Corte.

Pergent-Martini, C. & Pasqualini, V., 2000. Seagrass population dynamics before and after the setting up of a wastewater treatment plant. *Biologia Marina Mediterranea*, 7(2), pp.405–408.

PNUE/PAM-Plan Bleu, 2009. *Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée*, Athènes: PNUE/PAM-Plan Bleu.

Rico-Raimondino, V. Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à Posidonia oceanica. 1995. Thèse de doctorat. Aix-Marseille 2.

Rutledge, D. T. (2003) '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.

Thibaut, T., Blanfuné, A., Boudouresque, C. F., Holon, F., Agel, N., Descamps, P., ... & Verlaque, M. (2021). Distribution of the seagrass Halophila stipulacea: a big jump to the northwestern Mediterranean Sea. *Aquatic Botany*, 103465.

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 – Carnon Plage
34130 Mauguio- France
Tél. : 04.67.66.32.48 - contact@andromede-ocean.com

www.andromede-ocean.com

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE