



Coordination Andromède Océanologie :
HOLON Florian (florian.holon@andromede-ocean.com)



Coordination Agence de l'Eau RMC :
BOISSERY Pierre (pierre.boissery@eaurmc.fr)



Participants principaux aux missions de terrain :

AGEL Noémie, BLANDIN Agathe, BOCKEL Thomas, DESCAMP Pierre, GASC Julien, HAURIE Axel, HELLERINGER Cécile, HOLON Florian, LEDUC Michèle, MARRE Guilhem, MAURON Stephen, SCHIES Jo-Ann, TIBOUF Lolita

Traitement des données et rédaction :

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 :

ANDROMÈDE Océanologie, 2026. Actualisation des données SURFSTAT en région Occitanie et à l'ouest de la région Sud - 2024/2025. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 146 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. Cet engagement a depuis été reporté à 2027 avec la mise en place du Programme de Surveillance 2022-2027 propre au Bassin Rhône Méditerranée (Arrêté 22-187).



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) et [PISCIS](#) (assemblages ichtyologiques). Deux **réseaux surfaciques** enrichissent actuellement ces informations stationnelles sur les herbiers de posidonie et les récifs coralligènes : le réseau [IMPACT](#) (modélisation des pressions anthropiques côtières) et le réseau [SURFSTAT](#) (analyse surfacique des habitats marins). **Ces réseaux complètent les données biologiques stationnelles à une échelle spatiale plus grande et sur des périodes temporelles plus longues.**

L'actualisation des biocénoses réalisées depuis 2013 dans le cadre de SURFSTAT a permis de faire la lumière sur **l'impact de la plaisance** sur les habitats côtiers méditerranéens, en régions Sud et Corse, mais également de faire la découverte de **sites de recolonisation naturelle de l'herbier de posidonie** (projet [RECOVERY](#)) ou encore de **vastes de zones de nids de picarels** sur la côte orientale Corse. Les résultats de ces mises à jour cartographiques sont synthétisés dans des rapports disponibles sur la plateforme MEDTRIX (Réseau [SURFSTAT](#)). **Ces constats mettent l'accent sur la nécessité de disposer d'une cartographie fiable et mise à jour régulièrement dans ce contexte de changement global et de forte pression des activités anthropiques sur les écosystèmes marins côtiers et les espèces marines qui en dépendent.**

La région [Occitanie](#) est aussi concernée par plusieurs études cartographiques dont le programme **CARTHAM 2010-2012** (première cartographie continue des biocénoses marines à l'échelle régionale) et deux études localisées sur la zone Natura 2000 « Posidonies de la côte Palavasienne » en **2008** (Andromède Océanologie / Agence des Aires Marines Protégées) et en **2021** (Andromède Océanologie/OFB). D'autres études plus récentes axées sur la mise à jour cartographique de l'herbier de posidonie ont également été réalisées en **2018** (Aire marine protégée de la Côte Agathoise), **2021** (Parc Naturel Marin du Golfe du Lion) et **2025** (masses d'eaux côtières entre Frontignan et l'est d'Agde ; Andromède Océanologie / Syndicat Mixte du Bassin de Thau).

La présente étude menée en **2024-2025** entre dans la continuité de ces précédentes prospections cartographiques et **concerne l'actualisation des données SURFSTAT en région Occitanie, élargie à la partie ouest de la région Sud** (délimitation liée à la programmation annuelle de la surveillance biologique). Ce rapport présente les résultats suivants :

1) l'actualisation de la **cartographie** des biocénoses marines mise à jour sur **neuf secteurs en Occitanie** qui appartiennent à **quatre masses d'eau côtière**, ainsi que sur le secteur de **la petite Rade de Marseille**, grâce à l'acquisition de **5200 hectares** de données acoustiques et de nombreuses vérités terrain. Ces données sont complétées par une étude sur l'évolution de **deux zones naturelles de**



recolonisation d'herbier de posidonie et par une synthèse des observations (historiques et récentes) sur les **zones de nurseries potentielles à l'écotone posidonie/substrat meuble**.

2) le calcul d'indicateurs d'état et de pressions par

a) une **analyse de la composition et de la configuration de la biocénose des herbiers à *Posidonia oceanica*** entre 0 et 20 mètres de profondeur, ainsi qu'une **analyse des paysages** entre 0 et 40 mètres de profondeur sur les **quatre masses d'eau côtière actualisées**. Cette analyse, effectuée à partir du calcul d'indicateurs surfaciques, permet aussi de renseigner sur la qualité des eaux côtières ;

b) une **cartographie de l'épaisseur de matte morte** sur deux secteurs connus pour être fortement impactés par la pression de mouillage (Beaulieu-sur-Mer et Roquebrune-Cap Martin) afin d'estimer la résistance des posidonies à l'ancrage ainsi que la séquestration en carbone.

Toutes les données cartographiques et indicateurs surfaciques sont bancarisés sur la **plateforme cartographique MEDTRIX** dans les projets **DONIA, DONIA Expert et SURFSTAT**.

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION.....	1
I.A.	<i>L'herbier à posidonie, un habitat remarquable.....</i>	<i>2</i>
I.B.	<i>Les récifs coralligènes, un habitat complexe</i>	<i>3</i>
I.C.	<i>Des écosystèmes littoraux sous pressions.....</i>	<i>5</i>
I.C.1.	<i>La pression de l'ancrage sur les habitats sensibles</i>	<i>5</i>
I.D.	<i>Contexte et objectifs de l'étude</i>	<i>7</i>
II.	MATERIEL ET METHODES	8
II.A.	<i>Sélection des secteurs.....</i>	<i>8</i>
II.B.	<i>Cartographie des biocénoses marines</i>	<i>11</i>
II.B.1.	<i>Synthèse des données cartographiques existantes</i>	<i>11</i>
II.B.2.	<i>Données sonar.....</i>	<i>12</i>
II.B.3.	<i>Acquisition de données terrain</i>	<i>14</i>
II.B.4.	<i>Données bathymétriques</i>	<i>17</i>
II.B.5.	<i>Outils d'actualisation de la cartographie.....</i>	<i>18</i>
II.B.6.	<i>Nomenclature des habitats : la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée.....</i>	<i>18</i>
II.C.	<i>Outils et méthode d'analyse du paysage</i>	<i>21</i>
II.C.1.	<i>Spatialisation et quantification du paysage.....</i>	<i>21</i>
II.C.2.	<i>Analyse qualitative du paysage sous-marin</i>	<i>22</i>
II.C.3.	<i>Analyse quantitative du paysage sous-marin.....</i>	<i>23</i>
II.C.4.	<i>Métriques utilisées dans le cadre de l'analyse du paysage</i>	<i>23</i>
II.D.	<i>Cartographie de l'épaisseur des mattes de posidonie.....</i>	<i>25</i>
II.D.1.	<i>Zones d'étude.....</i>	<i>25</i>
II.D.2.	<i>Matériel utilisé.....</i>	<i>29</i>
II.D.3.	<i>Protocole d'acquisition et paramétrage du sondeur.....</i>	<i>31</i>
II.D.4.	<i>Données externes.....</i>	<i>33</i>
II.D.5.	<i>Traitement et interprétation des données.....</i>	<i>34</i>
II.E.	<i>Zones de recolonisation naturelle des herbiers de posidonie.....</i>	<i>35</i>
II.E.1.	<i>La photogrammétrie.....</i>	<i>35</i>
II.E.2.	<i>Analyse de l'évolution des surfaces d'herbier</i>	<i>36</i>
II.F.	<i>Présence potentielle des frayères à <i>Spicara sp.</i> en région Sud et en Occitanie : synthèse des connaissances.....</i>	<i>38</i>
III.	RESULTATS.....	40
III.A.	<i>Actualisation de la cartographie et analyse du paysage en Occitanie.....</i>	<i>40</i>
III.A.1.	<i>Masse d'eau FRDC01 : Frontière espagnole -Racou Plage</i>	<i>42</i>
III.A.2.	<i>Masse d'eau FRDC02a : Racou Plage – Embouchure de l'Aude</i>	<i>56</i>
III.A.3.	<i>Masse d'eau FRDC02b : Embouchure de l'Aude – Cap d'Agde</i>	<i>69</i>
III.A.4.	<i>Masse d'eau FRDC02c : Cap d'Agde.....</i>	<i>80</i>
III.A.	<i>Actualisation de la cartographie des biocénoses marines à Marseille.....</i>	<i>93</i>
III.A.1.	<i>Sonar latéral.....</i>	<i>93</i>
III.A.2.	<i>Données bathymétriques</i>	<i>94</i>
III.A.1.	<i>Cartographie des biocénoses marines</i>	<i>95</i>
III.B.	<i>Cartographie de l'épaisseur des mattes de posidonie</i>	<i>100</i>
III.B.1.	<i>Interprétation des différents réflecteurs</i>	<i>100</i>



III.B.2.	Géosections.....	100
III.B.3.	Cartographie de l'épaisseur du 1 ^{er} horizon	102
III.B.4.	Liens avec les biocénoses	105
III.C.	<i>Evolution des herbiers de posidonie dans les zones de recolonisation naturelle</i>	<i>107</i>
III.C.1.	Deux-frères.....	107
III.C.2.	Fabregas.....	113
III.D.	<i>Présence des frayères à Spicara sp. en région Sud et en Occitanie : synthèse bibliographique</i>	<i>119</i>
IV.	SYNTHESE ET CONCLUSION	124
IV.A.	<i>Mise à jour de la cartographie des biocénoses marines.....</i>	<i>124</i>
IV.B.	<i>Cartographie de l'épaisseur des mattes.....</i>	<i>131</i>
IV.C.	<i>Présence potentielle des frayères à Spicara sp. en Occitanie et région Sud.....</i>	<i>132</i>
V.	BIBLIOGRAPHIE.....	133

I. INTRODUCTION

La mer Méditerranée constitue l'un des principaux « **points chauds** » de biodiversité marine à l'échelle mondiale. Bien qu'elle ne représente qu'environ **0,8 % de la surface des océans** et **0,3 % de leur volume**, elle abrite près de **7 à 8 % des espèces marines connues** (Coll et al., 2012; Cramer et al., 2018, UICN). Cette richesse exceptionnelle s'explique par sa position géographique, à la croisée de plusieurs zones biogéographiques, ainsi que par la **diversité de ses habitats**.

On estime que la Méditerranée compte plus de **17 000 espèces marines décrites**, dont environ **25 à 30 % sont endémiques** (Plan Bleu, 2020). Cependant, cette biodiversité est aujourd'hui fortement menacée. Sur 7 000 espèces animales évaluées depuis 1993, **20 % sont menacées d'extinction** (Galewski et al, 2021 ; UICN, 2025), sous l'effet conjugué de la pollution, de l'urbanisation, du changement climatique et de la surexploitation des ressources marines. Une étude récente publiée en janvier 2026 par le Service des données et études statistiques du Ministère de la Transition Ecologique (SDES, 2026) conclue également que **94 % des habitats marins méditerranéens côtiers sont dans un état de conservation « défavorable »**.

La biodiversité marine est généralement plus élevée à proximité de la côte et sur le plateau continental, qui décroît avec la profondeur (Coll et al., 2010), mais les **connaissances des écosystèmes marins restent extrêmement fragmentaires** ; quasiment seuls les écosystèmes littoraux bénéficient de programmes d'étude.

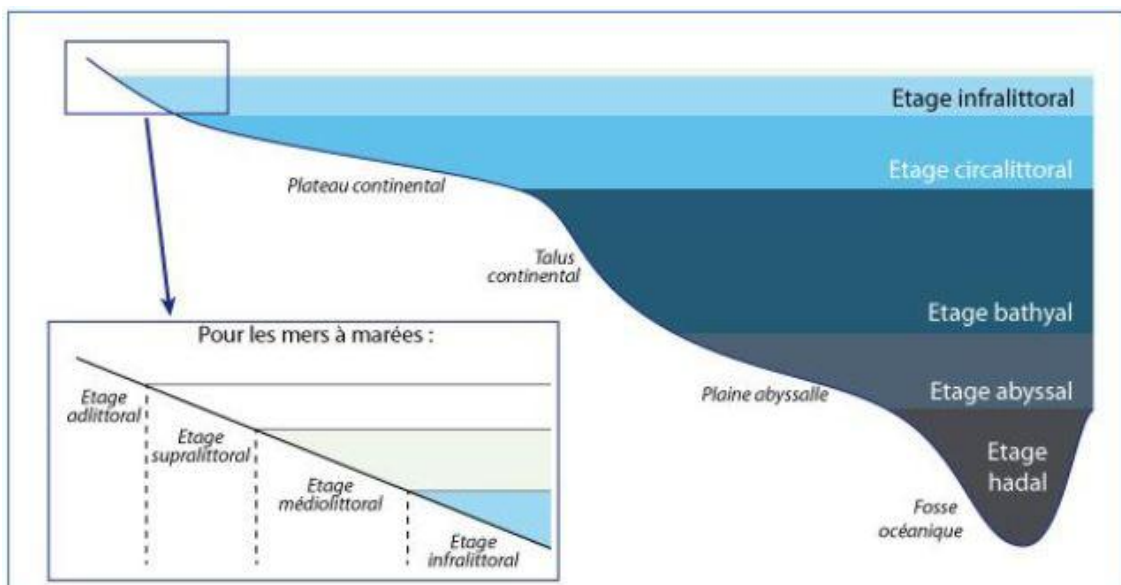


Figure 1: Les étagements benthiques (source : Doré et al, 2015).

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 récifs coralligènes (étage circalittoral) (Plan Bleu 2020).

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.A. L'herbier à posidonie, un habitat remarquable

La posidonie, *Posidonia oceanica*, est une espèce **endémique** de mer Méditerranée aux **rôles écologiques et économiques majeurs**. Au moins **25 services écosystémiques**, c'est-à-dire des services qui bénéficient à l'Homme, sont rendus par cette espèce comme la protection du littoral contre l'érosion, la production d'oxygène, la réduction du bruit des vagues, l'habitat d'espèces protégées, une source d'inspiration artistique, la séquestration de matière organique et de sédiments dans la matte... *Posidonia oceanica* est aussi appelé le « poumon de la Méditerranée » car sa **production d'oxygène** est estimée à 14-20 L O₂/m²/j. Les herbiers jouent également un **rôle crucial dans la séquestration du carbone** grâce à l'épaisseur et l'imputrescibilité de la matte, partie souterraine constituée des racines, sédiment et matière organique sur plusieurs mètres. Gacia et son équipe (2002) ont estimé cette séquestration à 1,82 tC/ha/an. D'un point de vue écologique, la valeur des services rendus par cette plante est estimée à au moins **580 928 €/ha/an, soit dix fois plus élevée que les forêts tropicales et trois fois plus que les récifs coralliens** (Campagne et al., 2015, Costanza et al., 1997, Vassallo et al., 2013). En France, les services rendus par la posidonie sont évalués à plus de 46 milliards d'euros par an. La disparition des herbiers engendre une perte de 4,5 milliards d'euros par an ([Cahier de surveillance n°6 – Edition spéciale Ancrage, 2019](#)). Actuellement, le coût de la protection en vigueur est mille fois inférieur : 4,8 millions d'euros par an.



Figure 2 : Panorama d'un herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) sur substrat rocheux ©Laurent Ballesta.

La **perte des herbiers marins**, sur des **échelles de temps relativement courtes**, a été signalée dans le monde entier, y compris dans la mer Méditerranée (Marbà et al., 2005 ; Waycott et al., 2009). Même si une diminution de ces régressions est documentée en Europe, avec un taux de perte de surface des herbiers de 27 % par décennie observé dans les années 1980, et seulement 8,3% par décennie dans les années 2000 (De los Santos et al., 2019), des régressions localisées étendues peuvent être observées, en particulier en ce qui concerne les herbiers de *Posidonia oceanica* ([Cahier de surveillance n°6 – Edition spéciale Ancrage, 2019](#) ; Pergent-Martini et al., 2022).

Parmi les herbiers marins, la posidonie, *Posidonia oceanica*, est une espèce **endémique** de mer Méditerranée dont les préférences écologiques (eaux peu profondes et claires, courant faible) et les caractéristiques biologiques (croissance très lente) la rendent **très vulnérable aux pressions anthropiques** (Boudouresque et al., 2012) comme l'**ancrage des bateaux**. Dans le bassin méditerranéen, on estime à **10 % la perte** des surfaces occupées en 100 ans.

La disparition de ces herbiers entraîne une **baisse de régulation** (prévention de l'érosion côtière, qualité de l'eau, modération de la houle), **d'approvisionnement** (maintien de la biodiversité et des activités de pêche), **de services culturels** (tourisme et loisir comme plongée, chasse sous-marine ou snorkeling) et **augmente la vulnérabilité du milieu face aux aléas climatiques**. La disparition des banquettes de posidonie normalement présentes sur les plages (les feuilles mortes s'entassant sur plusieurs mètres) provoque un affaissement de celles-ci et une plus grande sensibilité des côtes face à l'érosion et à la stabilité des plages.

L'importance et les 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**, avec l'acquisition de **données biologiques stationnelles** (réseau de surveillance TEMPO) et l'actualisation de **données surfaciques à large échelle spatiale** (réseau SURFSTAT).

I.B. Les récifs coralligènes, un habitat complexe

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

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

- ✎ *le coralligène de paroi*, un concrétionnement plus ou moins épais situé sur les substrats rocheux au-delà des algues photophiles et colonisé par de grands invertébrés dressés tels que les gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* et les gorgones rouges *Paramuricea clavata*.
- ✎ *le concrétionnement coralligène*, des massifs biogènes de plusieurs mètres d'épaisseur qui peuvent couvrir de grandes surfaces. Ces concrétionnements coralligènes sont principalement colonisés par les algues Corallinacées ou Peyssonneliacées et sont constitués par de nombreuses anfractuosités permettant à d'autres organismes, mobiles ou non, d'y habiter (bryozoaires, polychètes, échinodermes, crustacés, poissons...).

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



Lorsque les eaux sont turbides le coralligène peut se rencontrer à des profondeurs plus faibles (entre 12 et 40m).

Grâce à son importante hétérogénéité structurale et à tous les services de support qu'il rend (protection et nourricerie pour jeunes poissons, production primaire, cycle des nutriments...), cet habitat fait partie des plus riches en termes de biodiversité créant ainsi un réseau complexe de relations inter- et intra-spécifiques. Le coralligène est considéré, à l'instar des herbiers de posidonie, comme un des habitats à très haute valeur écologique en Méditerranée et est très souvent comparé aux récifs coralliens, un des écosystèmes les plus riches au monde en termes de diversité spécifique, d'abondance et de productivité (Ballesteros, 2006 ; Bianchi, 2011).



Figure 3 : Récifs coralligène [Crédit : Laurent Ballesta]. 1 : Massif coralligène exploré par des plongeurs d'Andromède à saturation dans le cadre de l'expédition Gombessa 5 ; 2 : Gorgones sur un massif coralligène au large du Parc marin de la Cote Bleue ; 3, 4 : Récifs coralligènes en Corse explorés par des plongeurs.

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).

Tout comme les herbiers de posidonie, le coralligène est un habitat prioritaire qu'il est nécessaire de surveiller **dans le temps et dans l'espace**, avec l'acquisition de **données biologiques stationnelles** (réseau de surveillance RECOR) et l'actualisation de **données surfaciques à large échelle spatiale** (réseau SURFSTAT).

I.C. Des écosystèmes littoraux sous pressions

Environ 6,5 % de la population mondiale vit aujourd'hui dans les pays côtiers méditerranéens, soit près de 520 millions d'habitants, auxquels s'ajoutent environ 360 millions de touristes internationaux chaque année. Près d'un tiers de la population méditerranéenne réside dans les zones côtières, faisant du **littoral méditerranéen l'un des espaces les plus densément peuplés et urbanisés du monde**. Le **taux d'urbanisation** du bassin méditerranéen atteint déjà environ 72 % et pourrait dépasser **80 % d'ici 2050**, accentuant encore la pression sur les littoraux et l'artificialisation des côtes (Plan Bleu, 2026).

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, Sud et Corse, est le plus convoité avec près de 7 millions d'habitants pour une densité de population de 358 habitants par km² (chiffres Insee et SDES 2016). Il est lui aussi victime de l'artificialisation du littoral : 5 200 000 habitants en région Provence-Alpes-Côte d'Azur avec un taux d'artificialisation de 22 % et une région Occitanie (6 120 000 habitants) en pleine expansion (0,7 % de croissance annuelle, taux deux fois plus rapide que la moyenne métropolitaine) avec un taux d'artificialisation de 17,1 % (Sources : MEDAM et INSEE). A l'opposé la Corse, avec 355 000 habitants et trois millions de touristes par an, ne présente que 2,5 % de son trait de côte artificialisé (sources : MEDAM et INSEE).

Cette **forte concentration de population** et de **développement** s'accompagne de **pressions anthropiques** et d'un **impact environnemental important** qui vont s'accroître avec le changement climatique en cours (le sud-ouest de l'Europe s'est réchauffé de 2,5°C depuis 1970) (Copernicus, 2025).

I.C.1. La pression de l'ancrage sur les habitats sensibles

La **navigation mondiale** (transport maritime et navigation de plaisance) a une valeur économique importante. Selon le CNUCED, « 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, 2025). Ce nombre élevé de bateaux a de nombreux effets négatifs sur l'environnement : **collision, pollution, aménagements littoraux (ports) et ancrage** (Cappato, 2011).

L'ancrage est une des pressions anthropiques ayant un fort impact sur les habitats sensibles, notamment les herbiers de posidonie. Défini comme le déploiement à court terme d'un dispositif physique pour retenir rapidement le substrat par un navire (Kininmonth et al., 2014), l'ancrage cause des **dommages directs et indirects** lors des phases de déploiement et de récupération de l'ancre (Milazzo et al., 2004, Walker et al., 2012) notamment aux herbiers (Short et Wyllie-Echeverria, 1996) et aux récifs biogéniques (Ballesteros, 2006; Davis, 1977), dont la régénération est limitée par une repousse lente.

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/>, Deter et al., 2017). Nous avons montré qu'en France, la région Sud est la plus fortement impactée par la pression du mouillage : elle concentre 80 % des mouillages AIS (Automatic Identification System) recensés entre 2010 et 2024 (source : projet 'Suivi du mouillage de la grande plaisance par données AIS, <https://plateforme.medtrix.fr>). Parallèlement, on estime à 33,5 % le recouvrement des fonds sous-marins par l'herbier de Posidonie en région Sud entre 0 et 40 mètres de fond. Malgré la **protection légale**¹ dont la Posidonie bénéficie, certains secteurs de

¹ Très tôt, différentes lois et réglementations ont protégé la posidonie : la loi de protection de la nature de juillet 1976, la loi Littoral de janvier 1986, l'arrêté du 19 juillet 1988 qui liste les espèces végétales marines protégées, la directive européenne « Habitats » (1992), la convention de Berne (1979) et le protocole de Barcelone (1995).



la région Sud ont ainsi perdu jusqu'à **30 %** en quelques années (225 hectares perdus sur Golfe-Juan entre 2006 et 2019 ; Medtrix, 2019).

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, l'**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. Ainsi, depuis octobre 2020, **17 arrêtés préfectoraux** réglementent l'ancrage des navires de plus de 20 et 24 mètres le long du littoral méditerranéen français. La mise en place de ces arrêtés a permis **une diminution globale du nombre d'ancrage dans les herbiers de posidonie** : la **superficie d'herbier impactée** par l'ancrage des navires de plaisance > 24 m passe de **plus de 450 hectares en 2020 à moins de 100 hectares en 2024**. Cette nouvelle réglementation est une réussite. Elle a engendré une **réduction de plus de 20 % du nombre d'ancrages dans l'herbier** par les navires de plaisance de plus de 24 m à partir de 2021 (MEDTRIX 2024).



Figure 4 : 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.D. Contexte et objectifs de l'étude

L'Occitanie fait partie des secteurs dont la cartographie est la moins actualisée sur le pourtour méditerranéen français. Cela peut en partie s'expliquer par la **grande proportion occupée par les fonds meubles (97,8 %)** entre 0 et 50 mètres de profondeur dans la région et la **faible couverture d'herbier de Posidonie (133 ha soit 0,17 % de la surface totale des herbiers à *Posidonia oceanica* français ; source : données DONIA Expert - Andromède, 2024)**. Des enquêtes auprès de professionnels locaux de la mer menées dans le cadre d'une thèse (Fabrice Houngnandan, 2020) sur l'impact des pressions anthropiques et de l'environnement sur les herbiers de Posidonie a montré une **régression des herbiers de 70 % au Cap d'Agde, de 51 % à Palavas-les-Flots, 51 % à Villeneuve-lès-Maguelone et 99 % à Carnon** depuis la mission Racine (Mission interministérielle d'aménagement touristique du littoral du Languedoc-Roussillon) menée entre 1963 et 1983.

Le littoral des Bouches du Rhône, comme toute la région Sud, est fortement impacté par de **nombreuses pressions anthropiques** qui sont connues pour avoir un effet négatif significatif sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. Dans les Bouches du Rhône, le secteur de **Marseille** est particulièrement soumis à des pressions anthropiques et notamment aux aménagements côtiers, la pollution par les cours d'eau, l'urbanisation et population et le tourisme balnéaire (Source : IMPACT : Modélisation des pressions anthropiques côtières et des seuils de vulnérabilité - Données consultées en avril 2026 sur la plateforme de surveillance MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr>) et les dernières études cartographiques menées dans le cadre de SURFSTAT sont anciennes (2008, 2013, 2017).

L'actualisation de la cartographie des biocénoses marines apparaît donc indispensable dans la **région Occitanie, élargie à la partie ouest de la région Sud** (délimitation liée à la programmation annuelle de la surveillance biologique). Elle se justifie principalement par : **l'ancienneté des données** (2007, 2010-2012 et 2014 en fonction des secteurs) ; **le manque de données** (limite inférieure d'herbier ou cartographie des assemblages coralligènes très approximatives car faites seulement à partir de données bathymétriques non précises ou extrapolées à partir d'observations non vérifiées) ; **l'amélioration des connaissances** afin de disposer de données biocénologiques récentes pour étudier des phénomènes écologiques et biologiques (recolonisation naturelle des herbiers de posidonie, zones de nurserie potentielles pour certaines espèces).

La présente étude menée en **2024-2025** a donc pour principaux objectifs de :

- réaliser une **cartographie continue fine et actualisée des biocénoses marines**, en particulier des herbiers de posidonie, sur neuf secteurs en région Occitanie et sur le secteur de Marseille en région Sud.
- **analyser le paysage** pour extraire des indicateurs surfaciques (spatiaux) de la qualité des eaux côtières pour les 4 masses d'eau actualisées en Occitanie.
- estimer le **lien entre état des herbiers de posidonie et pression subie** (ancrage). Pour cela, une méthode sismique permettant de cartographier l'épaisseur de mat de posidonie est déployée et des tests sont menés afin d'associer ces nouvelles mesures aux autres indicateurs connus de l'état de santé des herbiers de posidonie.
- étudier des **phénomènes liés directement à l'état de santé et au rôle écologique fonctionnel** des herbiers de posidonie, à savoir (1) l'évaluation de la **recolonisation naturelle** de l'herbier de posidonie sur deux sites et (2) la réalisation d'une synthèse sur les observations (historiques et récentes) sur les **zones de nurseries potentielles à l'écotone posidonie/substrat meuble**.



II. MATERIEL ET METHODES

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

- la sélection des secteurs ciblés par cette étude ;
- la réalisation de la cartographie continue des biocénoses marines ;
- l'analyse du paysage et l'extraction des indicateurs surfaciques ;
- la réalisation de la cartographie de l'épaisseur de matie morte ;
- l'analyse de la recolonisation naturelle de l'herbier de posidonie ;
- la réalisation de la synthèse sur les observations concernant les zones de nurseries potentielles à l'écotone posidonie/substrat meuble

II.A. Sélection des secteurs

Les données cartographiques historiques issues des projets [DONIA Expert](#), [IMPACT](#) et [Suivi du Mouillage](#) ont permis de sélectionner plusieurs secteurs en **Occitanie** et en région **Sud** pour les raisons suivantes :

- l'ancienneté ou le manque de précision des données cartographiques existantes ;
- la présence de pressions anthropiques telles que l'ancrage des navires et l'urbanisation ;
- la présence de patches de recolonisation spontanée de l'herbier (région Sud).

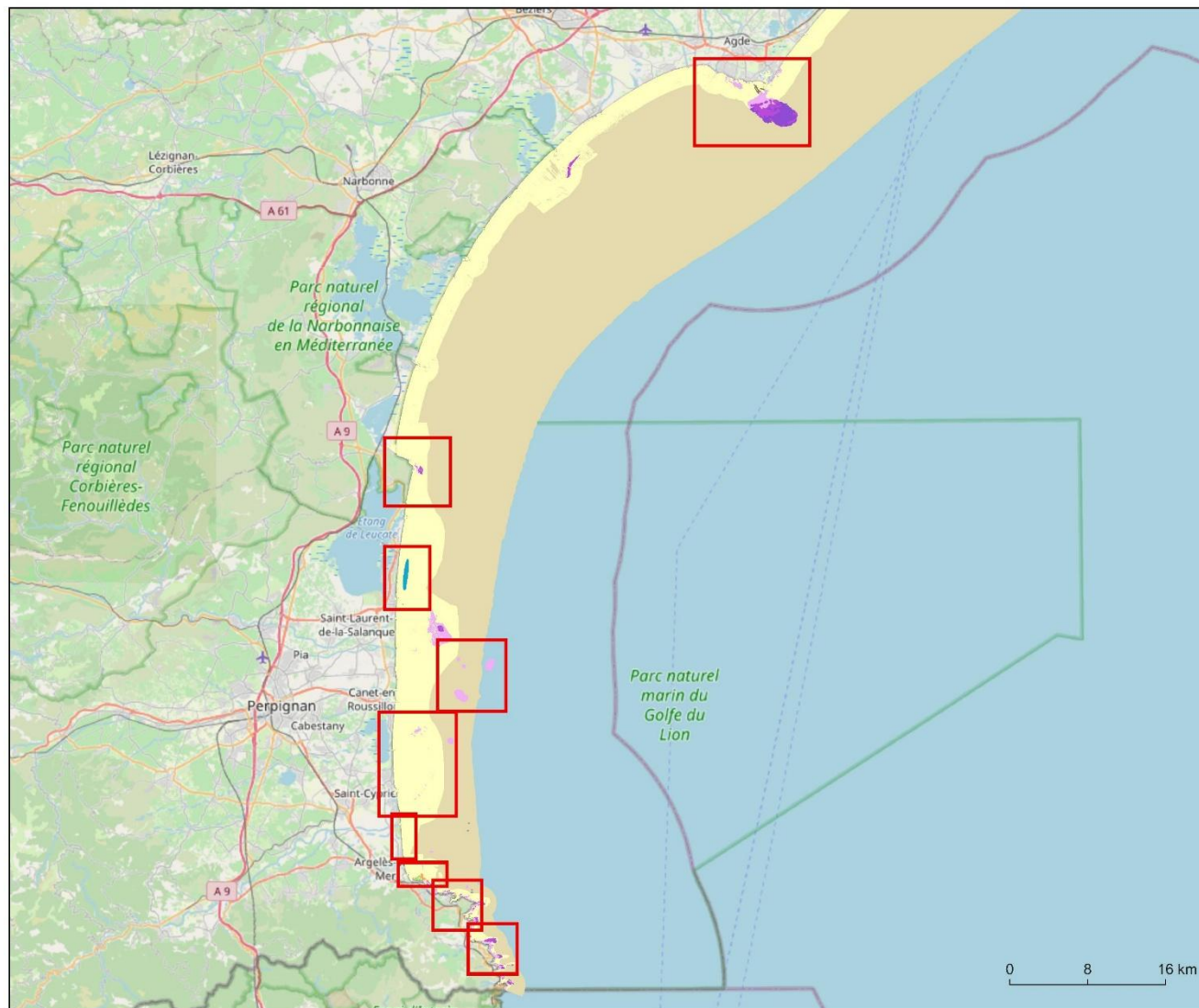
Les secteurs sont les suivants :

Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls, de Paulilles à Collioure, Le Racou, embouchure du Tech, large de Saint-Cyprien et de l'étang de Canet, large de Sainte-Marie-la-Mer, Le Barcarès, Leucate, Cap d'Agde, petite rade de Marseille, Deux Frères, Fabregas.

Ils sont indiqués sur les deux cartes pages suivantes.

SURFSTAT 2024-2025 : Actualisation de la cartographie des biocénoses marines

Secteurs ciblés - OCCITANIE



 Secteur d'actualisation

EDITEE LE : 13 / 5 / 2026

Sources des données :

- Biocénoses marines : Andromède Océanologie (2024)

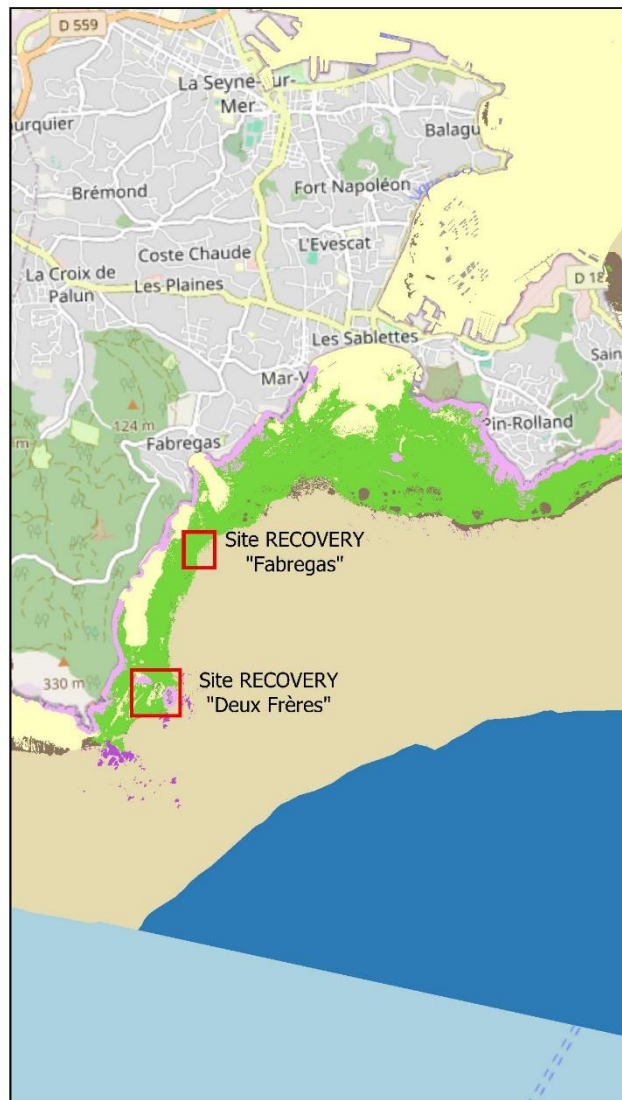
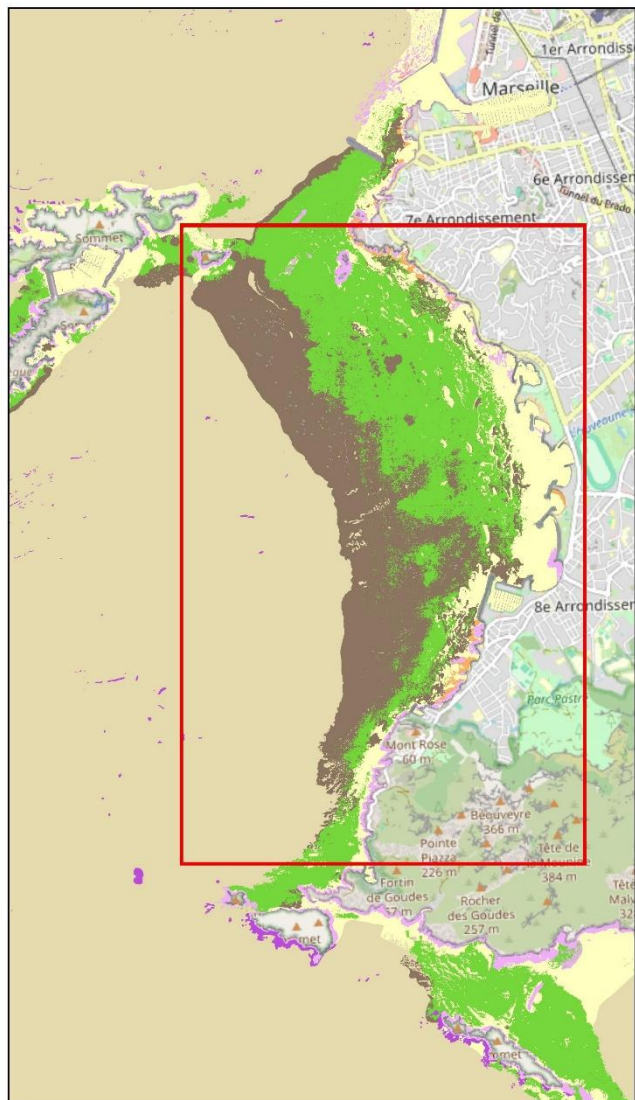
- Fond de carte : OpenStreetMap

Système de coordonnées : EPSG:2154



SURFSTAT 2024-2025 : Actualisation de la cartographie des biocénoses marines

Secteurs ciblés - Région Sud



 Secteur d'actualisation

EDITEE LE : 13 / 5 / 2026
Sources des données :
- Biocénoses marines : Andromède Océanologie (2024)
- Fond de carte : OpenStreetMap
Système de coordonnées: EPSG:2154



II.B. Cartographie des biocénoses marines

II.B.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 pour cette cartographie continue initiale. Depuis, elle est mise à jour tous les trois à six ans selon les zones.

Ainsi, en **Occitanie**, les sources utilisées pour la réalisation de la cartographie continue proviennent majoritairement du programme CARTHAM - Cartographie et étude des biocénoses des sites Natura 2000 (AAMP/MEEDTL) et d'études ponctuelles plus ou moins récentes. Sur le secteur de **Marseille** en région Sud, les sources sont multiples et majoritairement anciennes. Les cartes ci-dessous présentent ces sources (maitre d'œuvre et année d'acquisition).

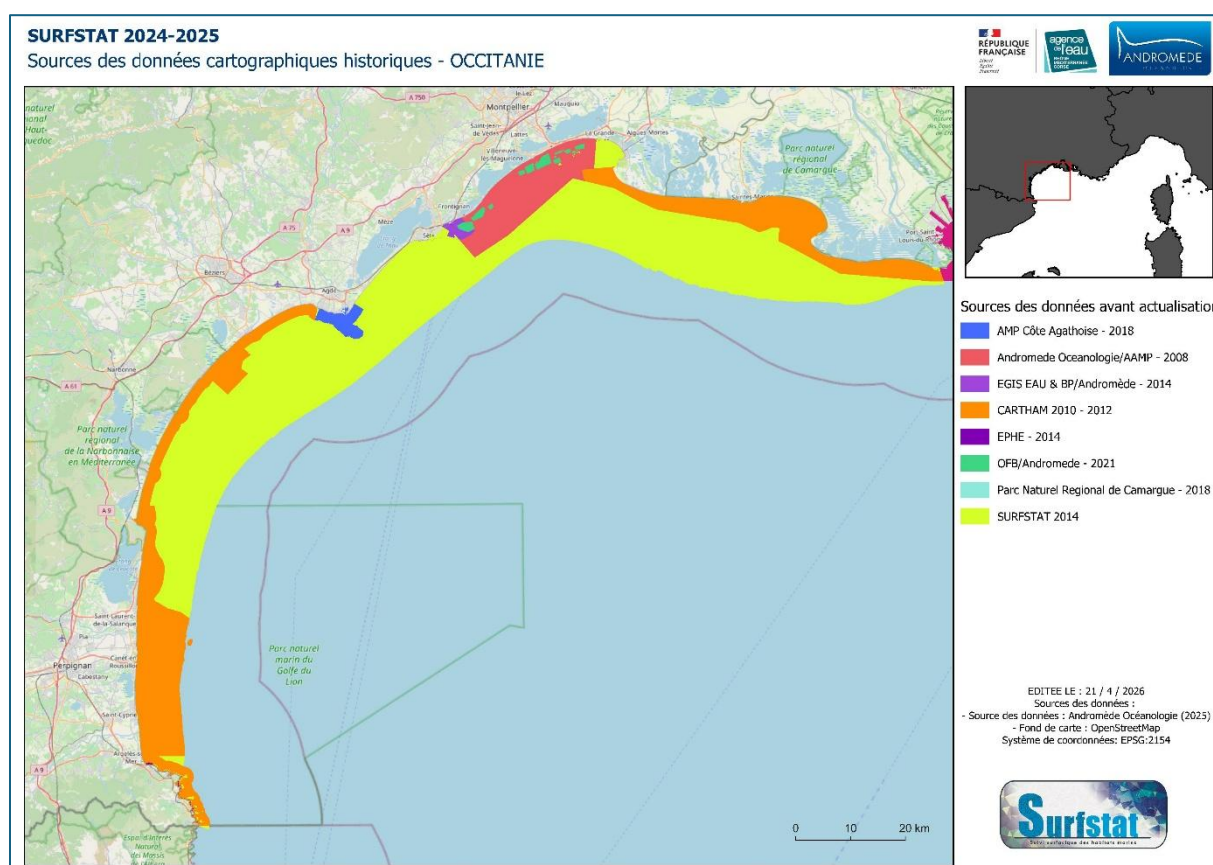


Figure 5 : Carte des sources des données cartographiques historiques en Occitanie.

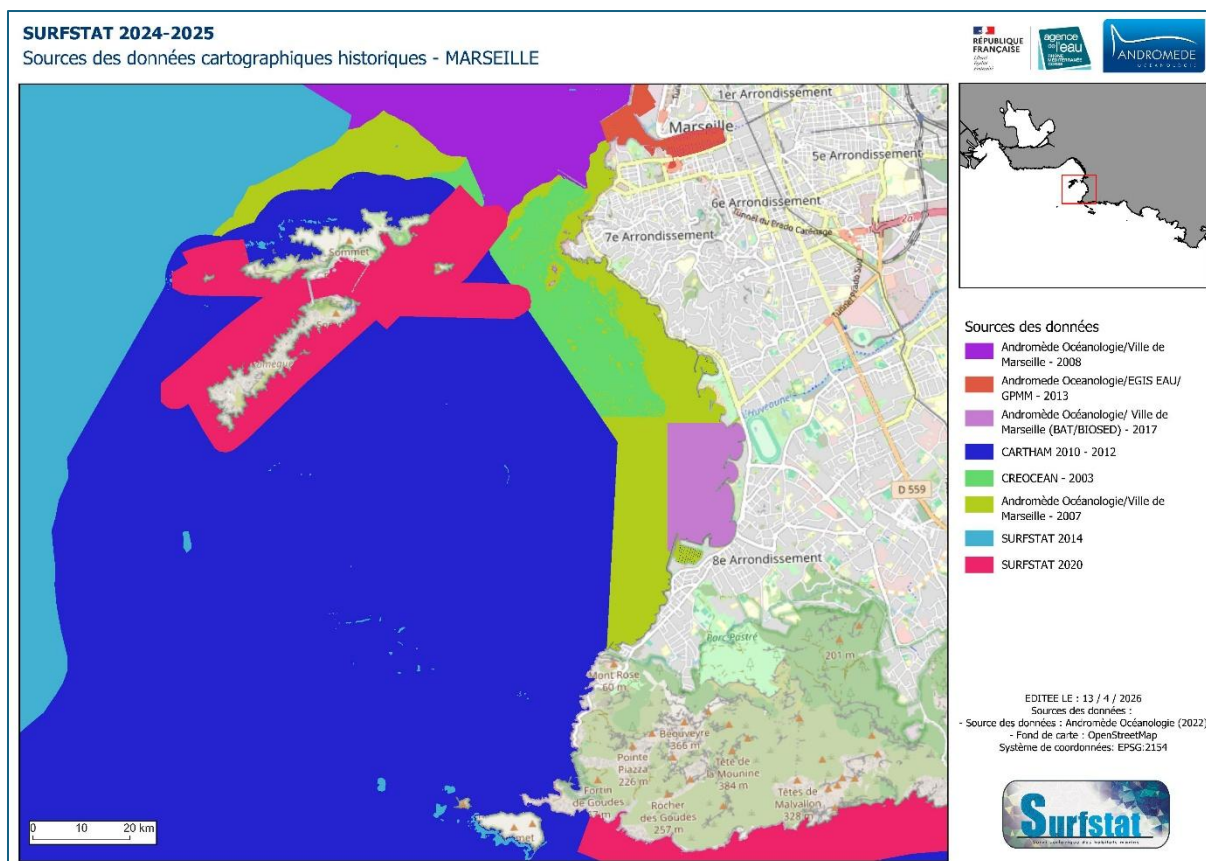


Figure 6 : Sources des données cartographiques historiques dans le secteur de Marseille.

Afin de compléter la mise à jour de la cartographie des biocénoses marines en Occitanie et sur le secteur de Marseille, des campagnes d'acquisition de **données acoustiques sonar** ainsi que des **observations en plongée et par caméra (vérités-terrain)** ont été menées.

II.B.2. Données sonar

II.B.2.a. Acquisition des données au sonar latéral

Dans le cadre de cette nouvelle étude SURFSTAT, près de **5200 hectares** de données acoustiques sonar ont été acquises (cartes pages suivantes).

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

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

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

II.B.2.b. Exploitation des données sonar latéral

Le logiciel spécialisé (SonarWiz 8) 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 vérités terrain.

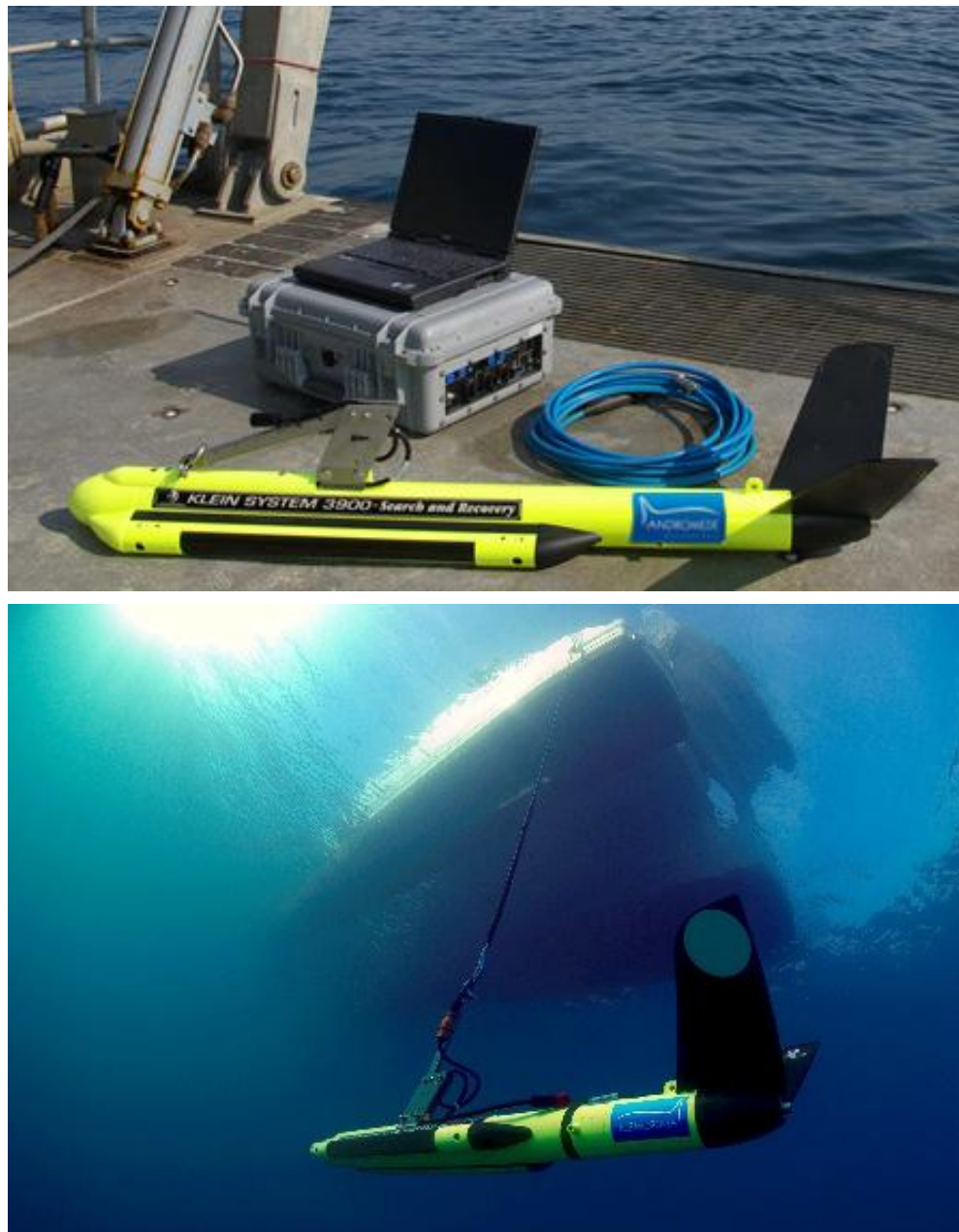


Figure 7 : Sonar Klein 3900. A gauche : micro-ordinateur avec logiciel SonarPro et enregistreur numérique ; à droite : poisson relié au bateau par le câble électroporteur. Source : Andromède

II.B.3. Acquisition de données terrain

En Occitanie, **3709 vérités-terrain** ont été acquises en plongée (transects géoréférencés en scooter sous-marin) et par caméra (points de vérification précis). Les plongeurs, reliés à une bouée de nage équipée d'un logger GPS, ont pu enregistrer des vidéos sur chaque transect à l'aide d'une Gopro 12. Ces prises de vues sont utiles à l'interprétation des images sonar et permettent de localiser des éléments singuliers (macrodéchets, épave, trace de mouillage, limite d'herbier, accumulation de litière...).

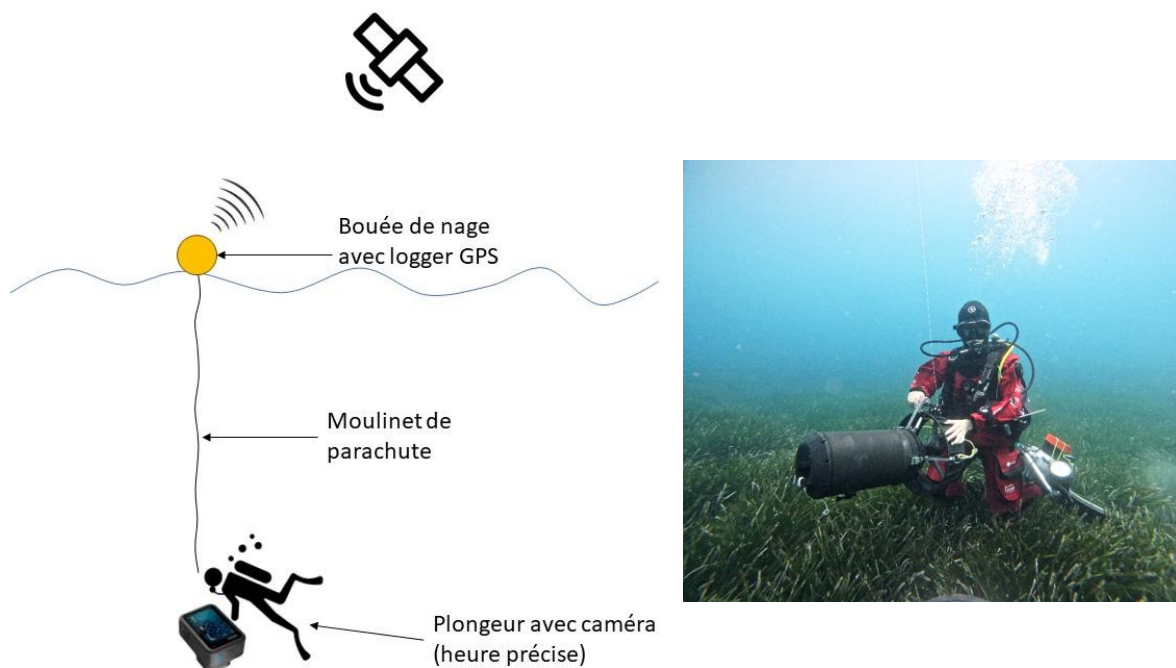


Figure 8 : Schéma (à gauche) du système de prises de vues géoréférencées et photographie (à droite) d'un plongeur biologiste équipé pour effectuer un transect de vérités-terrain (© Andromède Océanologie).

Un script en langage R v4.3.3 (R Core Team, 2025) a été ensuite codé afin d'affecter une position GPS à chacune des images (1 image par seconde de vidéo) en récupérant les coordonnées du point GPS dont le temps universel est identique à celui de la prise de vue. Les résultats sont exportés sous forme d'un shapefile avec les positions de l'ensemble des prises de vue réalisées. Ce fichier permet de superposer l'information visuelle aux couches d'informations géographiques (bathymétrie, images aériennes) et d'aider à l'interprétation des bandes sonar en cas d'incertitude.

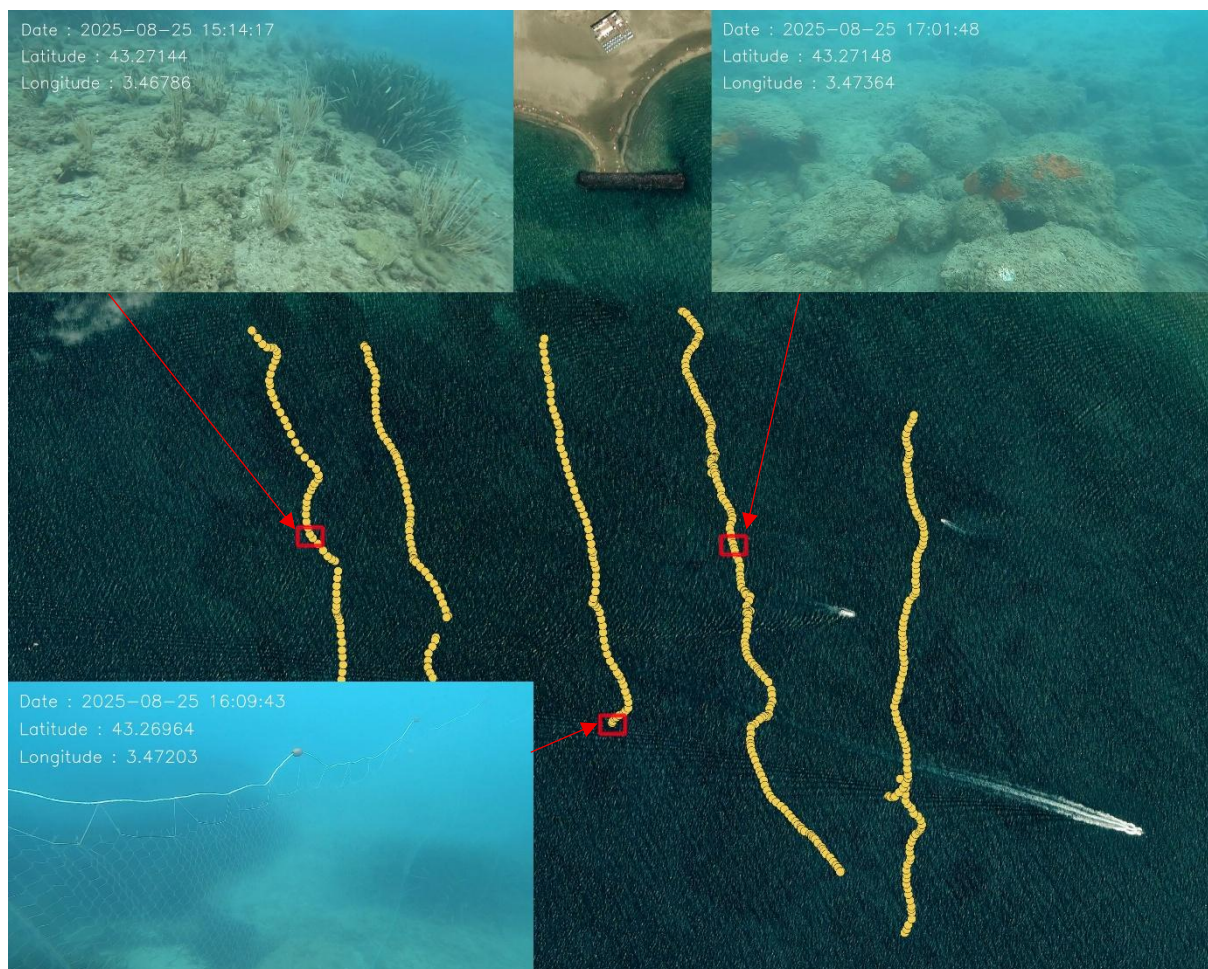


Figure 9 : Illustrations géoréférencées sur le secteur Les Battuts à l'ouest du Cap d'Agde (2025).

D'autres observations ont été acquises lors de points caméra ponctuels et précis grâce à l'utilisation d'un support lesté auquel une GoPro 12 était attachée mais également grâce à un système caméra submersible (Caméra CM5) multifonctions (Figure 10) telles que :

- Le visionnage en direct
- L'enregistrement de vidéos
- L'enregistrement d'observations géoréférencées (une position GPS / seconde en automatique)
- Le démarrage et l'enregistrement différé de vidéos géoréférencées.



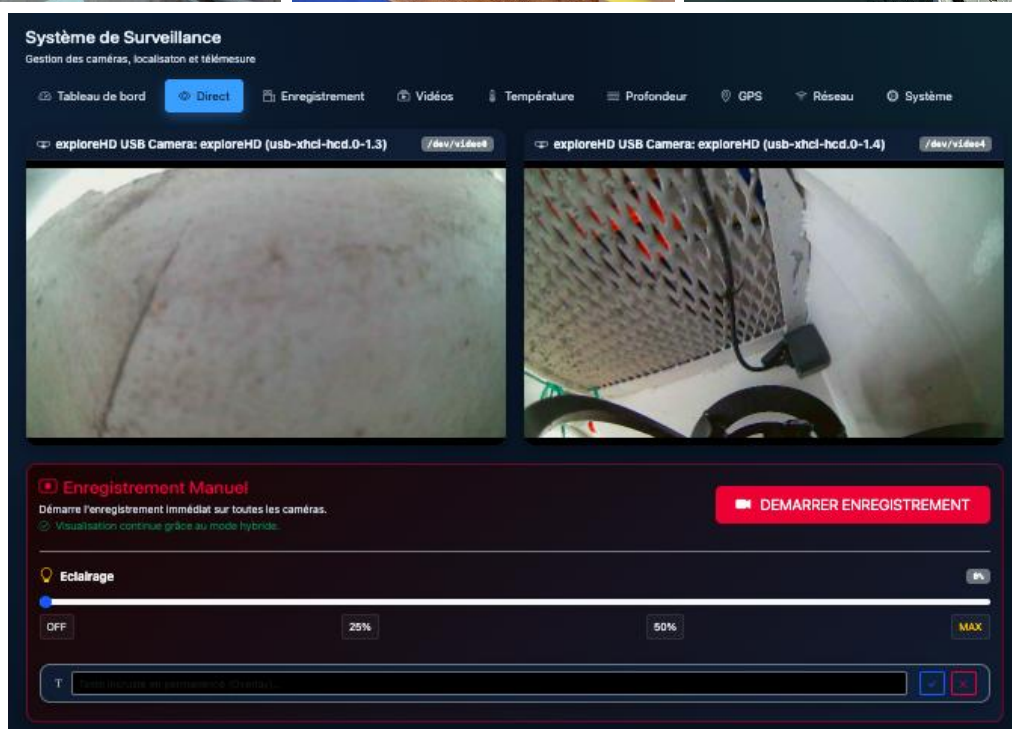
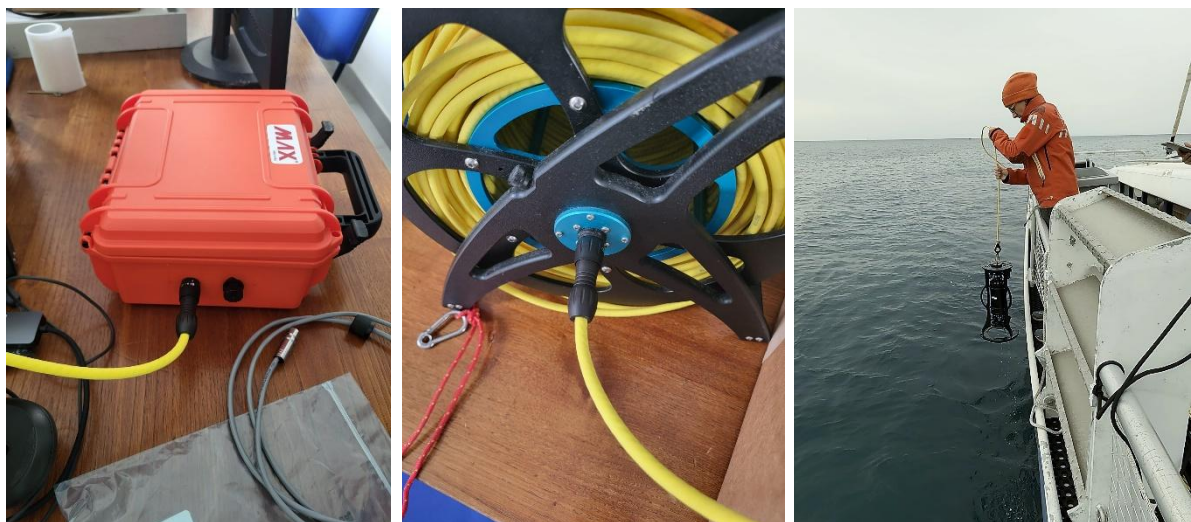


Figure 10 : Dispositif caméra (Caméra CM5) utilisé pour l'acquisition de vérités-terrain ponctuelles.

II.B.4. Données bathymétriques

Pour ce projet, plusieurs jeux de données bathymétriques ont aussi été utilisés :

- Données historiques acquises lors de la première **campagne SURFSTAT en région Sud (2014-2015)** à l'aide d'un sondeur multifaisceaux (Geoswath)
- Données historiques acquises à Marseille en **2017** dans le cadre d'un projet d'aménagement en mer (contrat Andromède Océanologie/EGIS/Ville de Marseille)
- Données historiques de haute résolution acquises en **2021** dans le cadre d'une étude cartographique dans le Parc Naturel Marin du Golfe du Lion (P2A Développement / OFB, 2021) ;
- **Données LIDAR de 2011-2012 et 2014-2015** téléchargées depuis le site internet du **SHOM** et traitées sur le logiciel QGIS (3.40)
- **Données acquises en novembre 2023 sur le secteur de Marseille** à l'aide du sondeur multifaisceaux WASSP S3 Scientifique

Ces données sont complémentaires aux données acoustiques acquises au sonar latéral car elles permettent d'obtenir des informations sur **la profondeur et les reliefs sous-marins**. Contrairement à une mosaïque sonar, un modèle numérique de terrain (MNT) est obtenu grâce à un sondeur multifaisceaux qui n'est pas tracté mais qui est situé directement sous le navire. Cette méthode d'acquisition permet d'éviter tout décalage spatial des données, d'où le caractère complémentaire des données bathymétriques et des données sonar. Ainsi, lorsqu'il y a des décalages ou des déformations au niveau des données sonar, il est préférable d'utiliser le MNT pour délimiter certains habitats et être certain de leur position. Les habitats les mieux différenciables sur un MNT sont les substrats durs (coralligène, roches infralittorales, etc.), mais, en fonction de la résolution du modèle (proche de 1 ou 2 mètres) il est aussi possible d'observer des reliefs correspondant aux intermattes déferlantes dans les herbiers de posidonie, aux tombants de matte morte en limite inférieure d'herbier, à des traces de mouillage ou à des zones de sable au milieu d'un herbier de posidonie ou entouré de roches infralittorales.



II.B.5. Outils d'actualisation de la cartographie

Différents outils et logiciels 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 novembre 2023 et mai 2024 et des observations terrain ont été réalisées en mai et aout 2025.

La cartographie est réalisée sous **Photoshop** puis **QGIS 3.40**. 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

	Photographie aérienne	Logiciels	Données terrain
Outils	Orthophotographies aériennes BD ORTHO® 20 cm de l'IGN (2024)	Photoshop CC Google Earth QGIS 3.40	Points biologiques et relevés sonar réalisés par Andromède Océanologie Données bathymétriques historiques (Litto3D 2011 et 2014 du SHOM ; MNT acquis en 2021 par P2A Développement/OFB)

II.B.6. 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 **1/10 000ème**. La typologie utilisée est celle préconisée pour la cartographie des biocénoses en Méditerranée (PatriNat, 2021). Toutes les données cartographiques sont restituées selon le système de projection Lambert 93.

Au total, **12 biocénoses** ont été cartographiées :



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 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 infralittoral qui est d'une grande richesse et diversité en organismes. Cet habitat est généralement retrouvé depuis la surface jusqu'à 35-40 m de profondeur.



Biocénose 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.



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.C. 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, 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 (0-20m ; 0-40m) : 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 12 catégories biocénotiques (cf. paragraphe II.B.6. Nomenclature des habitats : la typologie) appelées « classes » en écologie du paysage.

II.C.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, QGIS 3.40) 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.



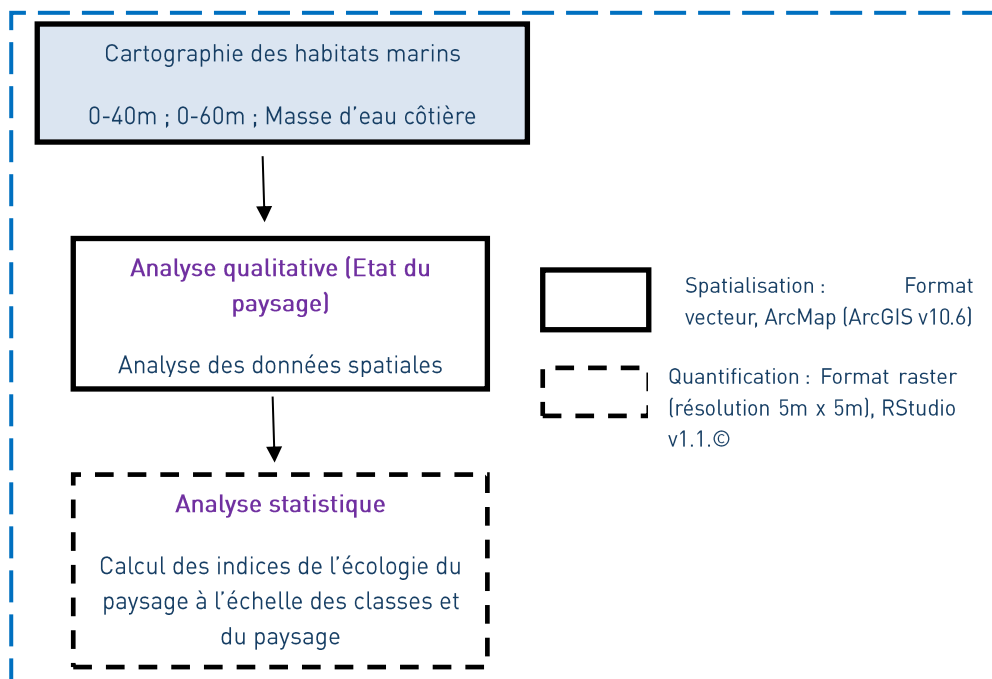


Figure 11 : Chaîne de traitement pour l'analyse du paysage

II.C.2. 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 4 masses d'eau côtières actualisées dans le cadre de cette étude) puis par tranche bathymétrique.

Deux tranches ont été choisies dans cette étude : **0-20 mètres** et **0-40 mètres**. La première tranche correspond à la zone de fortes pressions anthropiques et toute la distribution de l'herbier à Posidonie en Occitanie, et celle de 0-40 mètres permet d'inclure une grande partie de la zone de répartition du coralligène en Occitanie (excepté pour certains caps dans les masses d'eau côtières FRDC01 et FRDC02c pour lesquels la biocénose du coralligène et la roche du large sont présentes au-delà).

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 4 masses d'eau dont les données cartographiques devenaient trop anciennes ou la délimitation de certains habitats peu précises.

Les zones et masses d'eau actualisées sont résumées dans le tableau page suivante.

Tableau 2 : Masses d'eau et zones géographiques correspondantes actualisées en Occitanie.

Masse d'eau	Prof. max actualisation	Sources des données existantes
FRDC01	65 m	CARTHAM 2010-2012 EPHE (2014) P2A Développement/OFB (2021)
FRDC02a	55 m (hors du périmètre des masses d'eau)	CARTHAM 2010-2012
FRDC02b	7 m	CARTHAM 2010-2012
FRDC02c	35 m	AMP Côte Agathoise (2018)

II.C.3. 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 (version 2024.12.1) 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.C.4. 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 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 tache)	$0 \leq \text{DIVISION} < 1$ (DIVISION=0 si la classe est constituée d'une unique tache et DIVISION=1 si la classe est très subdivisée en petites taches).
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	$0 < \text{SIDI} < 1$ (SIDI=0 alors le paysage ne contient qu'une seule classe (pas de diversité) et SIDI approche de 1 quand le nombre de classes augmente)
Simplification / Diversification	Paysage	SIEI (Simpson's Evenness Index)	Indice d'équitabilité de Simpson	

II.D. Cartographie de l'épaisseur des mattes de posidonie

II.D.1. Zones d'étude



Site de Beaulieu sur Mer

La **première zone d'étude** est la baie de **Beaulieu-sur-Mer** dans les Alpes Maritimes. Cette baie est principalement composée d'herbier de posidonie (en vert), de matte morte (en marron clair) et de sable (en beige) (la cartographie des habitats marins est issue de DONIA Expert, www.medtrix.fr) :

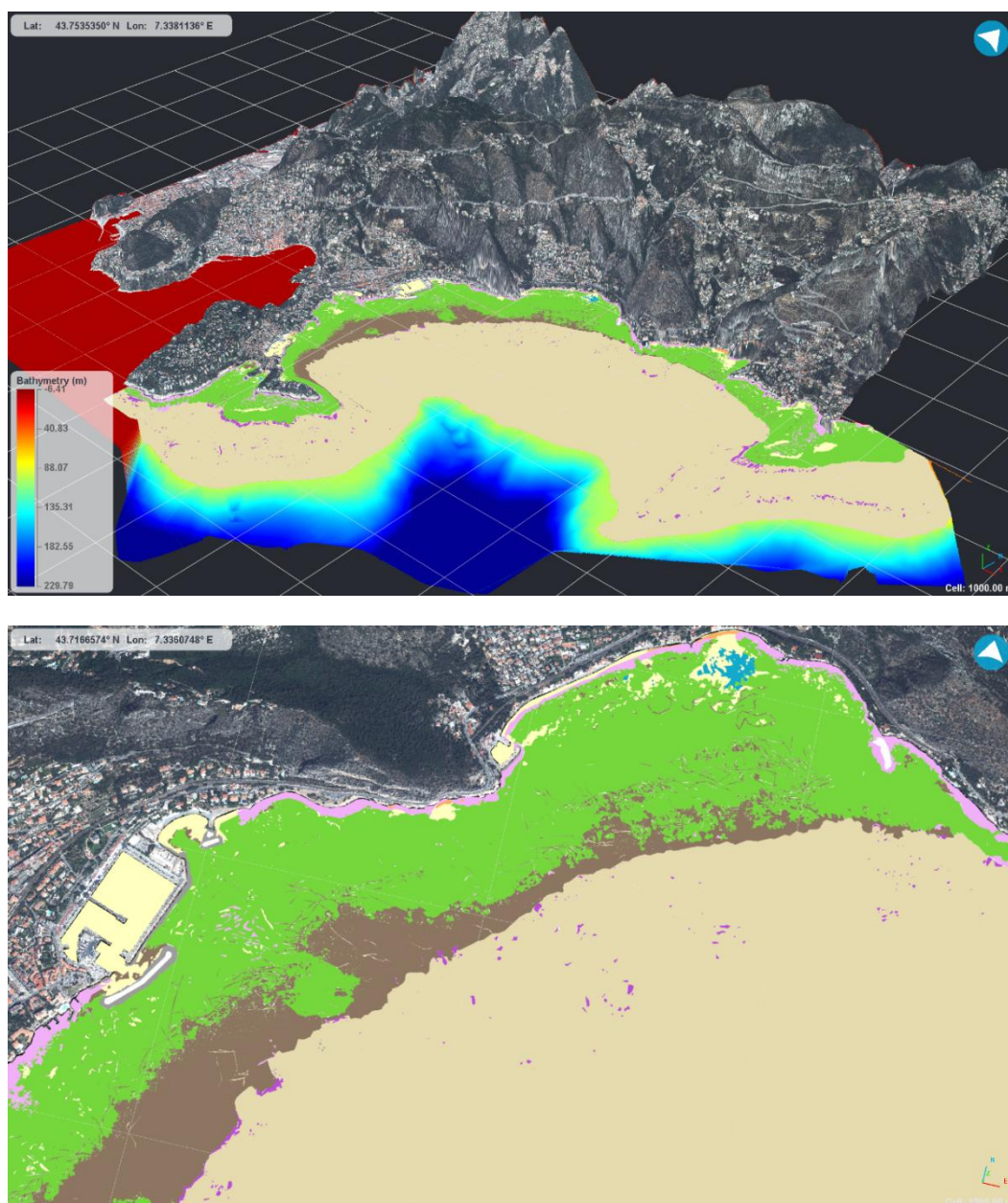


Figure 12 : Baie de Beaulieu-sur-Mer (Alpes Maritimes). En vert l'herbier de posidonie, en bleu les herbiers a cymodocée, en marron la matte morte, en jaune les fonds meubles infralittoraux, en beige les fonds meubles circalittoraux, en violet clair les roches infralittorales et en violet foncé les récifs coralligènes.



La baie est majoritairement **peu profonde** (< 40 m de profondeur), mais on distingue un canyon qui plonge à près de 300m au sud-Est de Beaulieu-sur-Mer :

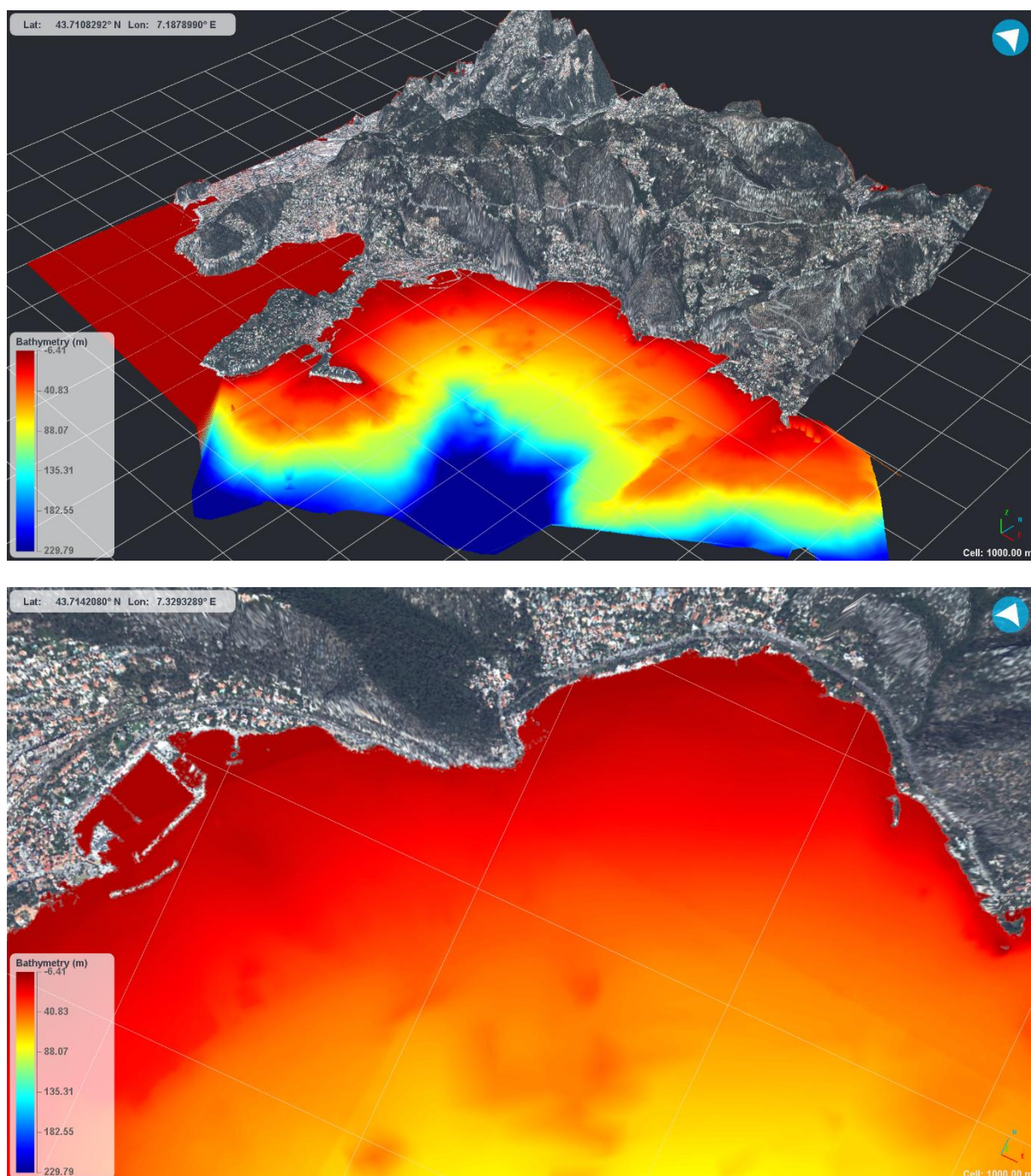


Figure 13 : Bathymétrie de la baie de Beaulieu-sur-Mer



Roquebrune-Cap-Martin

La **deuxième zone d'étude** est la baie de **Roquebrune-Cap-Martin**, un peu plus à l'Est toujours dans les Alpes Maritimes. Cette baie est également principalement composée d'herbier de posidonie (en vert), de matte morte (en marron clair) et de sable (en beige) (la cartographie des habitats marins est issue de DONIA Expert, www.medtrix.fr) :

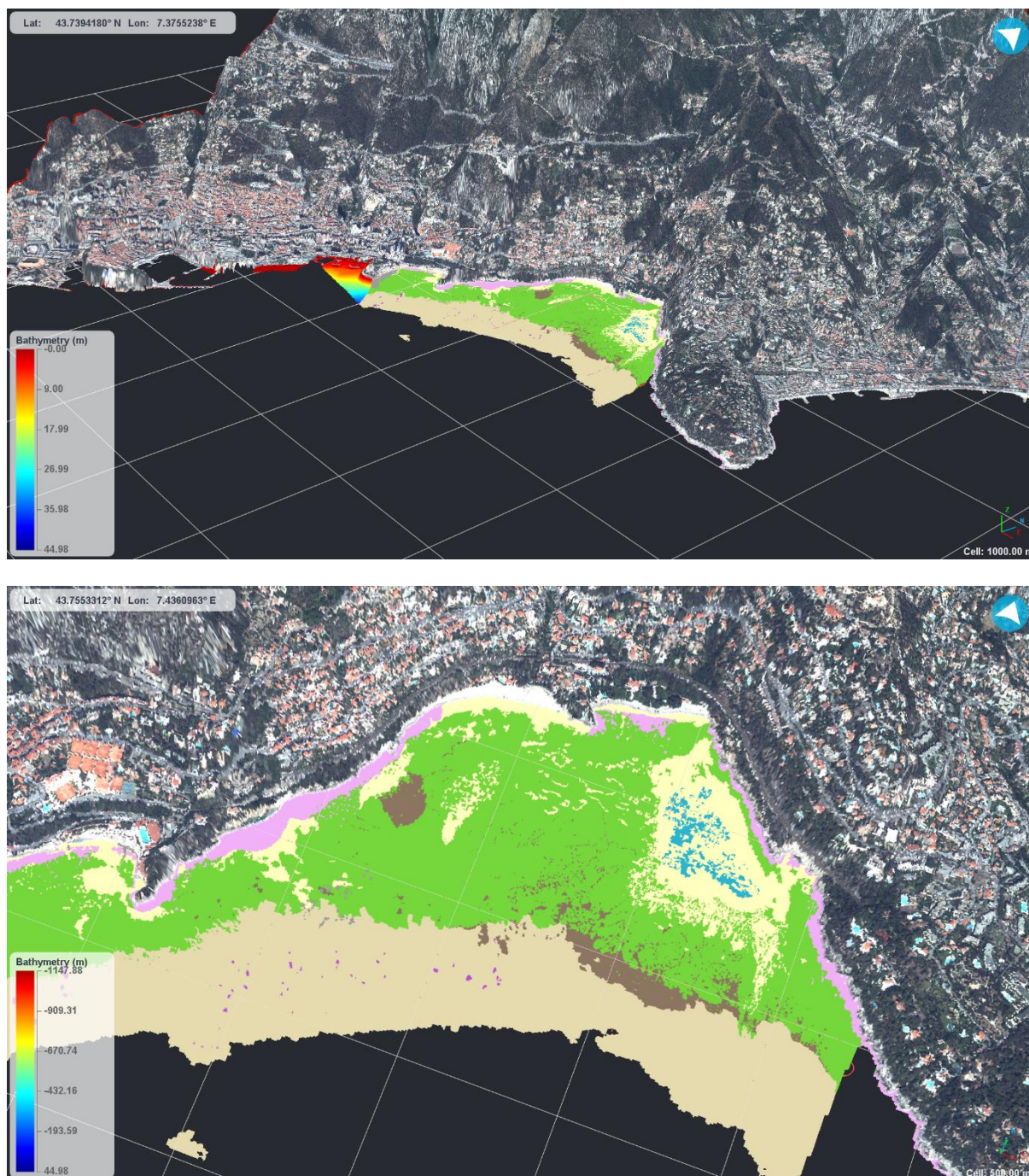


Figure 14 : Baie de Roquebrune-Cap-Martin (Alpes Maritimes). En vert l'herbier de posidonie, en bleu les herbiers à cymodocée, en marron la matte morte, en jaune les fonds meubles infralittoraux, en beige les fonds meubles circalittoraux, en violet clair les roches infralittorales et en violet foncé les récifs coralligènes.



La baie est majoritairement **peu profonde** (< 40 m de profondeur), en pente douce et homogène vers le large :

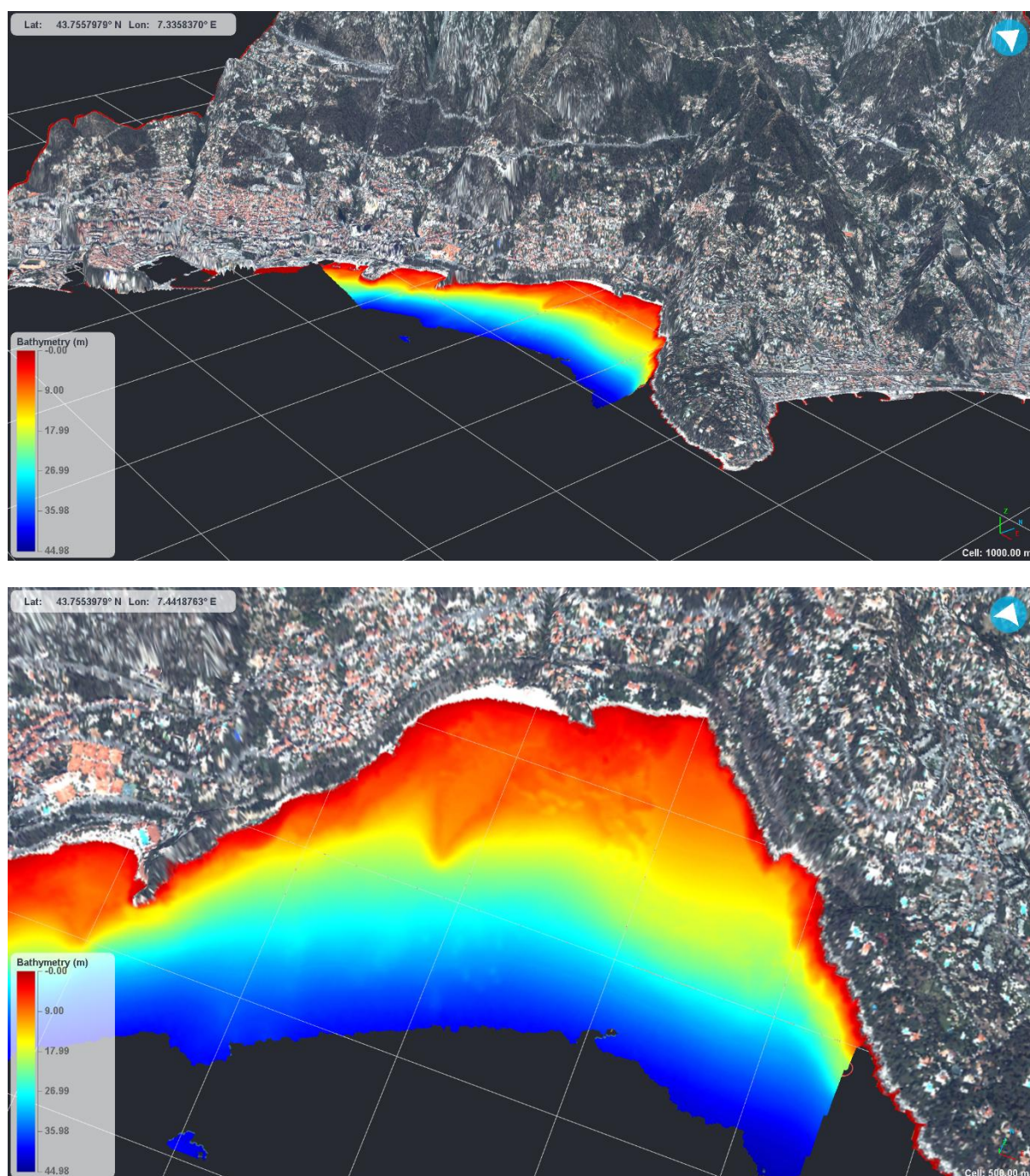


Figure 15 : Bathymétrie de la baie de Roquebrune-Cap-Martin

II.D.2. Matériel utilisé

Afin de **pénétrer le sédiment** et récupérer l'information **d'épaisseur de première couche de sédiments**, nous avons utilisé un **sondeur à sédiments** (« sub-bottom profiler »). Ce type d'appareil utilise une technologie **acoustique active**, en **émettant** des trains d'ondes qui sont **réfléchis** par les différents réflecteurs et **réceptionnés** par une antenne. Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé l'Echoes 3500 T1 développé par Exail, qui correspond au **compromis idéal** entre **capacité à pénétrer le sédiment** et **haute résolution spatiale**. La fiche suivante présente l'Echoes 3500 T1 :

Echoes 3500 T1

High-resolution sub-bottom profiler

Echoes 3500 offers high-resolution seismic reflexion data to characterize sedimentary architecture and geological features. Echoes 3500 systems enable river, lake and ocean surveys regardless of the seabed topography.



FEATURES

- Spectrum coverage of 1.7 to 6 kHz
- T1 portable Chirp system
- Vertical resolution 20 cm
- Penetration up to 150 m in clays
- Penetration up to 20 m in sand
- T1 one-man portable system
- Pole- and hull-mounted systems
- 2-way T1/T3 modular configuration

DELPH SEISMIC SOFTWARE

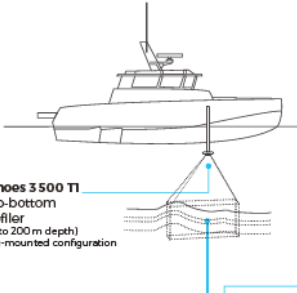
- All-in-one optimized geophysical processing and interpretation
- Easy access to all data collected for geologists and geophysicists
- Compatible with leading industry sensors and formats
- Best possible 2D/3D QC
- Visualization and reporting capabilities

BENEFITS

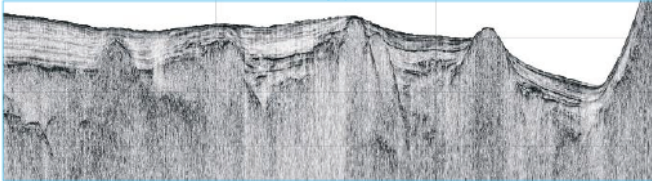
- True flat bandwidth ultimate resolution capacity and power efficiency
- Perfect positioning and heave compensation
- Compatible with any bathymetric echosounder

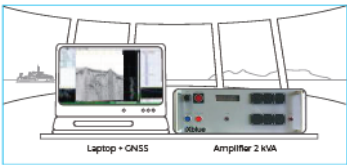
APPLICATIONS

- Pre and post dredging
- Sedimentology and paleoseismology
- Archeology and Geo-archeology
- Object detection buried (boulders, pipelines)
- De-risking survey



Echoes 3500 T1
Sub-bottom
profiler
(up to 200 m depth)
Pole-mounted configuration





Laptop + GNSS Amplifier 2 kW



Figure 16 : Présentation du sondeur à sédiment ECHOES 3500 T1

Le tableau suivant fournit les **spécifications techniques** de l'Echoes 3500 T1 :

Tableau 4 : Caractéristiques techniques du sondeur à sédiments ECHOES 3500 T1

Technical specifications

Array configuration T1	1 tonpilz transducers mounted on a plate
Operational frequency range	1,700 Hz - 6,000 Hz
Mean acoustic level T1//T3	195 // 203 dB (ref 1 μ Pa@1m) @ 2 kVA
RVS (Receiving Voltage Sensitivity) (ref. 1 μ Pa) T1//T3	-172 // -163 dB
Beam aperture @ 3.5 kHz	45°
Vertical resolution (c=1,500 m/s)	20 cm

Nous avons installé l'Echoes 3500 T1 **sous la coque bâbord** de Victoria IV sur la platine prévue à cet effet (installation de capteurs spécifiques) en plongée. Compte tenu du poids, il a été nécessaire d'employer une flottabilité importante pour neutraliser et rendre maniable l'Echoes 3500 T1 sous l'eau lors de sa fixation :



Figure 17 : Installation du sondeur à sédiments en plongée après neutralisation de sa flottabilité

La figure suivante montre le sondeur une fois fixé sous la coque de Victoria IV, avec le passage des câbles de communication vers l'unité centrale dédiée à bord :

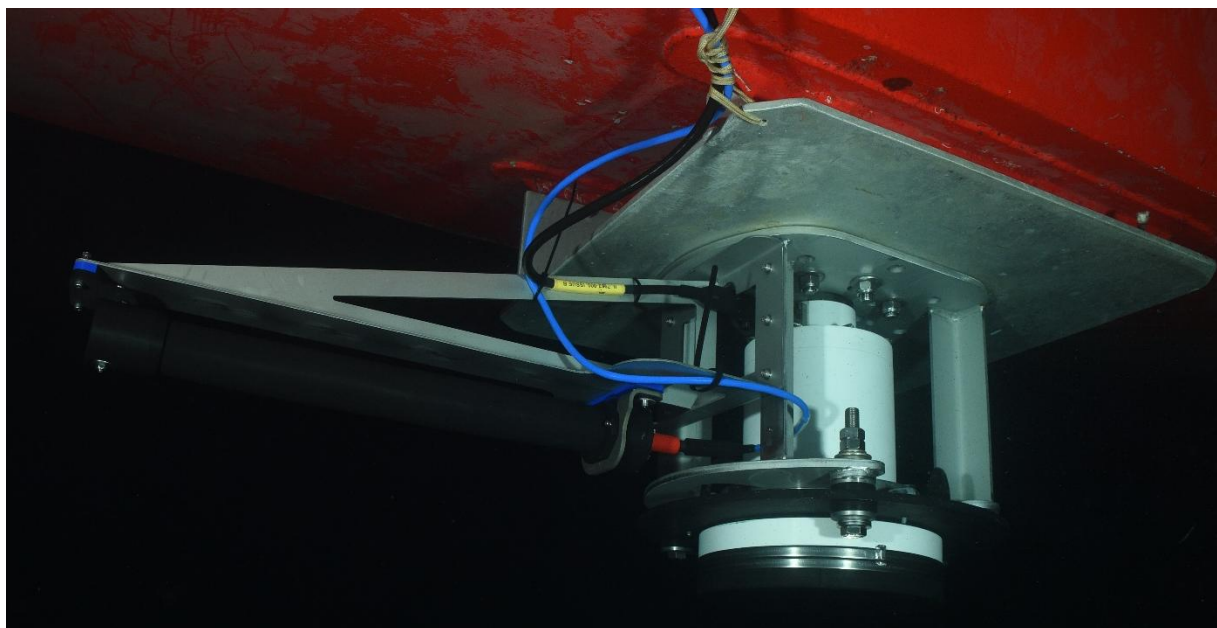


Figure 18 : Sondeur à sédiments ECHOES 3500 T1 installé sous la coque bâbord du Victoria IV

II.D.3. Protocole d'acquisition et paramétrage du sondeur

L'objectif de la mission était de réaliser un **carroyage** recouvrant chaque zone d'étude avec un **transect tous les 100 m** afin d'avoir une vision globale et permettre le **croisement** fréquent des profils pour rendre **plus robuste** l'interprétation des horizons. Ci-dessous le tracé réalisé à Roquebrune :

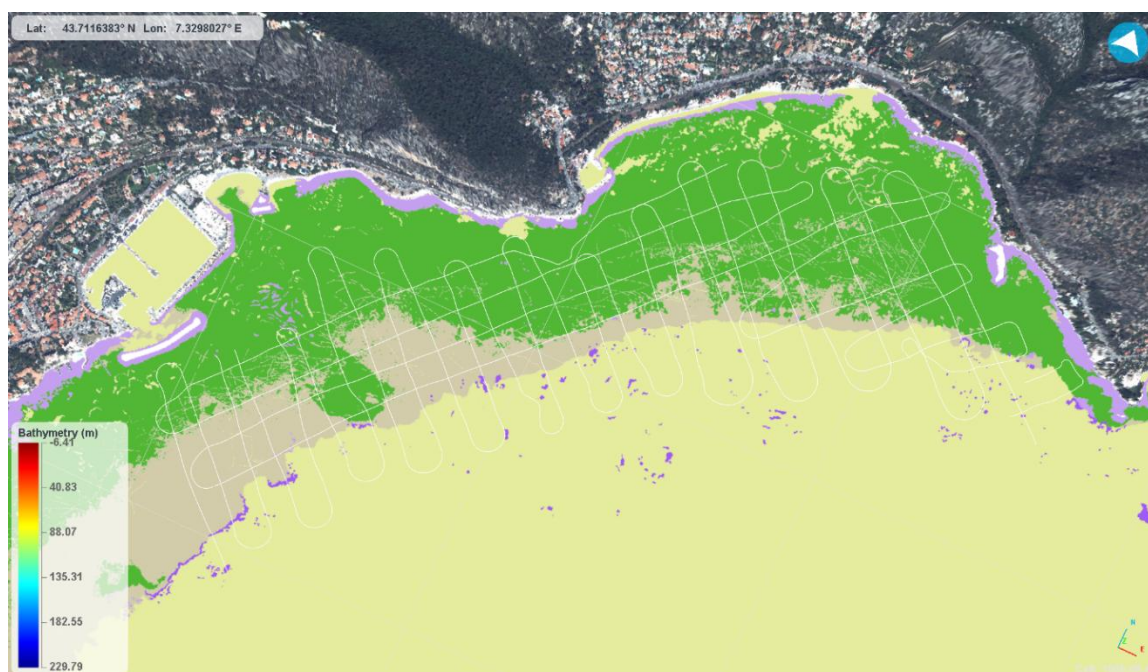


Figure 19 : Carroyage (tracé blanc) réalisé sur la zone de Beaulieu

L'acquisition a été réalisée avec **Delph Geo Acquisition**, en utilisant une **centrale inertielle** permettant de compenser l'effet de la houle lors du traitement des données. Le paramétrage lors de l'acquisition doit permettre un compromis entre :

- Pénétration
- Résolution verticale et horizontale
- Qualité du signal

Compte tenu de la **bathymétrie** de la zone d'étude (8-45m de profondeur) et de l'objectif de **caractérisation de la couche sédimentaire superficielle**, nous avons utilisé les paramètres suivants (pouvant varier localement selon la bathymétrie) :

- **Sampling Frequency** = 32 kHz (> 4 fois la fréquence maximale de travail de 6 kHz)
- **Chirp length** = 50 ms (longueur du signal émis)
- **Shooting rate** = 200 (petits fonds)
- **Puissance** = 100 % (jamais de saturation du signal observée)
- **Vitesse de navigation** = 3-4 nds

Ci-dessous une capture d'écran de **Delph** en cours d'acquisition, avec les **paramètres** utilisés à gauche, la **donnée sismique continue** avec un **gain automatique** permettant un affichage optimal des données en haut, et le **signal brut** en bas pour surveiller la potentielle **saturation** si la puissance est trop élevée :

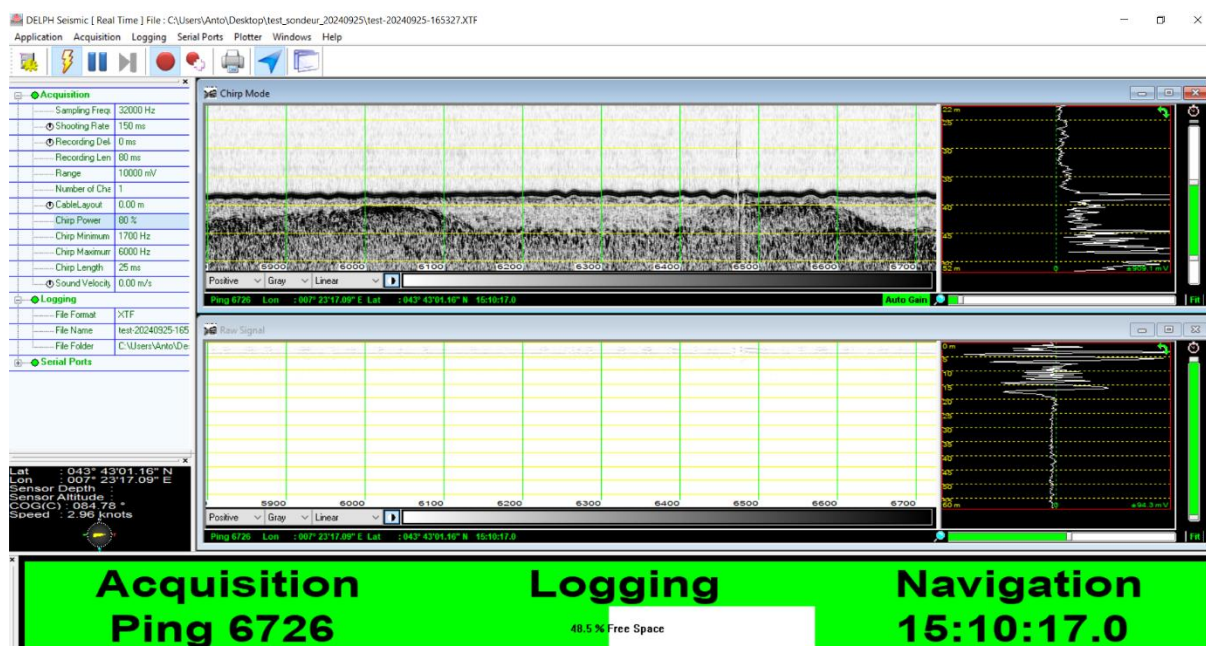


Figure 20 : Capture d'écran du logiciel Delph Geo Acquisition durant l'acquisition (à gauche : paramètres d'acquisition ; en haut : affichage continu des données avec le signal avec gain automatique ; en bas : affichage continu des données avec le signal brut).

Par ailleurs, nous avons régulièrement adapté la **recording length** (durée d'enregistrement après chaque ping) et le **recording delay** (suppression de la colonne d'eau (début du signal) pour recentrer l'enregistrement sur la partie sédimentaire du signal enregistré). La photo ci-après illustre l'équipe en cours d'acquisition, en train de vérifier la **qualité des données** et d'**ajuster les paramètres d'acquisition** :



Figure 21 : Contrôle de l'acquisition en cours depuis la passerelle du Victoria IV

II.D.4. Données externes

Par ailleurs, pour les besoins de l'étude, nous avons utilisé plusieurs autres sources de données cartographiques :

- La cartographie détaillée des **biocénoses marines** avec une **résolution métrique** (DONIA EXPERT, https://medtrix.fr/portfolio_page/donia-expert/) ;
- La **bathymétrie côtière** obtenue par LIDAR aéroporté avec une **résolution métrique** (LITTO 3D PACA, <https://diffusion.shom.fr/donnees/altimetrie-littorale/litto3d-paca-2015.html>) ;
- L'altimétrie continentale IGN issu d'une fusion LIDAR, radar et photogrammétrie avec une **résolution de 5m** (BD ALTI, <https://geoservices.ign.fr/bdalti>) ;
- **Orthophotos** aériennes IGN (BD ORTHO, <https://geoservices.ign.fr/bdortho>) pour le rendu graphique 3D de chaque zone d'étude.



II.D.5. Traitement et interprétation des données

II.D.5.a. Cartographie de l'épaisseur du premier horizon sédimentaire

Les données sismiques ont été traitées et analysées avec **Delph Geo Interpretation**, en procédant de la manière suivante :

- **Import de l'ensemble des profils** et vérification du positionnement géographique ;
- **Import du Modèle Numérique de Terrain (MNT)** obtenu par fusion des données LITTO 3D et BD ALTI ;
- **Import de l'orthophoto aérienne** ;
- Détermination du **gain** permettant de distinguer le plus clairement le **fond** sur les profils ;
- **Dessin semi-automatique du fond** sur chaque profil et suppression de la colonne d'eau ;
- **Correction de la topographie** grâce au filtre de houle et MNT ;
- Détermination du **gain** permettant de distinguer le plus clairement le **1er réflecteur** après le fond ;
- **Dessin manuel du 1er réflecteur** sur chaque profil ;
- **Génération des géosections** (ie. Profils sédimentaires traités en vue 3D)
- **Calcul de l'épaisseur** du premier horizon (fond -> 1er réflecteur) en prenant comme hypothèse une vitesse de propagation dans le sédiment de **1600 m/s** (vase) ou **1800 m/s** (sable compact) ;
- **Génération d'une carte d'épaisseur** du premier horizon par interpolation entre les profils.



Liens avec la cartographie des biocénoses

Pour chaque zone, nous avons extrait la **typologie de la biocénose DONIA EXPERT** pour chacun des pixels de la carte **d'épaisseur du 1^{er} horizon** produite par l'analyse des profils sismiques. Nous avons également dérivé la **pente à partir du MNT** pour ajouter une variable explicative potentiellement pertinente pour expliquer l'épaisseur du 1^{er} horizon. A partir de ces données, nous avons étudié pour chaque zone les liens entre **épaisseur du 1^{er} horizon** et la **profondeur**, la **pente** ainsi que la **classe de biocénose**.

II.E. Zones de recolonisation naturelle des herbiers de posidonie

Les herbiers sous-marins sont des écosystèmes qui ont des rôles écologiques et économiques majeurs (Abadie 2016). Les herbiers connaissent toutefois un **déclin à l'échelle mondiale** (Duarte 2002) sous l'effet du changement climatique global (Marbà & Duarte 1996) et des activités humaines (Boudouresque et al. 2009, Duarte 2002). Malgré ce déclin, il existe **plusieurs exemples en Italie et en Espagne de recolonisation spatiale naturelle de l'herbier de posidonie** (Almela et al., 2008; Guillén et al., 2013; Kletou et al., 2018, Noé et al., 2020).

En France, les acquisitions au sonar latéral réalisées en 2020 par Andromède dans le cadre du réseau de surveillance **SURFSTAT** ont mis en évidence des **signes de reprise de croissance probable de l'herbier de Posidonie**. Observées le long du littoral, ces zones de recolonisation naturelle se matérialisent généralement sous une forme d'"atolls" (patchs circulaires). Des observations similaires de taches de posidonie avaient déjà été réalisées par Andromède en 2012 et 2019 dans la baie de Cavalaire-sur-Mer (Andromède, 2019). Cette dynamique positive de l'expansion de l'herbier semble également se refléter sur certaines des stations de surveillance du réseau **TEMPO**, en régions Occitanie et Sud (comm. Pers., Andromède, 2025).

Un premier projet visant à étudier le phénomène de recolonisation de l'herbier à grande et petite échelle spatiale a été initié en 2021, en partenariat avec l'Agence de l'eau : le projet RECOVERY (Andromède Océanologie, 2023). Le premier objectif du projet **RECOVERY** était d'étudier le phénomène de recolonisation de l'herbier à grande échelle spatiale. Pour cela, une analyse **des secteurs de recolonisation** mis en évidence dans le cadre de **SURFSTAT** a été faite (**inventaire précis à partir des données sonar, cartographie fine, caractérisation des conditions physico-chimique et du niveau de pressions anthropiques**). Le second objectif visait à réaliser une étude à petite échelle spatiale des sites de recolonisation par une **analyse du paysage**, une **évaluation de l'état de santé** de l'herbier (paramètres de vitalité) et une **cartographie fine** (par photogrammétrie). **Dix sites géographiques** ont été échantillonnés grâce à une campagne en mer menée à l'hiver 2021.

Pour la présente étude, nous nous sommes intéressés à analyser **l'évolution des taches de recolonisation d'herbier de posidonie** sur deux de ces sites : **Deux Frères et Fabregas**. Pour cela, une cartographie fine des taches d'herbier a été effectuée par photogrammétrie en **mars 2026** puis comparée aux données acquises cinq ans plus tôt.

II.E.1. La photogrammétrie

La photogrammétrie, ou « science de la mesure sur photos » (Linder, 2016), est une technique permettant aujourd'hui de reconstruire en 3D un objet ou une scène à partir d'un grand nombre de photos prises sous différents angles de vue. Son principe de fonctionnement se base sur la vision stéréoscopique dont nous sommes nous-mêmes dotés : si nous disposons de deux (ou plus) images d'un même objet prises en différents points de vue, il est possible de calculer les coordonnées 3D de tout point de l'objet qui est visible sur les deux images. L'évolution récente de cette technique, appelée « structure-from-motion » (Westoby et al., 2012), permet de s'affranchir de l'information de position et d'orientation des prises de vue. L'utilisateur n'a alors « plus qu'à » photographier l'objet sous tous ses angles et charger les photographies dans un logiciel dédié, ce qui simplifie l'acquisition dans un contexte sous-marin où les conditions rendent déjà compliquées de simples prises de vue (Bowens, 2009).



L'ensemble du processus photogrammétrique suit un enchaînement de traitements numériques pour passer des images 2D au modèle 3D.

La photogrammétrie a d'abord été développée pour des applications terrestres, mais elle a été introduite en milieu sous-marin par les archéologues dans les années 1970 (Drap, 2012; Pollio, 1968). Cette technique a également démontré qu'elle pouvait servir à l'étude et au suivi de perturbations naturelles et anthropiques et leurs effets sur les écosystème marins (J. Burns et al., 2016). Depuis quelques années, elle est de plus en plus utilisée en écologie marine, notamment pour étudier les relations entre la structure 3D de l'habitat et la composition des assemblages (Agudo-Adriani et al., 2016; J. H. R. Burns et al., 2019; Carlot et al., 2020; Darling et al., 2017; Price et al., 2019), mesurer la taille et la croissance d'organismes sessiles (Abdo et al., 2006; Figueira et al., 2015; Gutiérrez-Heredia et al., 2015; Holmes, 2008; Lavy et al., 2015) ou encore cartographier à fine échelle les habitats marins (Casella et al., 2017; Mizuno et al., 2017).

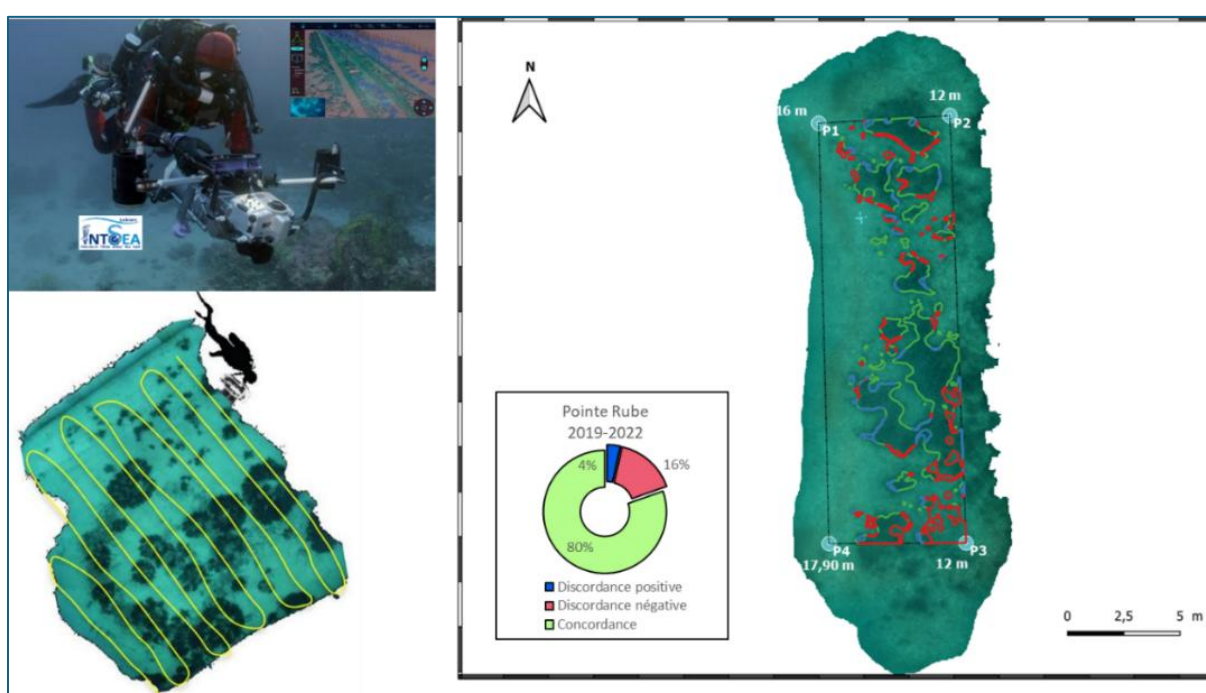


Figure 22 : [1] Appareil d'acquisition photogrammétrique ; [2] Exemple de trajectoires d'acquisition des photos sur un herbier ; [3] Dynamique évolutive de l'herbier à posidonie entre 2020 et 2023 sur un site cartographié à partir de la photogrammétrie (réseau TEMPO).

II.E.2. Analyse de l'évolution des surfaces d'herbier

L'analyse comparative des surfaces d'herbier de posidonie sur les sites RECOVERY « Deux Frères » et « Fabregas » s'est déroulée sous SIG (logiciel QGIS 3.40). Les deux orthophotographies générées sous le logiciel Agisoft Metashape ont été géoréférencées par rapport aux images acquises en 2021. La numérisation de l'herbier a ensuite été réalisée manuellement à une résolution centimétrique.

Les données spatiales de 2021 et 2026 ont été comparées entre elles pour chaque site afin de faire ressortir les zones de **discordance positive** (progression), de **discordance négative** (régression) et de **concordance** (herbier stable) (Erreur ! Source du renvoi introuvable.). A partir des données s

urfaciques issues des micro-cartographies, un **indice d'évolution surfacique de l'herbier (IE)** est calculé pour chaque site de la manière suivante :

$$IE = \frac{\text{Surface de discordance positive} - \text{Surface de discordance négative}}{\text{Surface de discordance positive} + \text{Surface de discordance négative}}$$

Cet indice varie entre -1 (régression) et 1 (progression) et permet d'appréhender la dynamique évolutive de l'herbier sur le site.



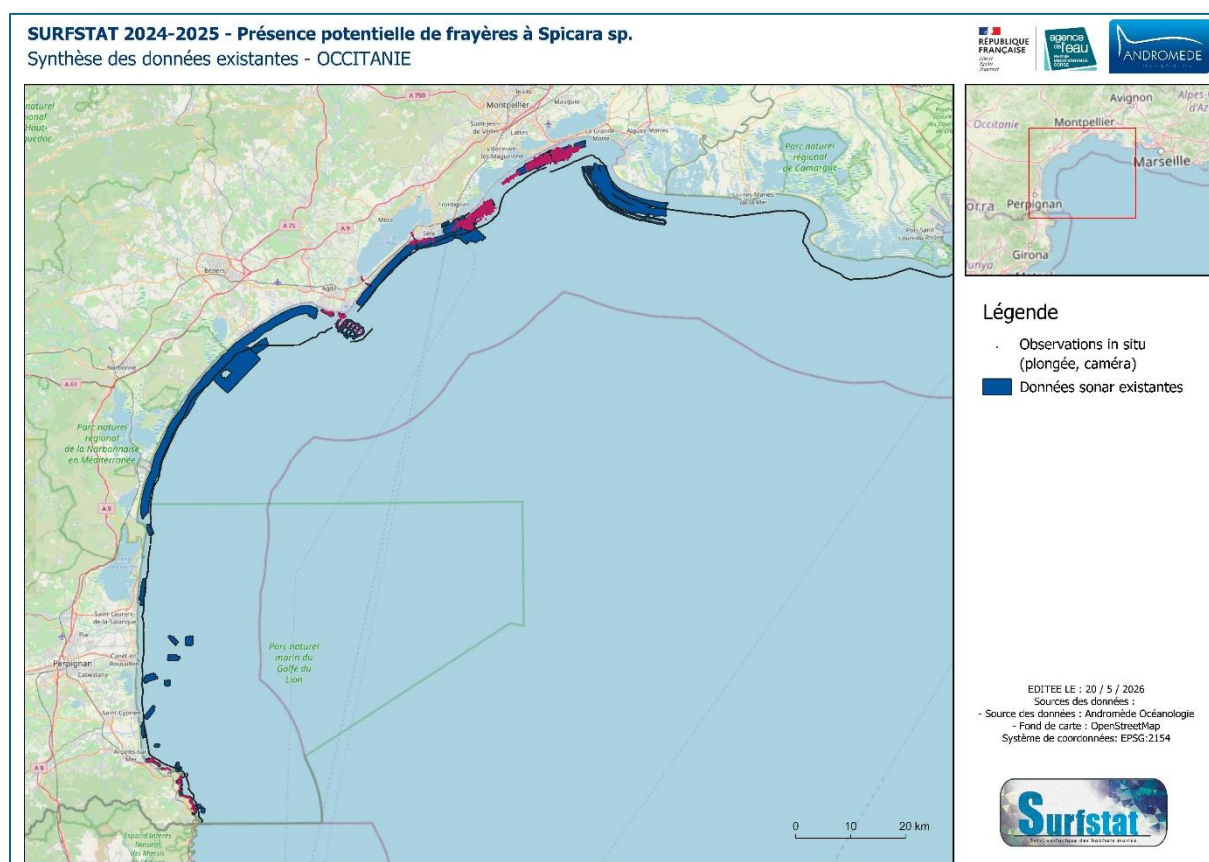
II.F. Présence potentielle des frayères à *Spicara sp.* en région Sud et en Occitanie : synthèse des connaissances

Pour compléter les acquisitions effectuées au sonar latéral en Occitanie et en région Sud en 2024-2025, une synthèse des observations de nids de picarels (*Spicara sp.*) dans ces deux régions sera réalisée. Les données utilisées pour cette synthèse sont issues de diverses études réalisées par Andromède Océanologie et d'observations ponctuelles plus ou moins récentes effectuées en Occitanie et en région Sud (tableau ci-dessous).

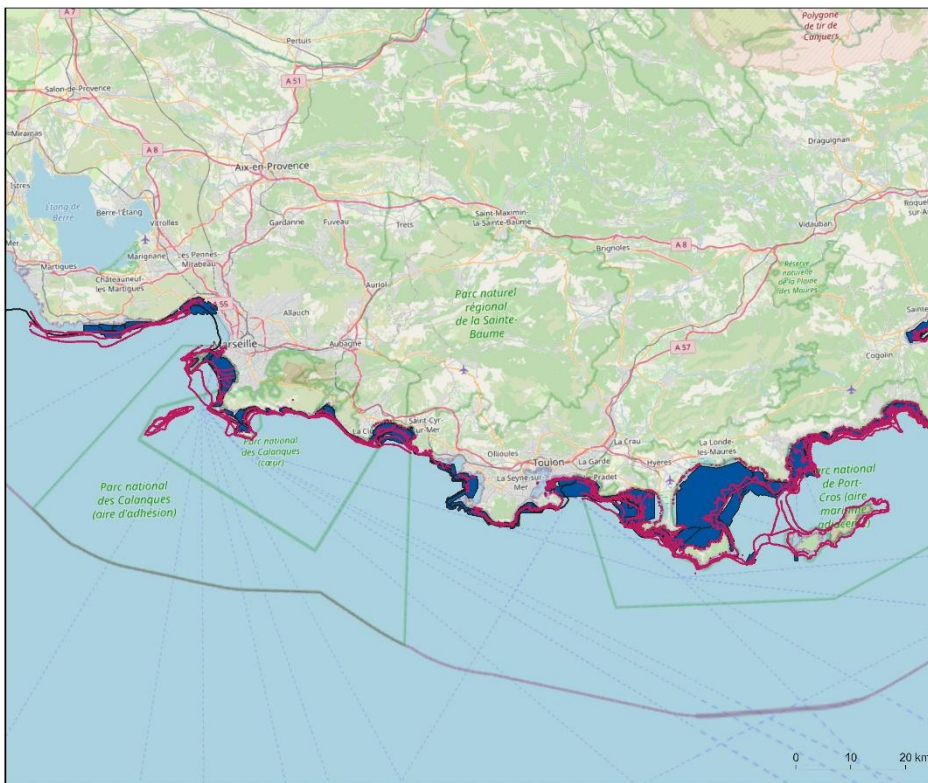
Tableau 5 : Données historiques et récentes ayant servi au recensement des frayères à *Spicara sp.* en Occitanie et région Sud.

Source des données	Harmelin	SURFSTAT	RECOR (Andromède / AERMC)	TEMPO (Andromède / AERMC)	IPOCOM (Andromède / Université de Montpellier)	CAREMAERL (Andromède / OFB)
Année	1970, 1971, 1973, 1997, 2000	de 2013 à 2025	de 2010 à 2025	de 2011 à 2025	2024	2025
Méthode d'observation	Plongée sous-marine	Sonar latéral, plongée sous-marine	Plongée sous-marine	Plongée sous-marine	Traineau d'échantillonnage (caméra + sonar)	Traineau d'échantillonnage (caméra + sonar)

L'emprise des données acoustiques et la localisation des observations directes *in situ* (plongée, points caméra ou caméra tractée) ayant servi à cette synthèse sont présentées sur les cartes suivantes.



SURFSTAT 2024-2025 - Présence potentielle de frayères à Spicara sp. Synthèse des données existantes - REGION SUD OUEST



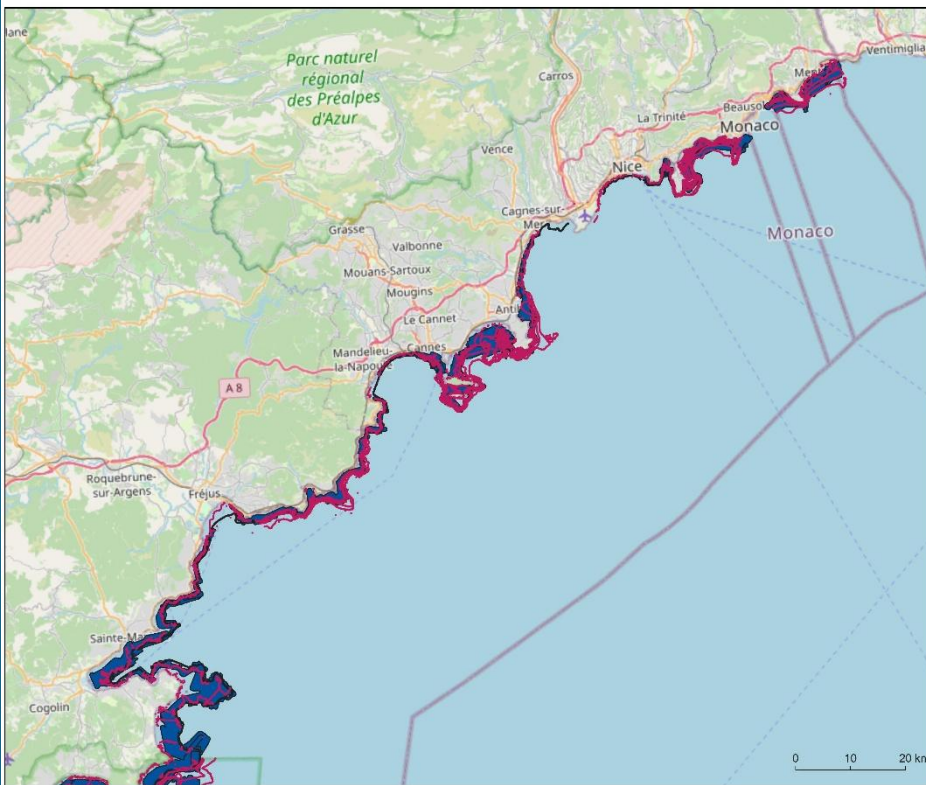
Légende

- Observations in situ (plongée, caméra)
- Données sonar existantes

EDITEE LE : 20 / 5 / 2026
Sources des données :
- Source des données : Andromède Océanologie
- Fond de carte : OpenStreetMap
Système de coordonnées : EPSG:2154



SURFSTAT 2024-2025 - Présence potentielle de frayères à Spicara sp. Synthèse des données existantes - REGION SUD EST



Légende

- Observations in situ (plongée, caméra)
- Données sonar existantes

EDITEE LE : 20 / 5 / 2026
Sources des données :
- Source des données : Andromède Océanologie
- Fond de carte : OpenStreetMap
Système de coordonnées : EPSG:2154



III. Résultats

III.A. Actualisation de la cartographie et analyse du paysage en Occitanie

Les résultats sont présentés dans ce rapport pour chacune **des 4 masses d'eau en Occitanie contenant les 9 secteurs actualisés** grâce aux nouvelles données sonar, aux données bathymétriques historiques (Modèles Numériques de Terrain) et aux vérités-terrain. Pour chaque masse d'eau et/ou secteur actualisé sont présentés les éléments suivants :

Couvertures sonar, bathymétrie et localisation des observations terrain

Les **levés au sonar latéral** (données acquises en novembre 2023 et mai 2024), les **données bathymétriques historiques** provenant de plusieurs sources (Litto3D, SURFSTAT, AERMC...) et les **observations sous-marines** (données acquises en mai et août 2025) sont présentés sur trois cartes.

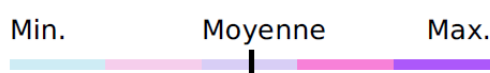
Cartographies des biocénoses marines

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. Des exports illustrant **l'évolution de la cartographie** (comparaison avant/après actualisation) et un texte descriptif complètent cette carte.

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 de -40 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 20 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 de la manière suivante :

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

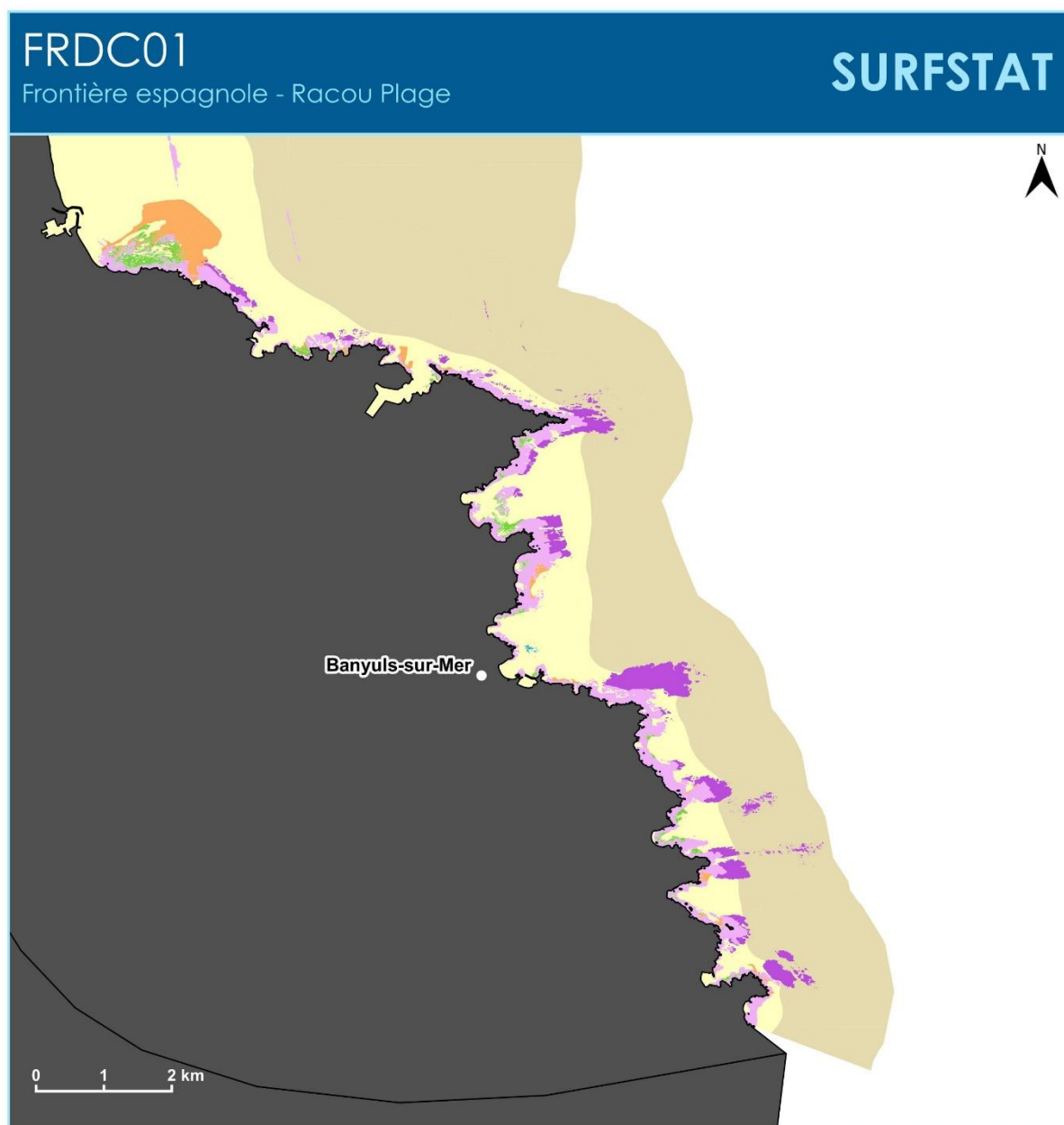
*Surface issue de la cartographie continue des biocénoses marines réalisée dans le cadre de SURFSTAT.

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 2024 et 2025 étaient auparavant des zones d'herbier.

Cet indice fait l'objet d'une représentation cartographique sur un pixel de 50 mètres.



III.A.1. Masse d'eau FRDC01 : Frontière espagnole -Racou Plage



FRONTIERE ESPAGNOLE - RACOU PLAGE



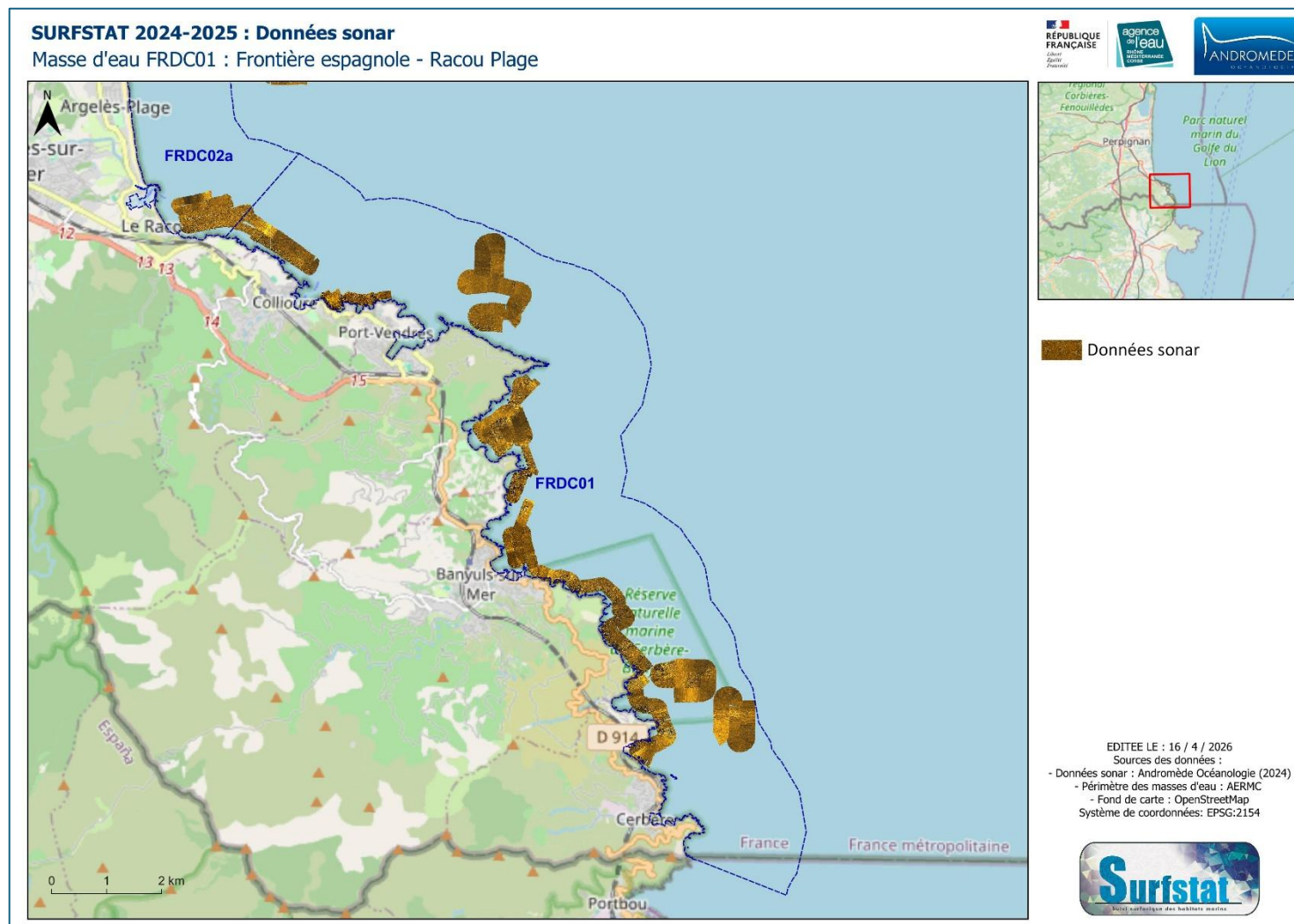
Cette carte fait partie du réseau de surveillance SURFSTAT et du projet DONIA Expert. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin : <https://plateforme.medtrix.fr/>

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

Avril 2026

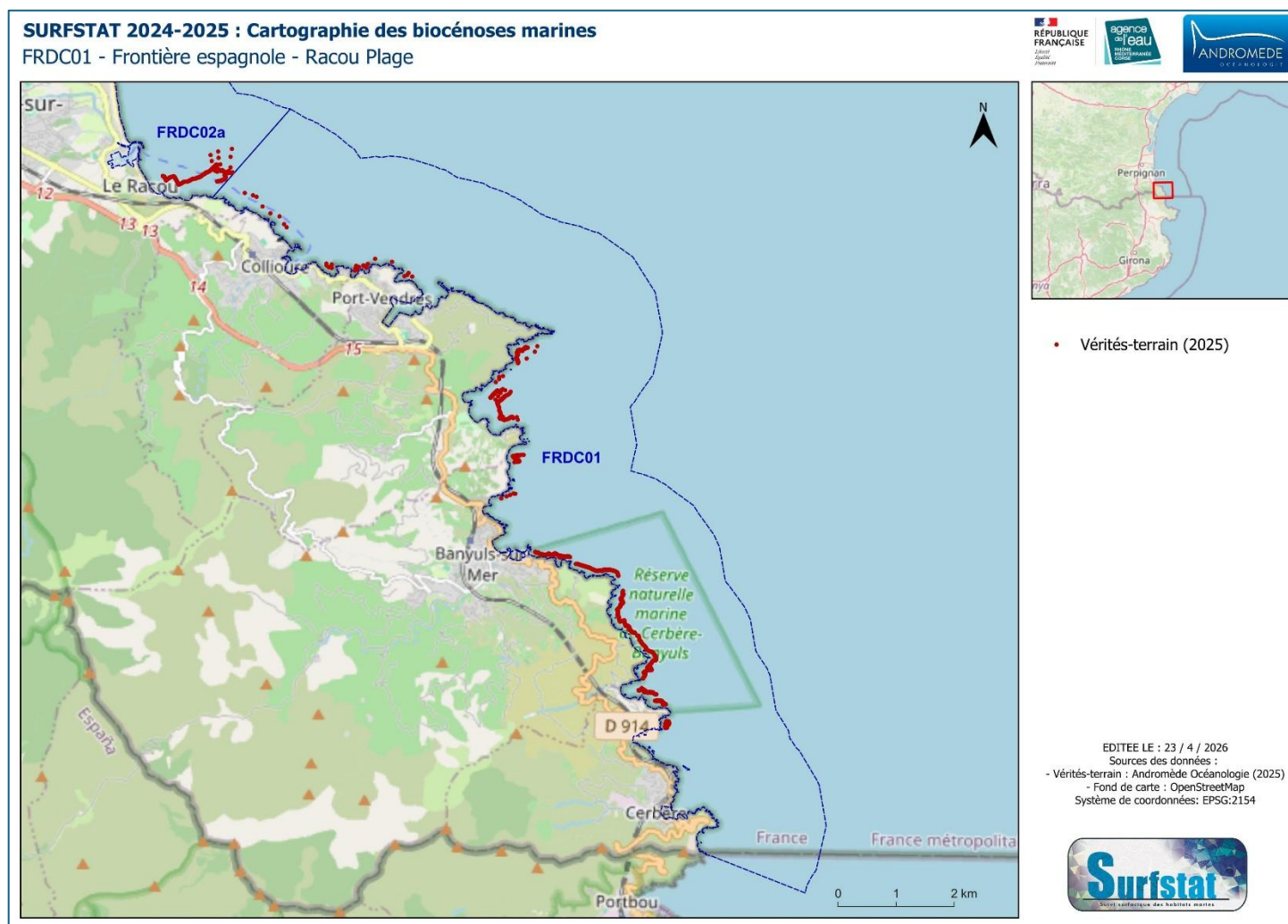
III.A.1.a. Sonar latéral

Près de 690 ha de données ont été acquises au sonar latéral dans la masse d'eau FRDC01.

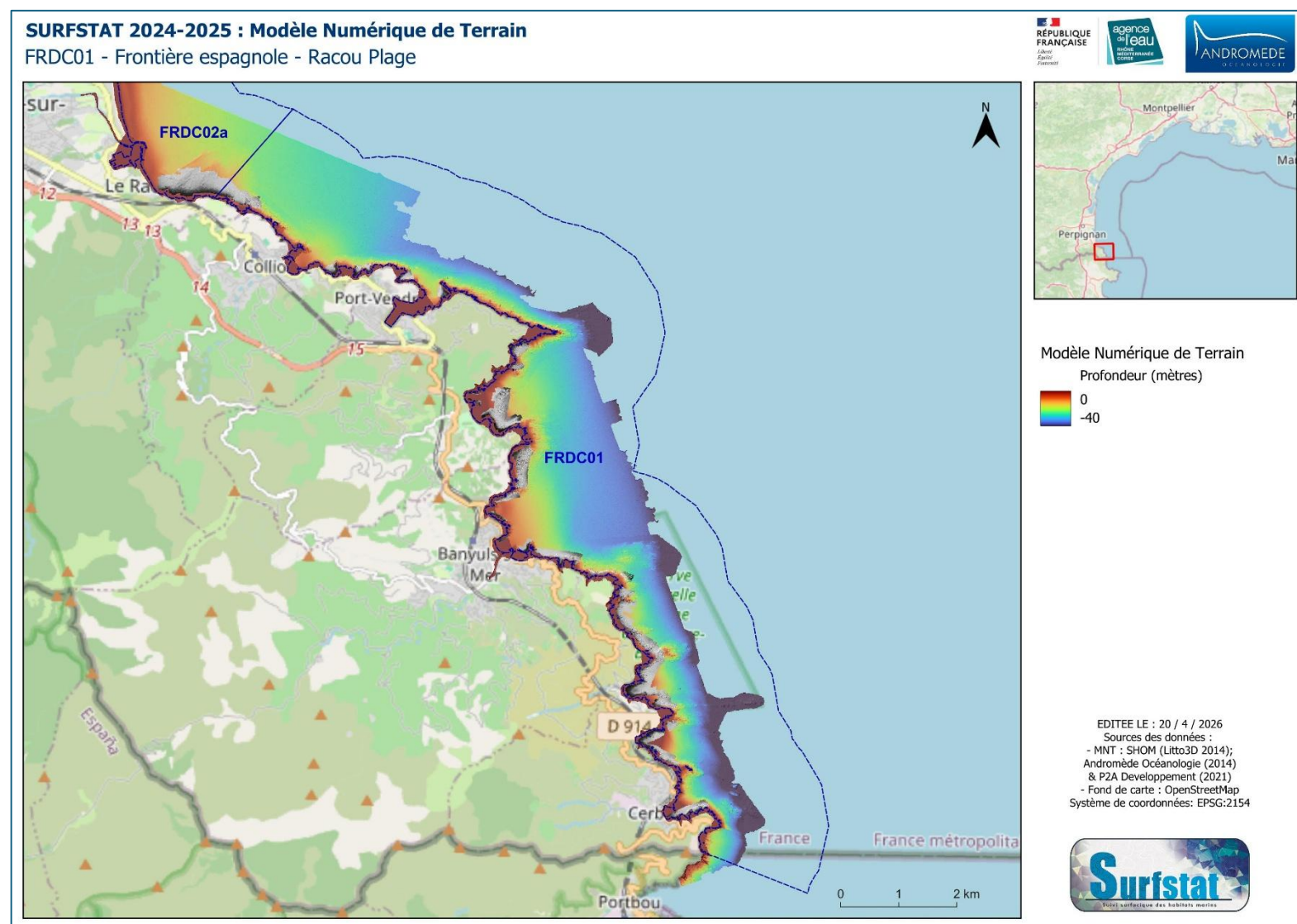


III.A.1.b. Vérités-terrain

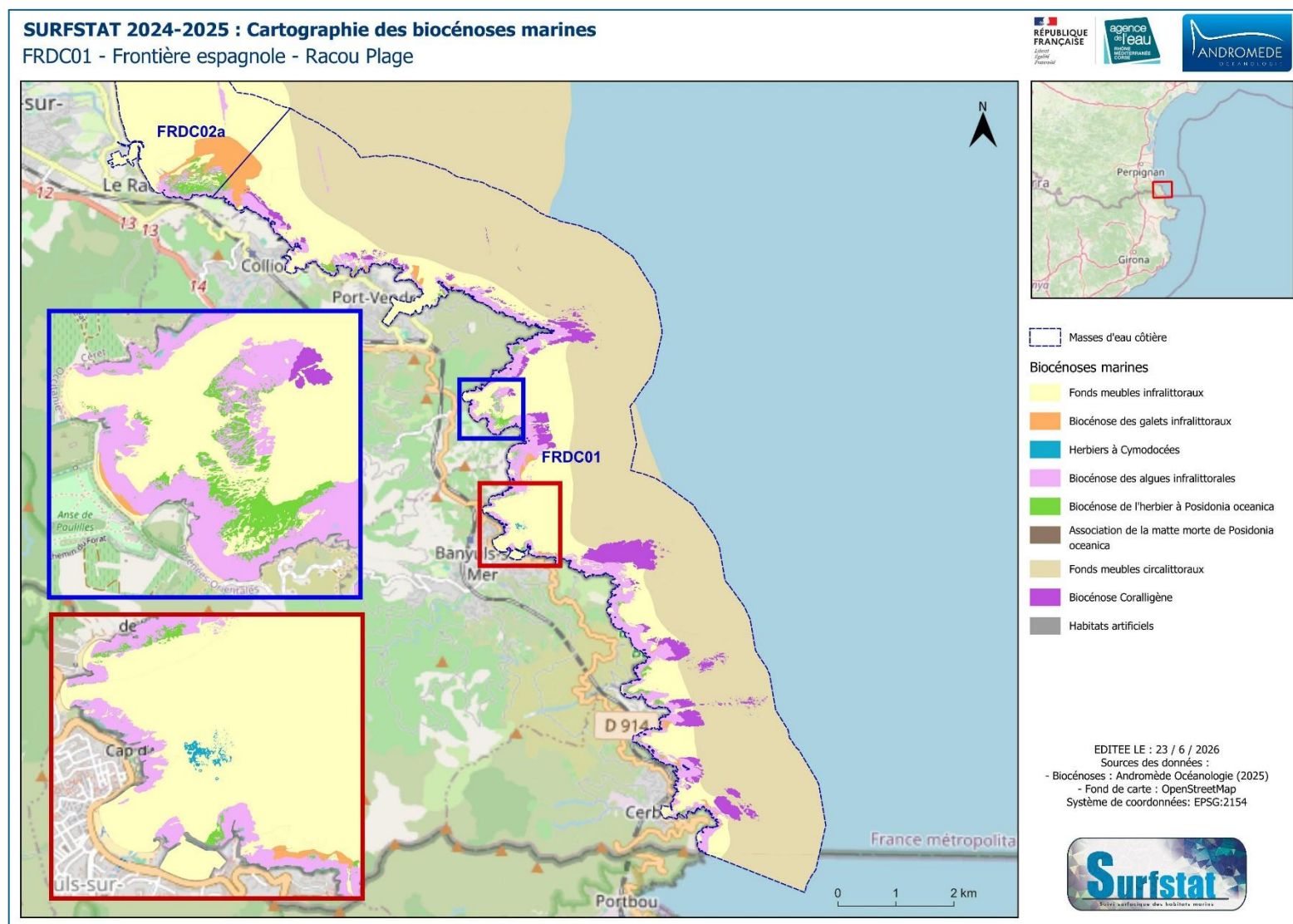
1824 observations par caméra et transects géoréférencés en plongée sous-marine ont été réalisées dans la masse d'eau FRDC01 en mai 2025.



III.A.1.c. Données bathymétriques



III.A.1.d. Cartographie des biocénoses marines





Evolution de la cartographie

La majeure partie de l'actualisation de la cartographie des biocénoses marines pour la masse d'eau FRDC01 concerne les herbiers de posidonie, les limites de la biocénose à algues infralittorales et l'ajout d'un herbier à *Cymodocea nodosa*. De nouvelles taches d'herbier de posidonie ont été observées dans le secteur de l'Anse de Terrambou au sein de la Réserve Naturelle de Cerbère-Banyuls et d'autres limites d'herbier ont été affinées (Figure 23, Figure 24 et Figure 25). A noter que **plusieurs zones de matte morte (reliefs et petites limites régressives) ont été observées en plongée sous-marine dans le secteur de l'Anse de Peyrefite** (Figure 27).

Certaines de ces modifications sont présentées ci-après ; des exports des données sonar et des observations faites en plongée ayant servi pour l'actualisation complètent les illustrations.

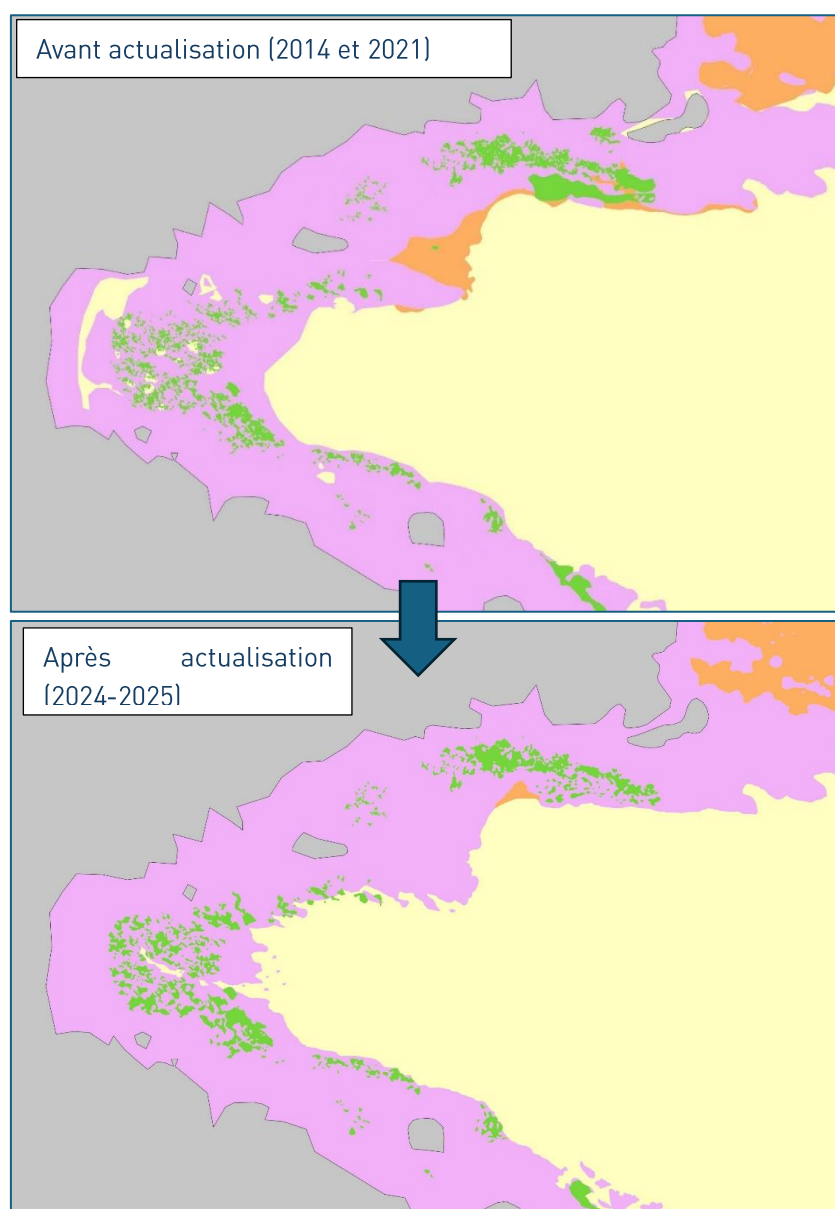


Figure 23 : Evolution de la cartographie avant (2014 et 2021) et après (2024-2025) actualisation (Anse de Terrambou). Légende : rose = roche infralittorale ; Vert = posidonie ; beige = fonds meubles infralittoraux ; orange = galets infralittoraux.



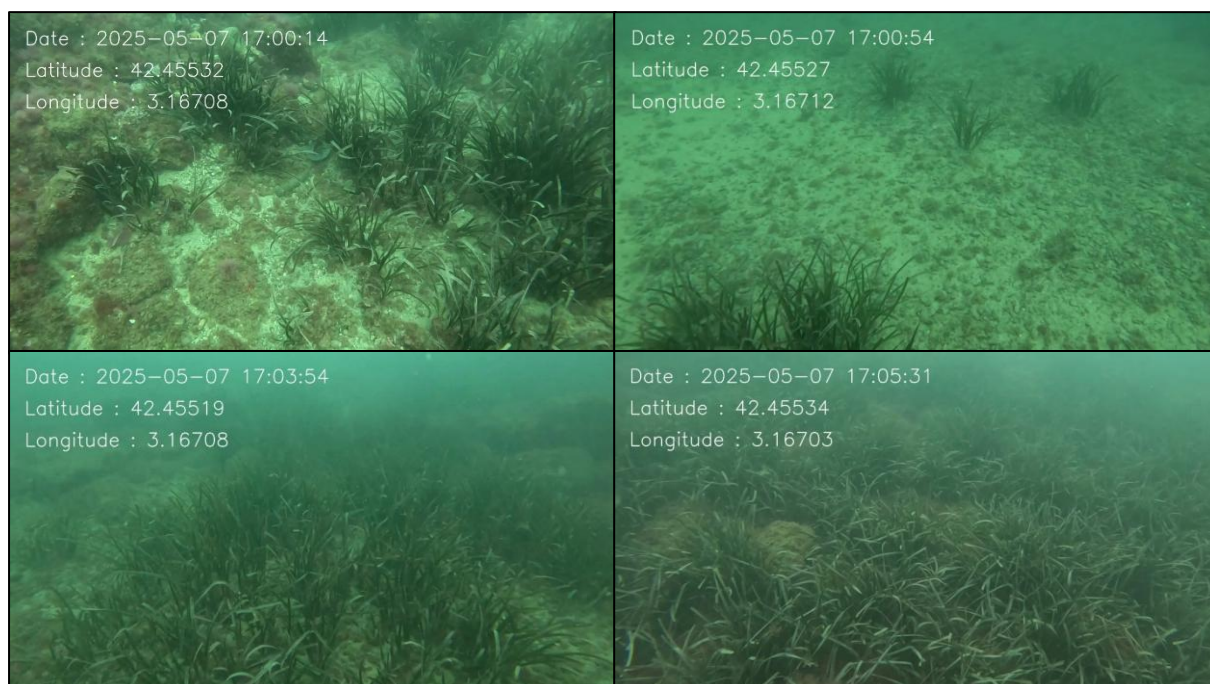
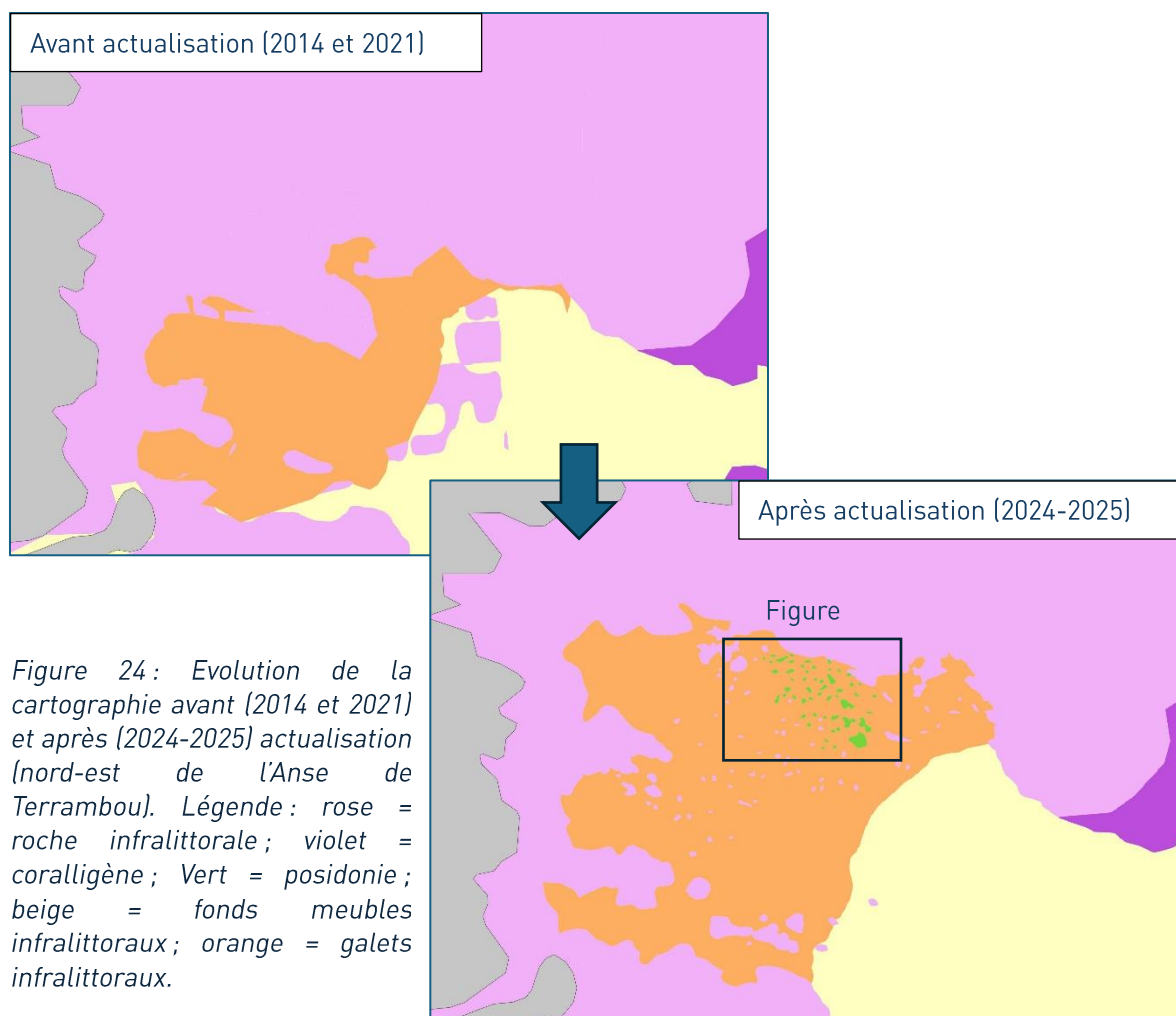


Figure 25: Exemples d'observations géoréférencées effectuées en plongée sous-marine au nord-est de l'Anse de Terrambou.

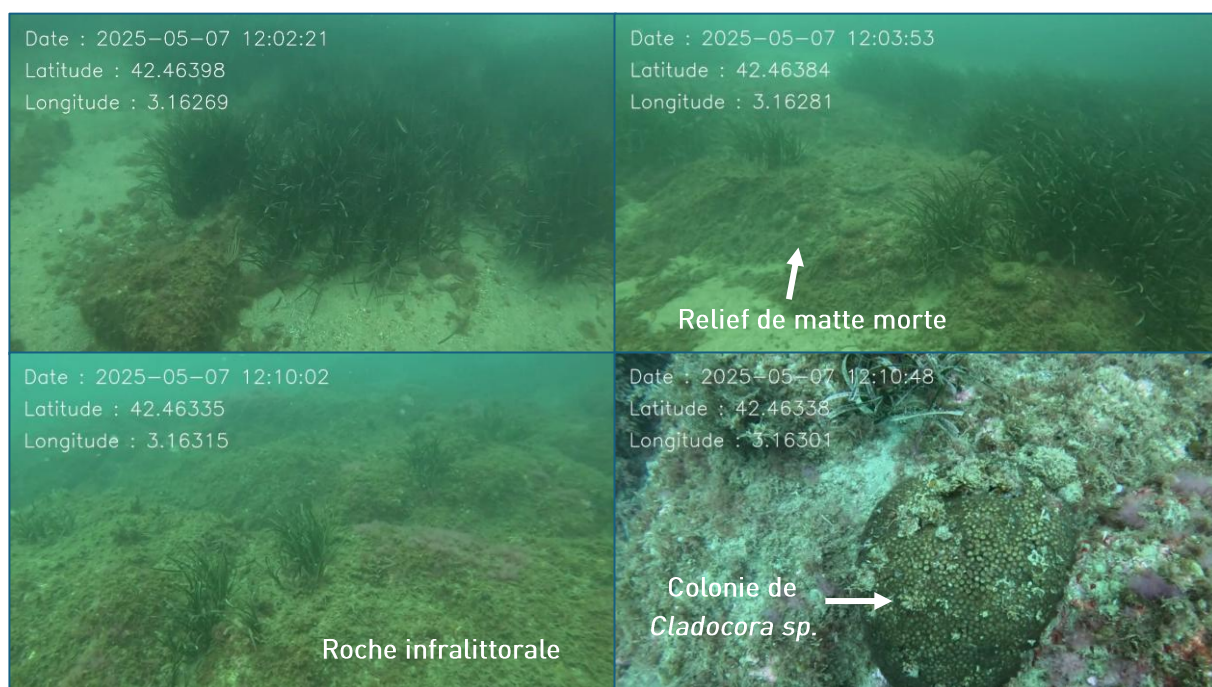
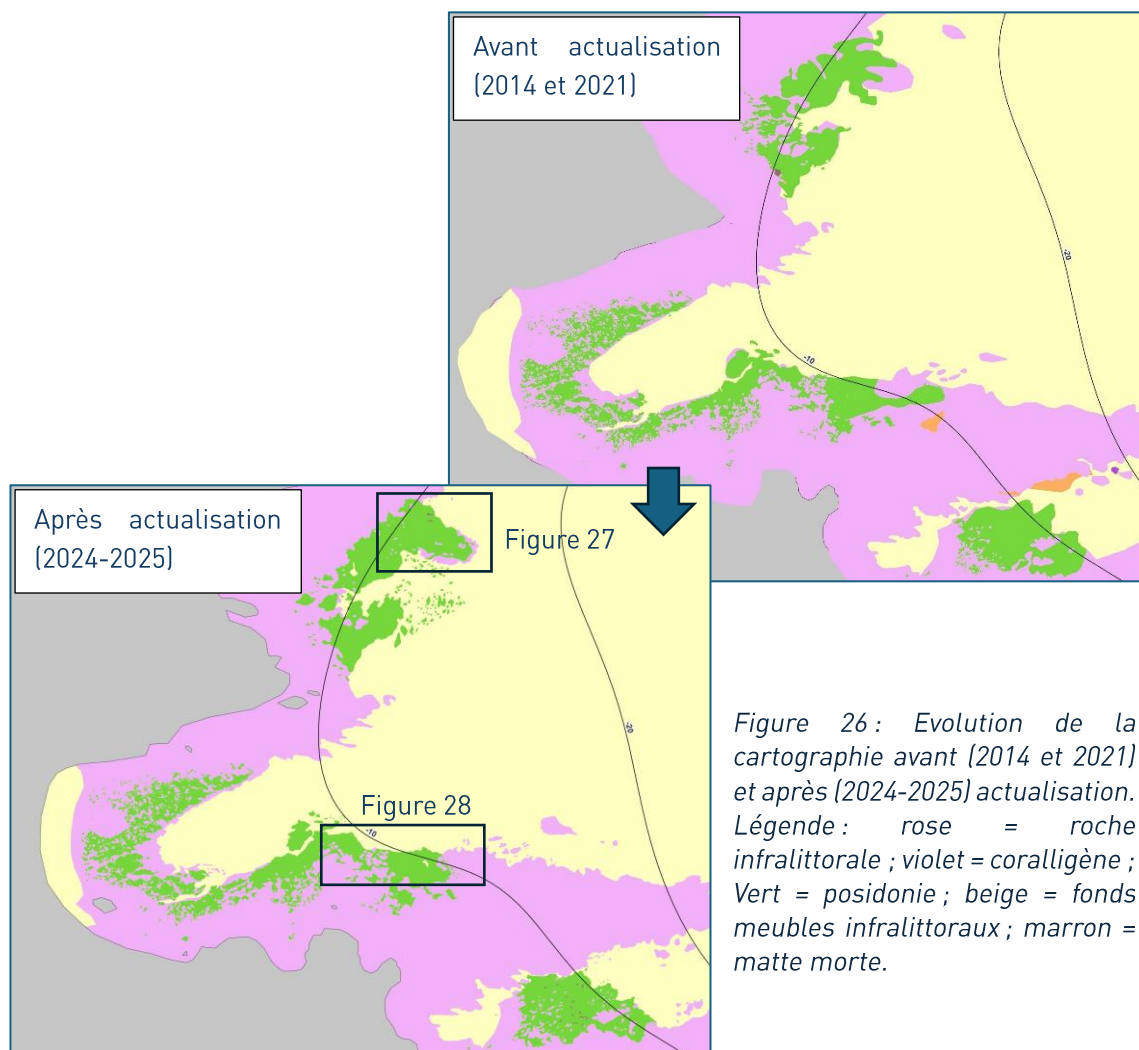


Figure 27 : Exemples d'observations géoréférencées effectuées en plongée sous-marine au nord-est de l'Anse de Peyrefite.



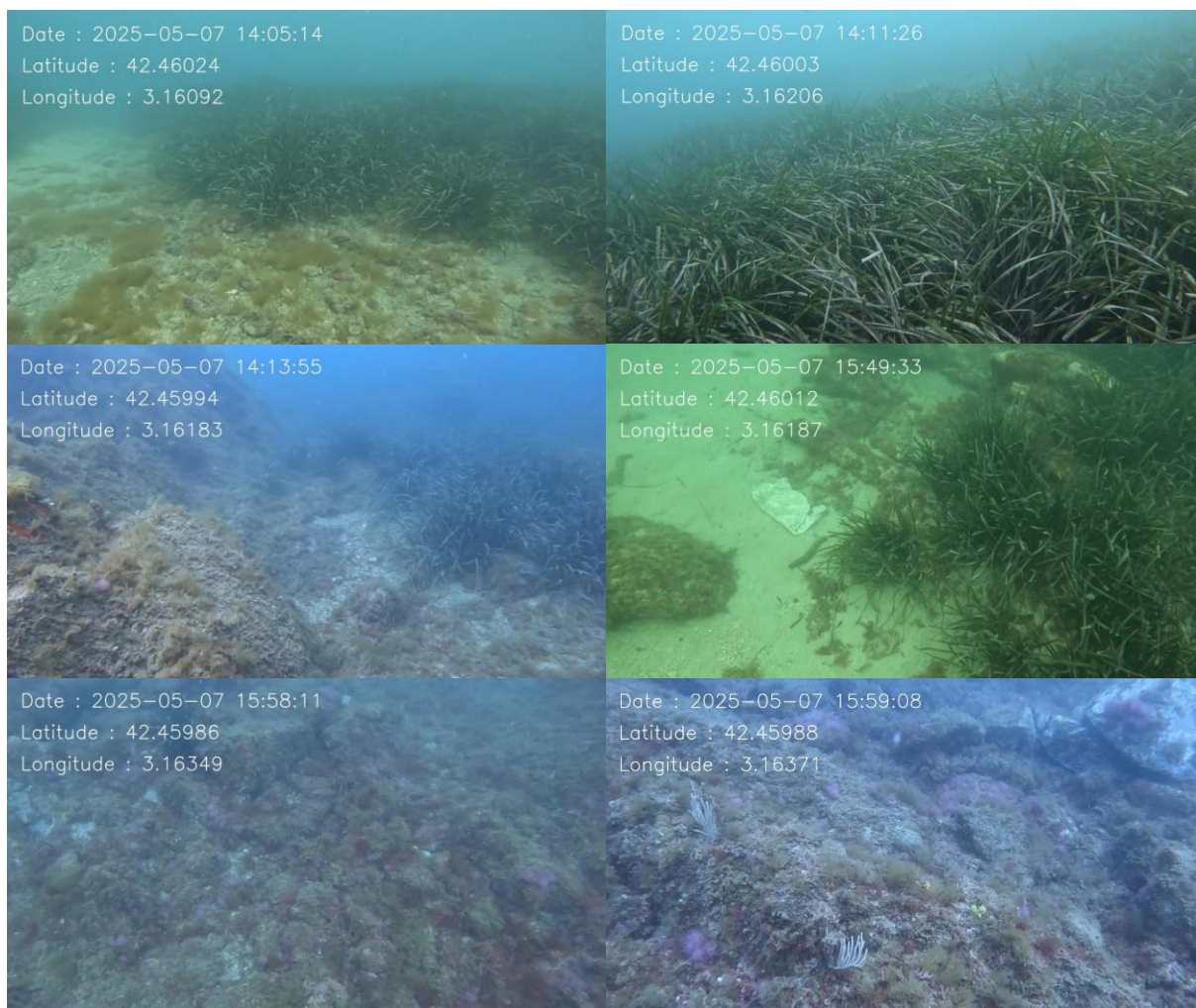


Figure 28 : Exemples d'observations géoréférencées effectuées en plongée sous-marine au sud de l'Anse de Peyrefite.

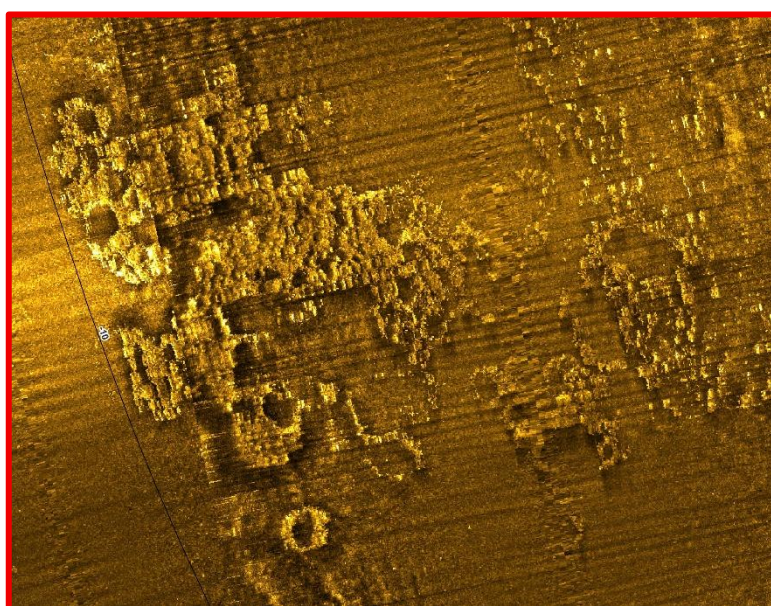
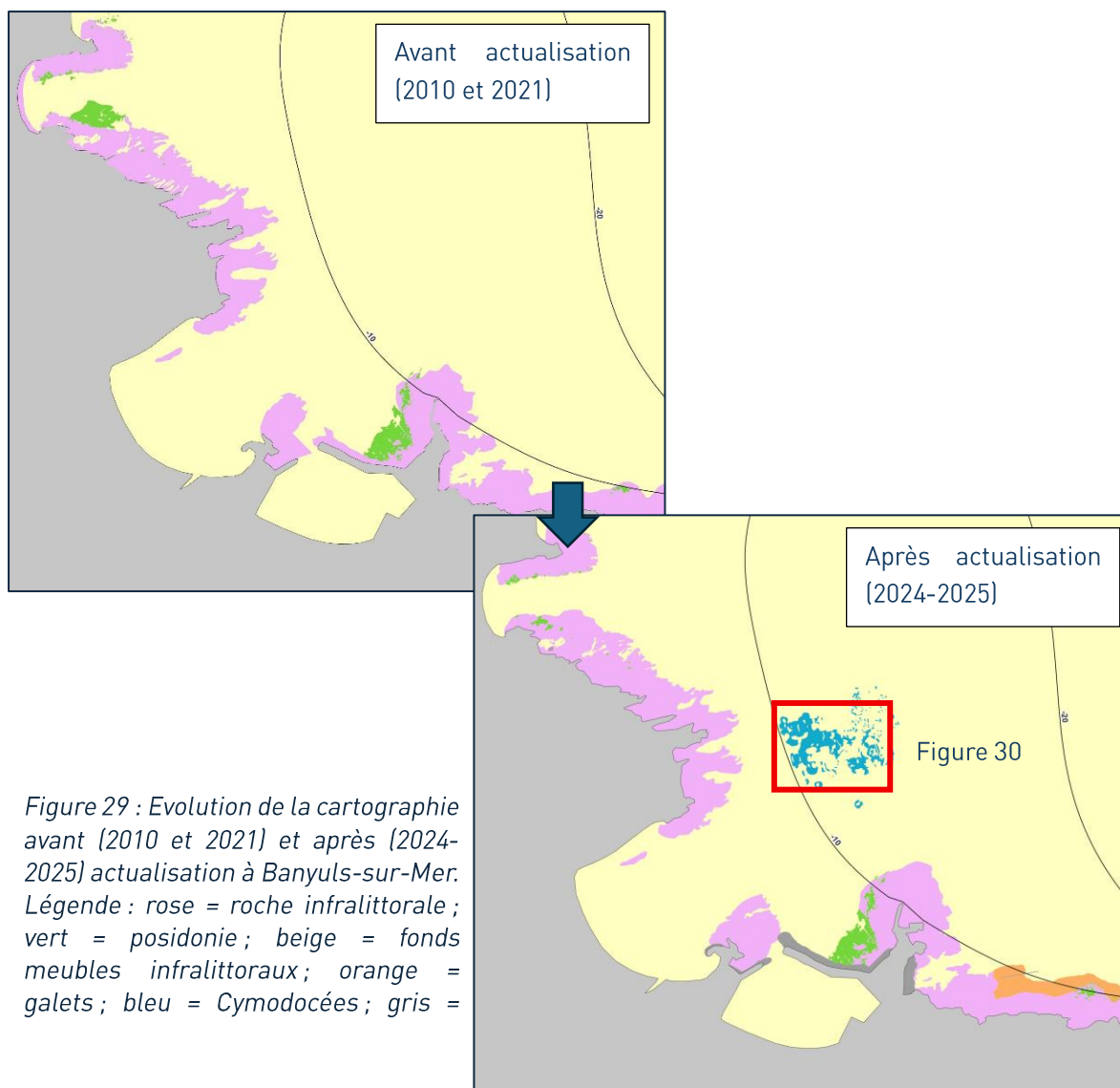
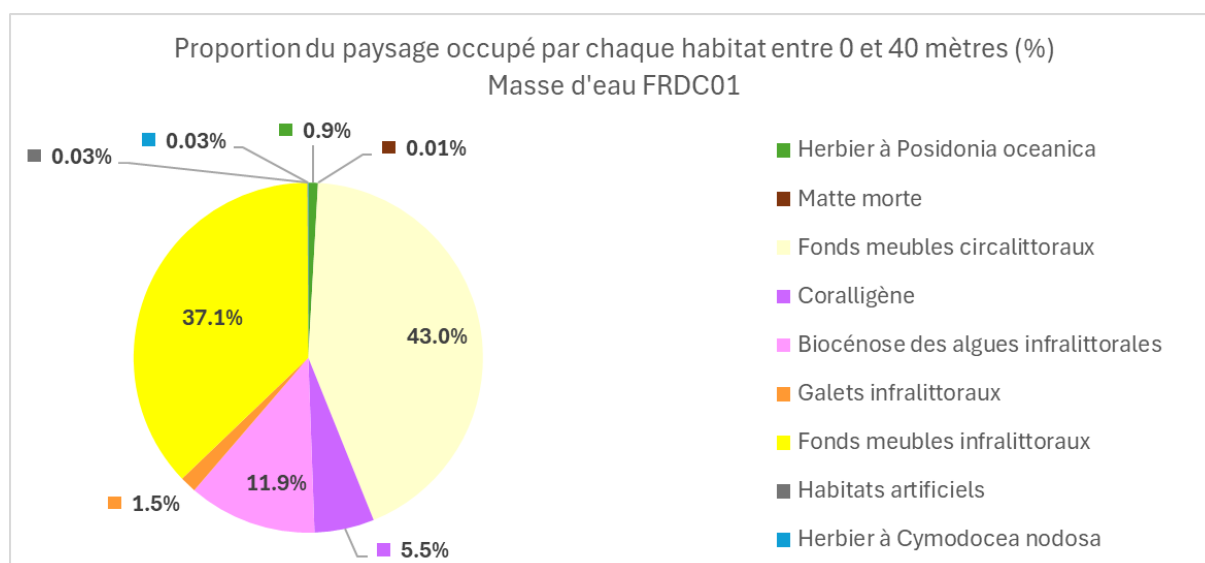


Figure 30 : Mosaïque sonar (2024) montrant la présence d'un herbier à Cymodocées au nord du port de Banyuls-sur-Mer.



III.A.1.e. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC01 « Frontière espagnole – Racou Plage » comprend **neuf** biocénoses marines entre 0 et 40 mètres de profondeur dont les trois principales (recouvrement > 10 %) sont les Fonds meubles circalittoraux (41,6%) et infralittoraux (38,5 %) et la biocénose des algues infralittorales (11,9 %). La **biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*** est toutefois présente (0,9 % soit près de 23 ha) ainsi que **l'association de la matte morte** (<0,01 % soit 575 m²).

L'analyse de la comparaison des indicateurs surfaciques pour cette masse d'eau indique que la majorité des valeurs sont **supérieures aux moyennes régionales**, dont **quatre** d'entre elles représentent les valeurs **maximales** rencontrées en Occitanie (nombre d'habitats, densité de taches, densité d'habitats dans le paysage et diversité des habitats).

La masse d'eau FRDC01 présente une **diversité paysagère élevée** (valeur maximale) à l'échelle régionale.

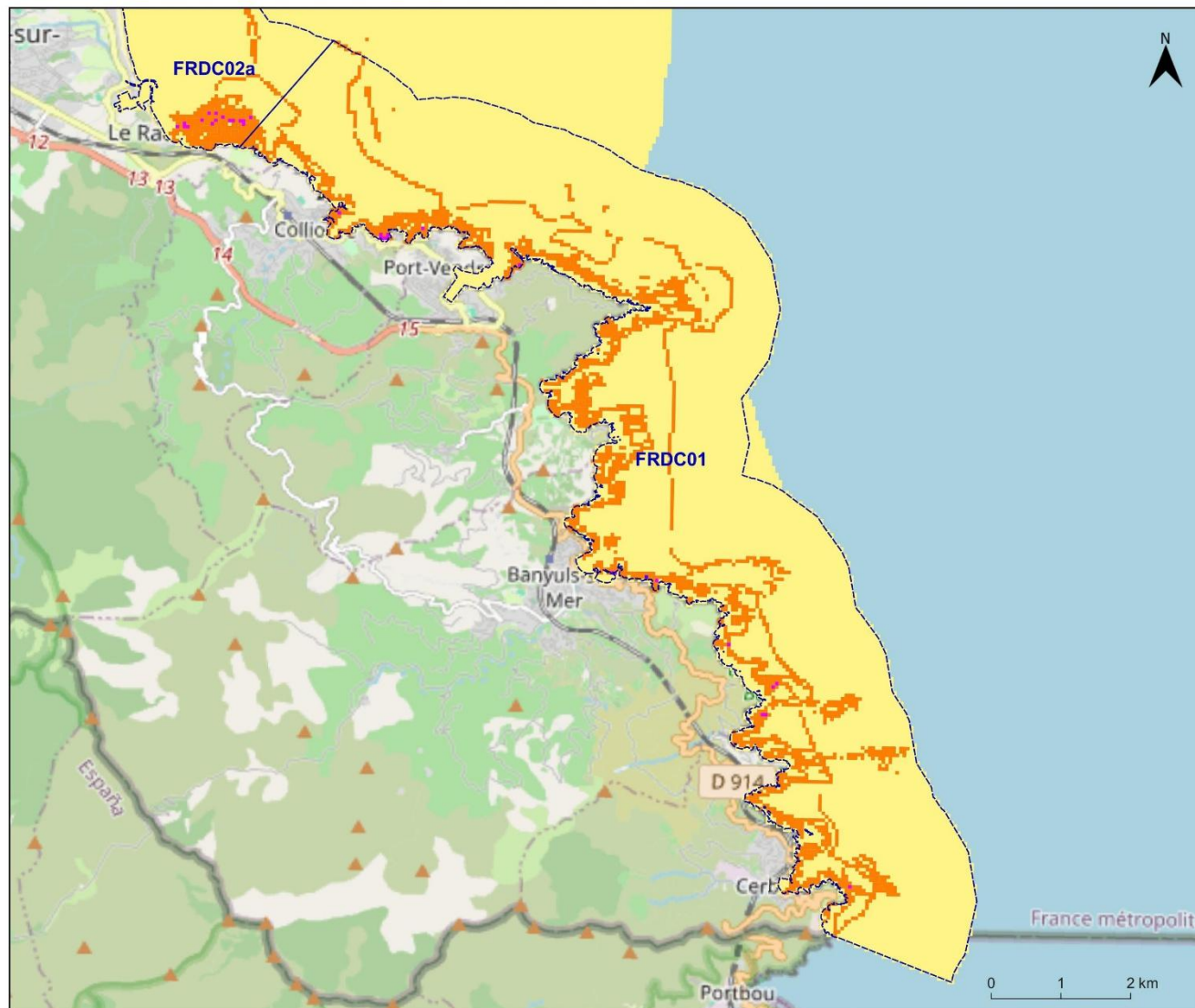
Cet indice est présenté sur la page suivante.

Tableau 6 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC01

Région	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende	
Masse d'eau	FRDC01		
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40		
Surface du paysage (ha)	2591	2591	58984
Nombre d'habitats dans le paysage	9	5	9
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	60.25	0.61	60.25
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	24.75	24.75	79.12
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.35	0.02	0.35
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.74	0.39	0.74

SURFSTAT 2024-2025 : Indice de diversité de Simpson

FRDC01 - Frontière espagnole - Racou Plage



Indice de diversité de Simpson (pixels de 50 mètres)



EDITEE LE : 21 / 4 / 2026
Sources des données :
- Indice de Simpson : Andromède Océanologie (2025)
- Fond de carte : OpenStreetMap
Système de coordonnées: EPSG:2154



L'herbier occupe 3,4 % du paysage entre 0 et 20 mètres de fond. Ce taux de recouvrement est **le plus élevé** sur l'ensemble des masses d'eau côtières en Occitanie.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières occitaniennes, l'herbier de Posidonie de la masse d'eau FRDC01 se caractérise par un **nombre de taches élevé** (valeur maximale), de taille moyenne et moyennement proches les unes des autres.

La valeur de l'**indice de fragmentation** est pratiquement égale à 1. A noter que cette valeur est la même pour une grande partie des masses d'eau occitaniennes ; cela s'explique par le fait que cet habitat est très peu rencontré en Occitanie et donc que la probabilité que deux pixels d'une même masse d'eau (d'une surface de plusieurs milliers d'hectares) de la classe « posidonie » appartiennent à la même tache est très faible. Cette valeur de fragmentation ne sous-entend toutefois pas que les herbiers de posidonie sont dégradés localement.

L'**indice d'agrégation** (fréquence avec laquelle des paires des pixels d'une même classe sont adjacentes) pour cette masse d'eau est **proche de la valeur maximale**, ce qui signifie que les herbiers de posidonie présents dans cette masse d'eau sont autant formés de petites taches que de grandes taches continues.

L'**indice de régression** de la masse d'eau FRDC01 est pratiquement **nul**. Cela s'explique par la très faible proportion de matte morte cartographiée entre 0 et -20 mètres pour cette masse d'eau (<0,01 %).

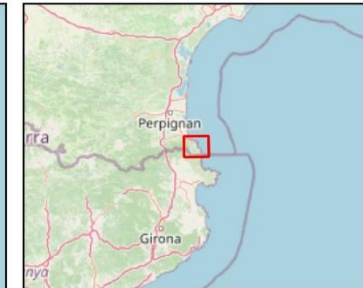
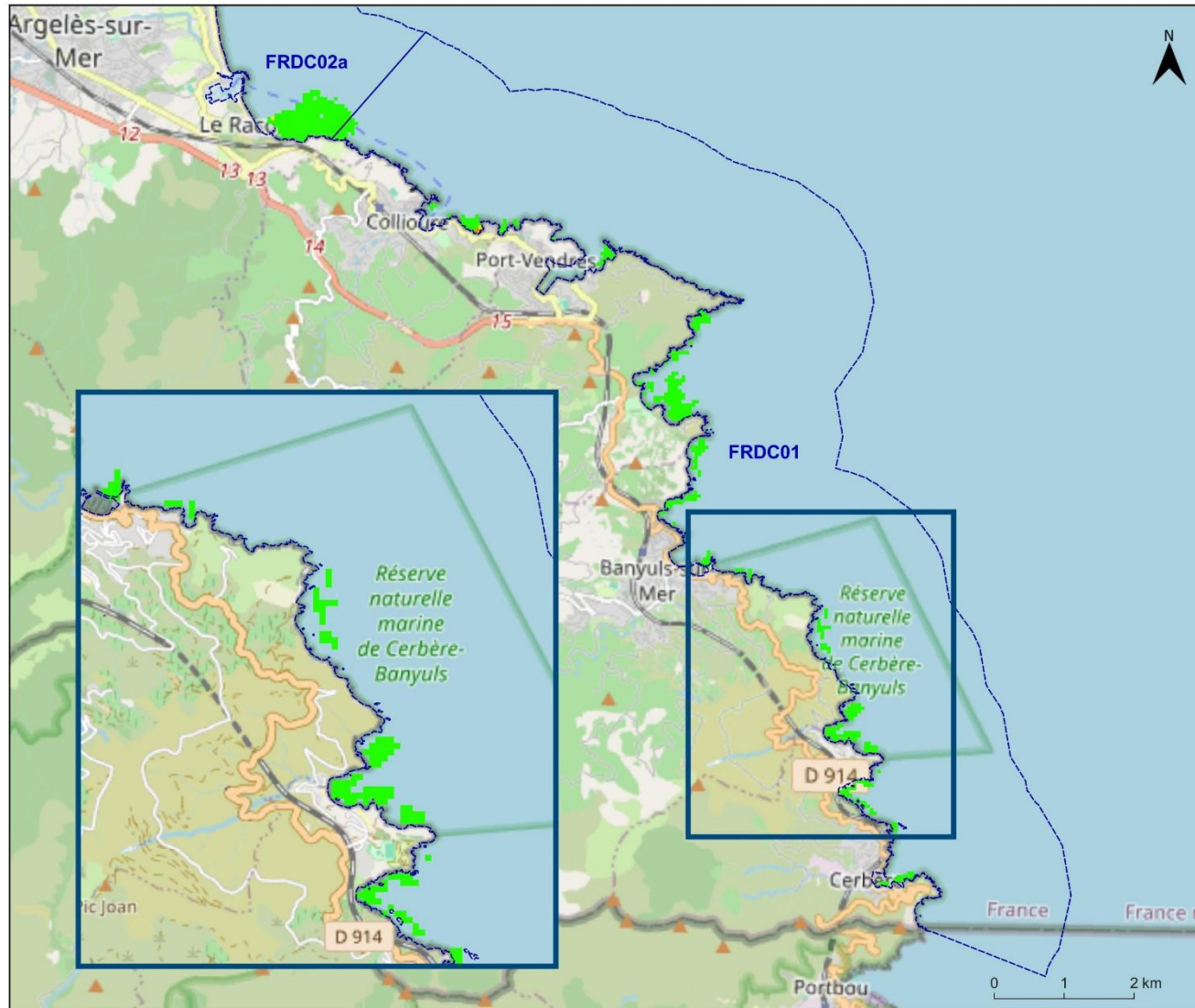
Cet indice est représenté sur un pixel de 50 mètres en page suivante.

Tableau 7 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 20 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC01.

Région	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende	
Masse d'eau	FRDC01		
Tranche bathymétrique (mètres)	0-20		
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	3.43	0	3.43
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	81.38	0.11	81.38
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	0.61	0	0.61
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.04	0	0.11
Indice de complexité des formes	1.07	1	1.08
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	7.56	6.51	9.11
Indice de fragmentation de l'herbier	0.99	0.99	1
Indice d'agrégation entre les taches (%)	50.75	0	59.88
Indice de régression de l'herbier	0.01	0	0.95

SURFSTAT 2024-2025 : Indice de régression

FRDC01 - Frontière espagnole - Racou Plage



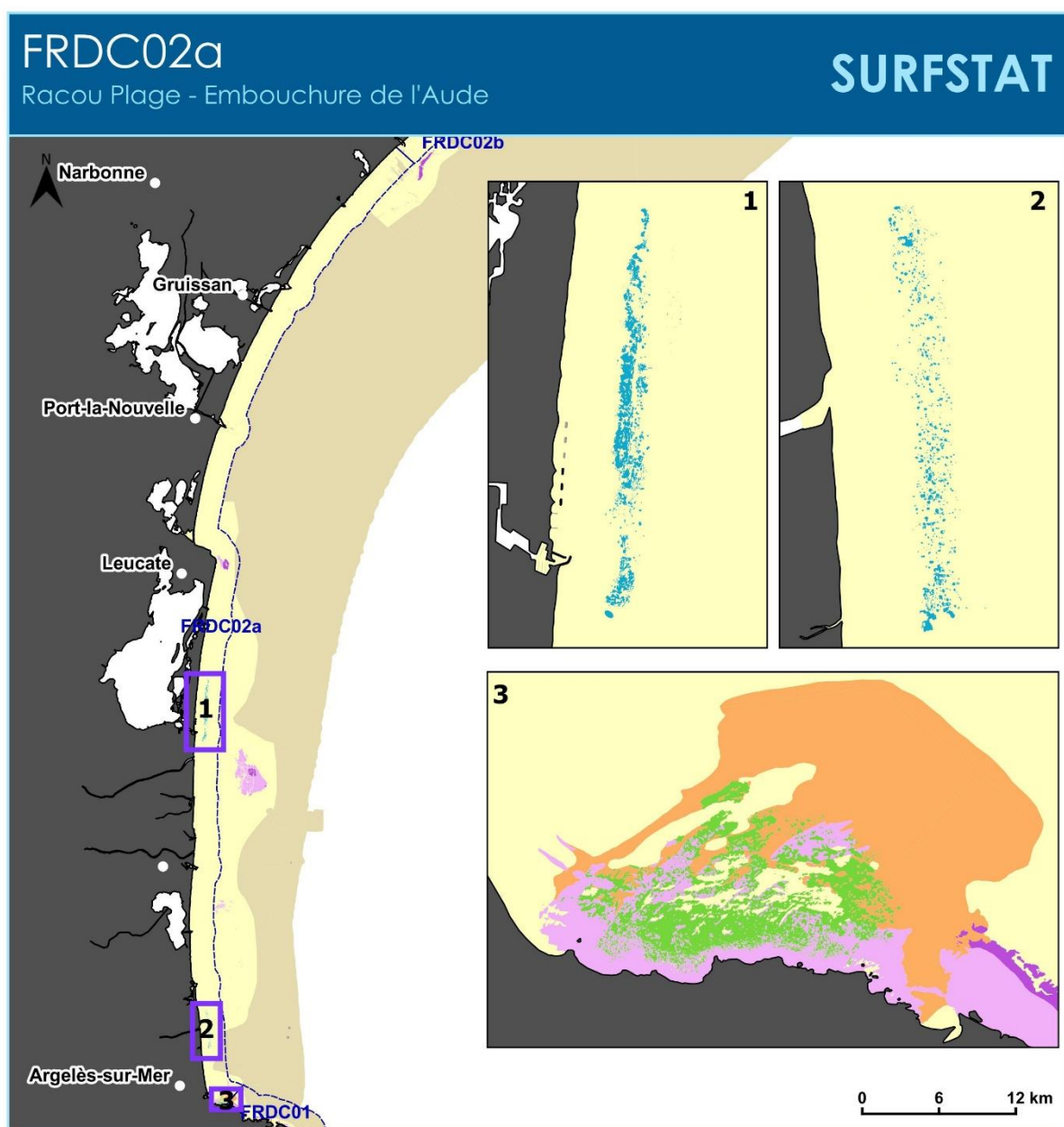
Indice de régression (pixels de 50 mètres)



EDITEE LE : 21 / 04 / 2026
 Sources des données :
 - Indice de régression : Andromède Océanologie (2025)
 - Fond de carte : OpenStreetMap
 Système de coordonnées: EPSG:2154



III.A.2. Masse d'eau FRDC02a : Racou Plage – Embouchure de l'Aude



RACOU PLAGE - EMBOUCHURE DE L'AUDE



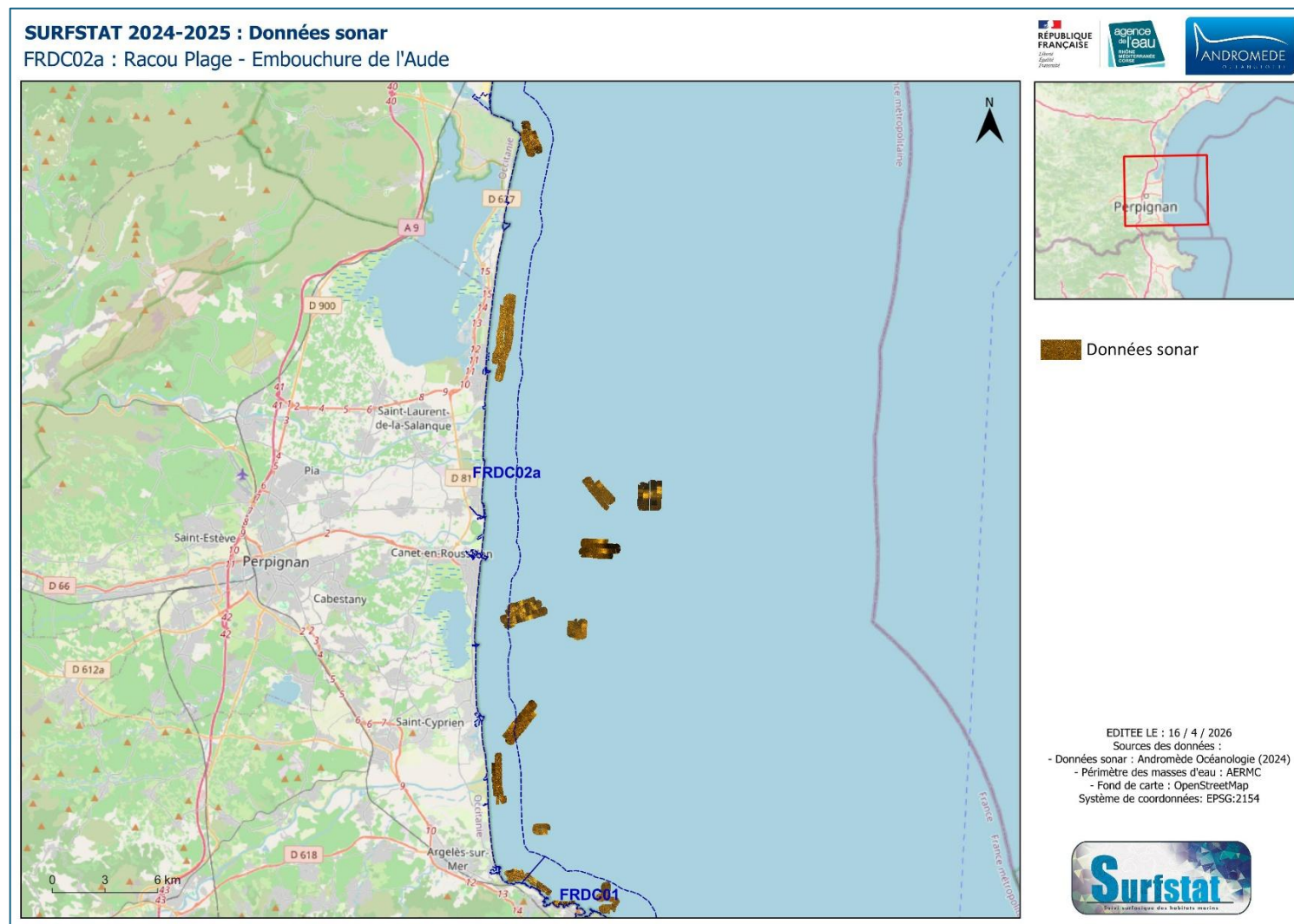
Cette carte fait partie du réseau de surveillance SURFSTAT et du projet DONIA Expert. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin : <https://plateforme.medtrix.fr/>

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

Avril 2026

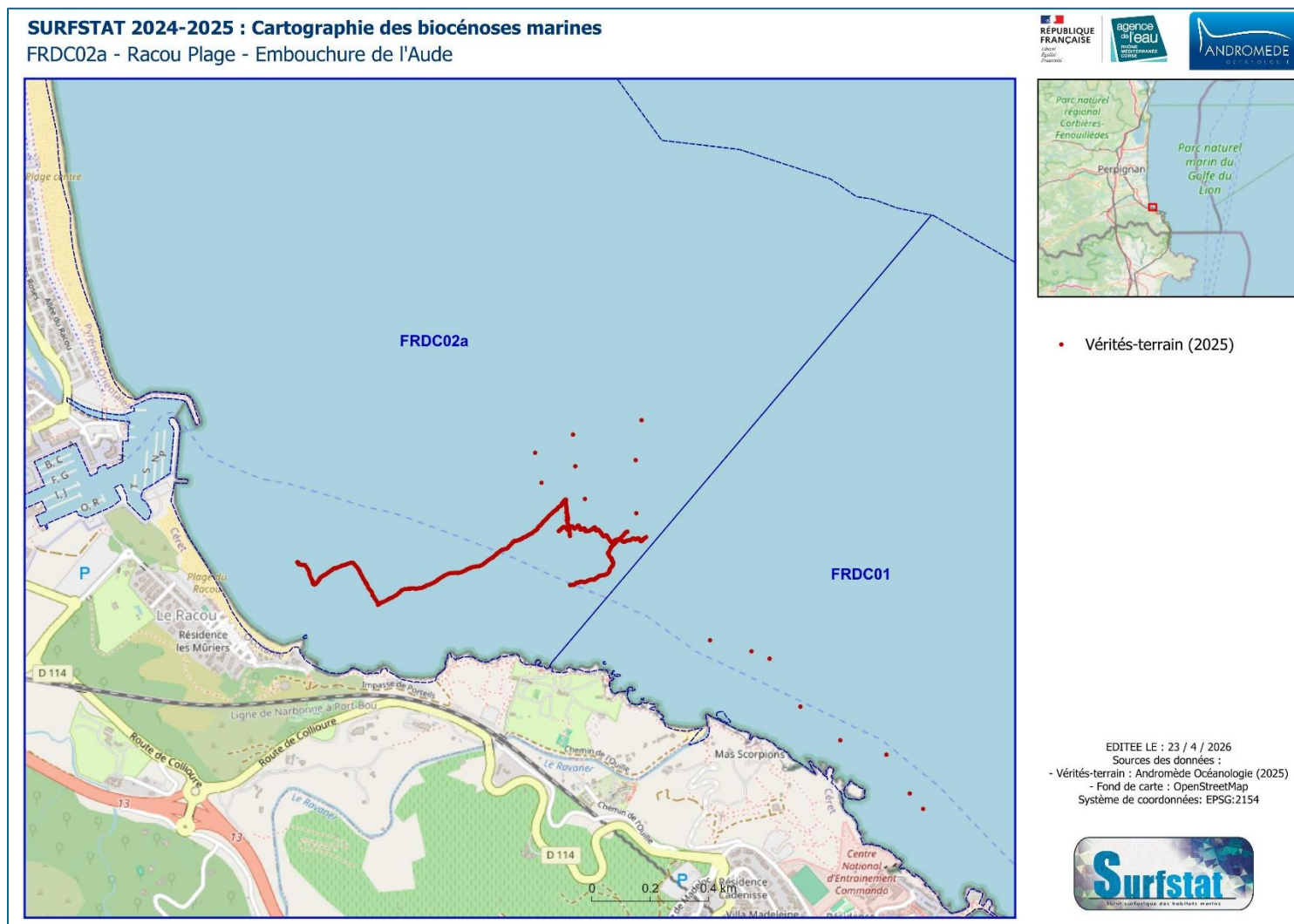
III.A.2.a. Sonar latéral

Près de 2000 ha de données ont été acquises au sonar latéral dans le périmètre élargi de la masse d'eau FRDC02a.

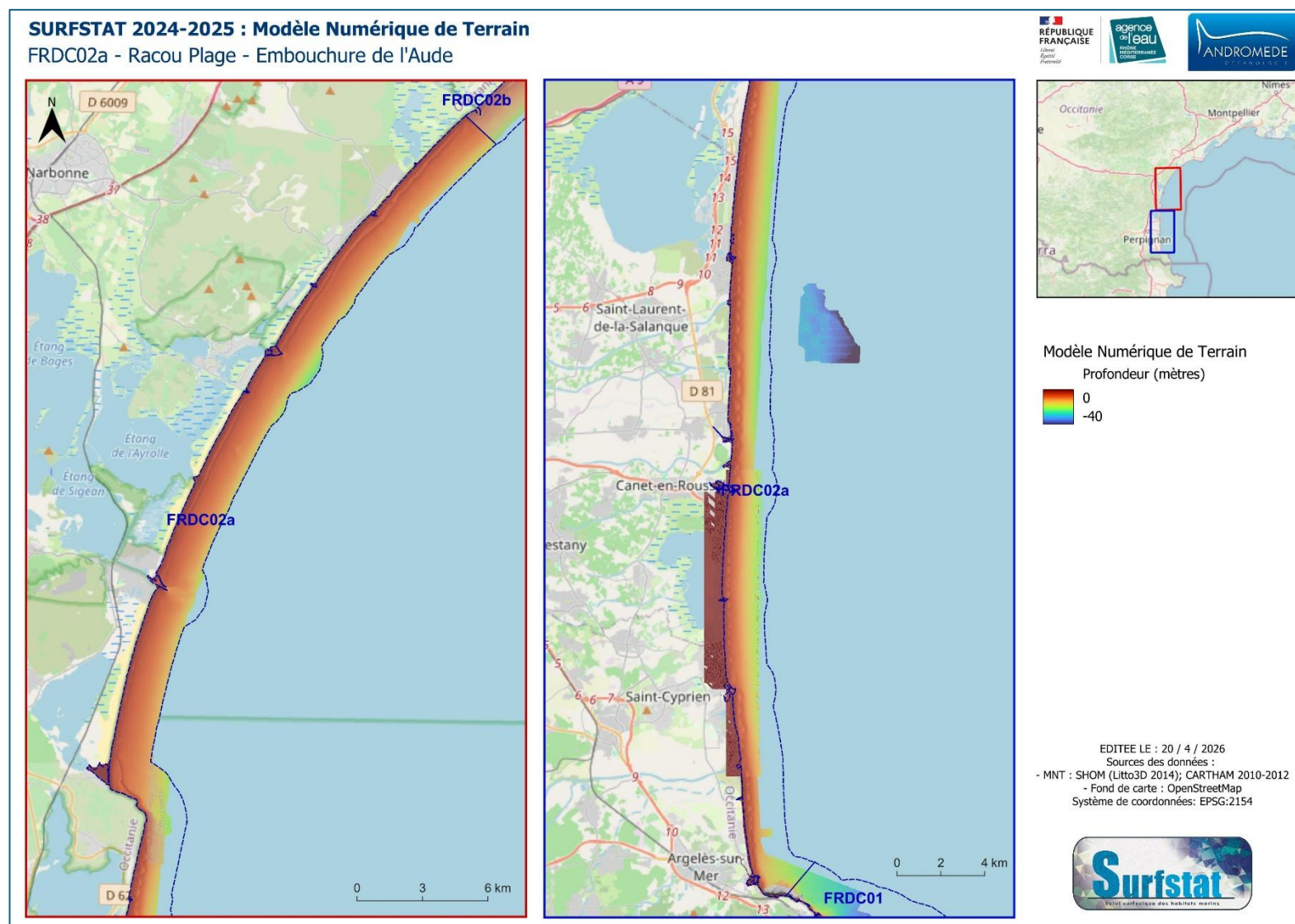


III.A.2.b. Vérités-terrain

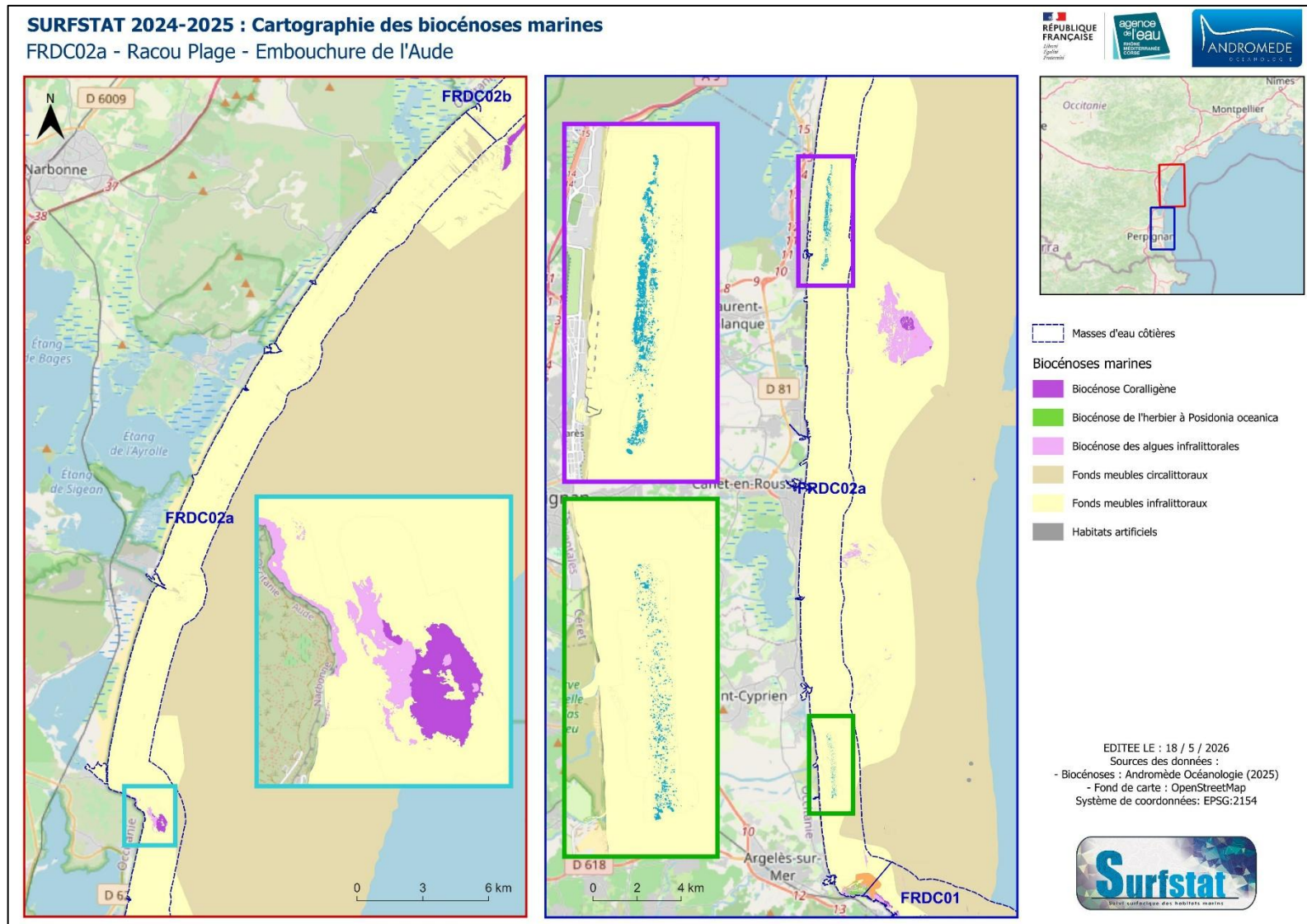
530 observations par caméra et transects géoréférencés en plongée sous-marine ont été réalisées dans la masse d'eau FRDC02a en mai 2025.



III.A.2.c. Données bathymétriques



III.A.2.d. Cartographie des biocénoses marines





Evolution de la cartographie

L'actualisation de la cartographie des biocénoses pour la masse d'eau FRDC02a concerne principalement **quatre secteurs** proches de la côte dont le Cap Leucate (biocénose des algues infralittorales et du coralligène), Port Leucate - Le Barcarès et l'embouchure du Tech (ajout d'herbiers à Cymodocées), et le Racou (actualisation de l'herbier de posidonie et des fonds meubles). D'autres secteurs au large ont été prospectés au sonar afin d'affiner la cartographie qui datait du programme CARTHAM (2010-2012). Des exports de cette actualisation et des observations effectuées en plongée sont présentés ci-après.

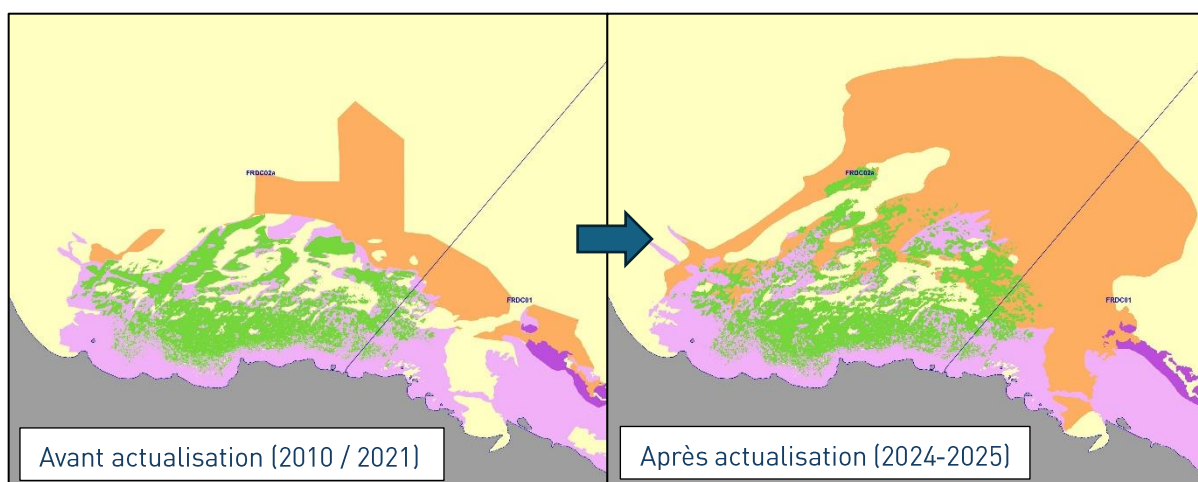


Figure 31 : Evolution de la cartographie avant (2010 et 2021) et après (2024-2025) actualisation. Légende : rose = roche infralittorale ; Vert = posidonie ; beige = fonds meubles infralittoraux ; orange = galets infralittoraux.



Figure 32 : Exemples d'observations effectuées en plongée sous-marine (transect géoréférencé) dans le secteur du Racou.



Les herbiers à Cymodocées cartographiés à partir des données sonar acquises en mai 2024 représentent une surface totale d'environ 55 ha (voir illustrations ci-dessous).

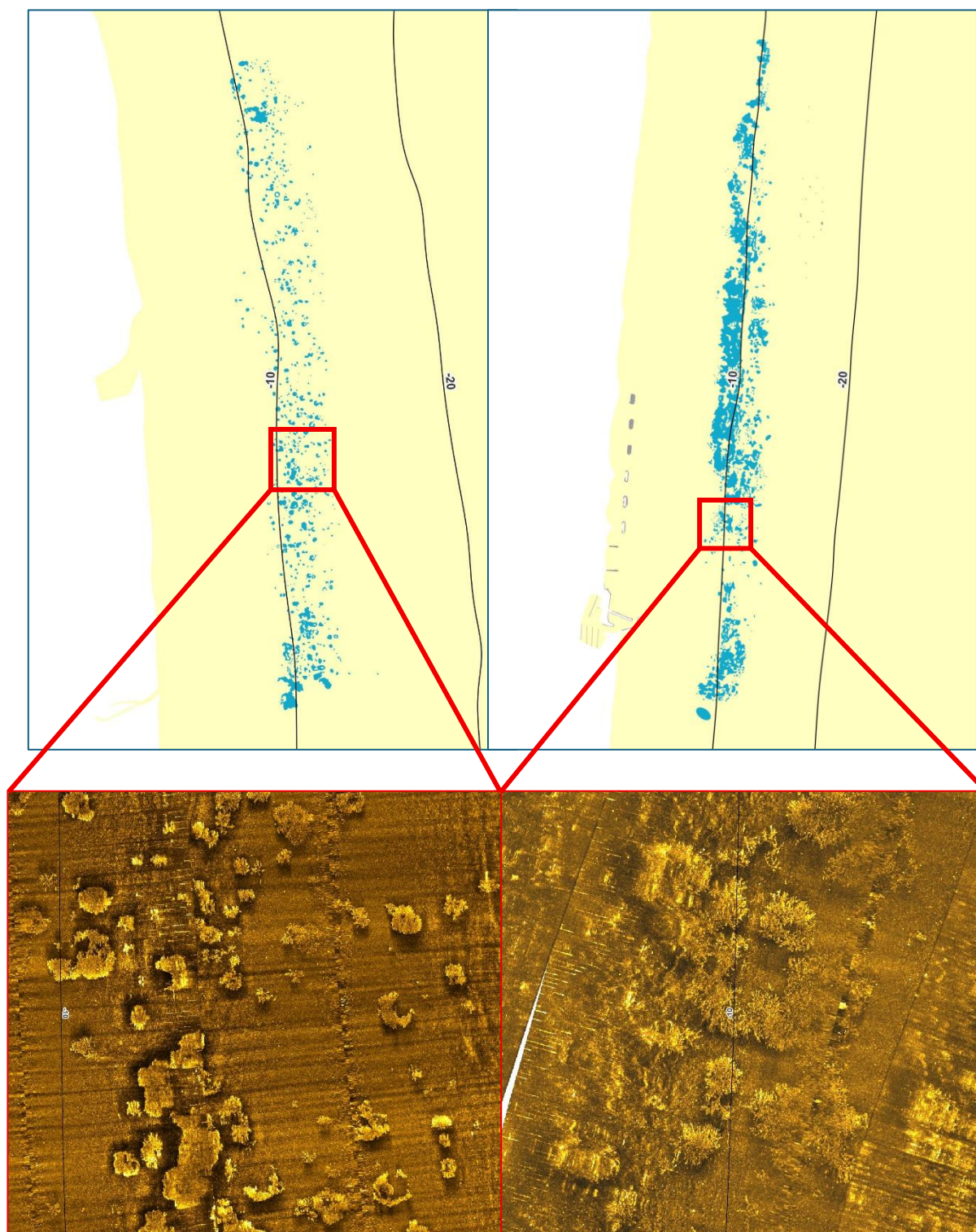


Figure 33 : Nouvelle cartographie de deux herbiers de Cymodocées à l'embouchure du Tech (à gauche) et au nord de Le Barcarès (à droite) associée à des extraits de mosaïques sonar (2024) utilisées pour l'actualisation de la cartographie.

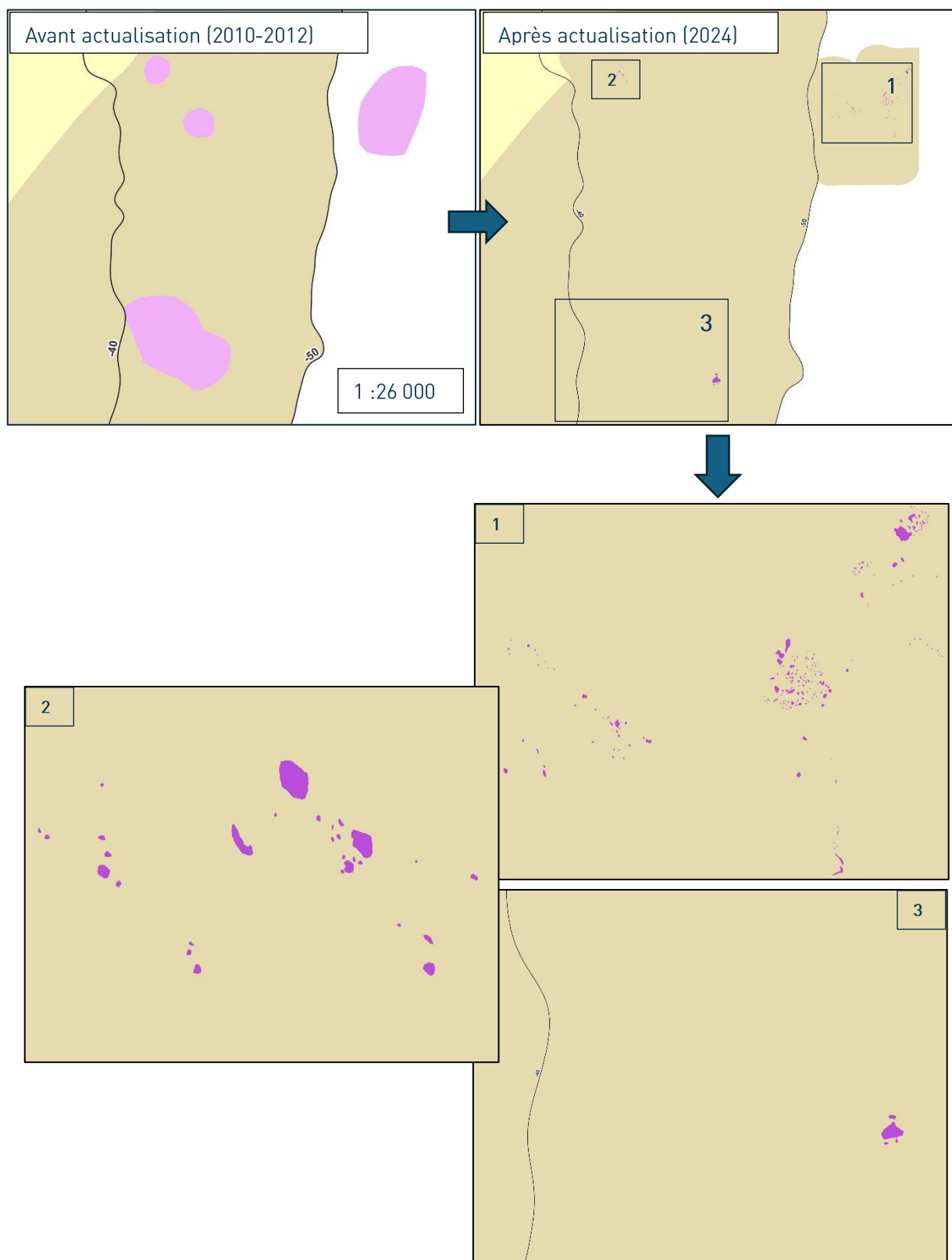


Figure 34 : Evolution de la cartographie au large de Sainte-Marie-la-Mer (hors de l'emprise de la masse d'eau). Légende : rose = roche infralittorale ; beige foncé = fonds meubles circalittoraux.

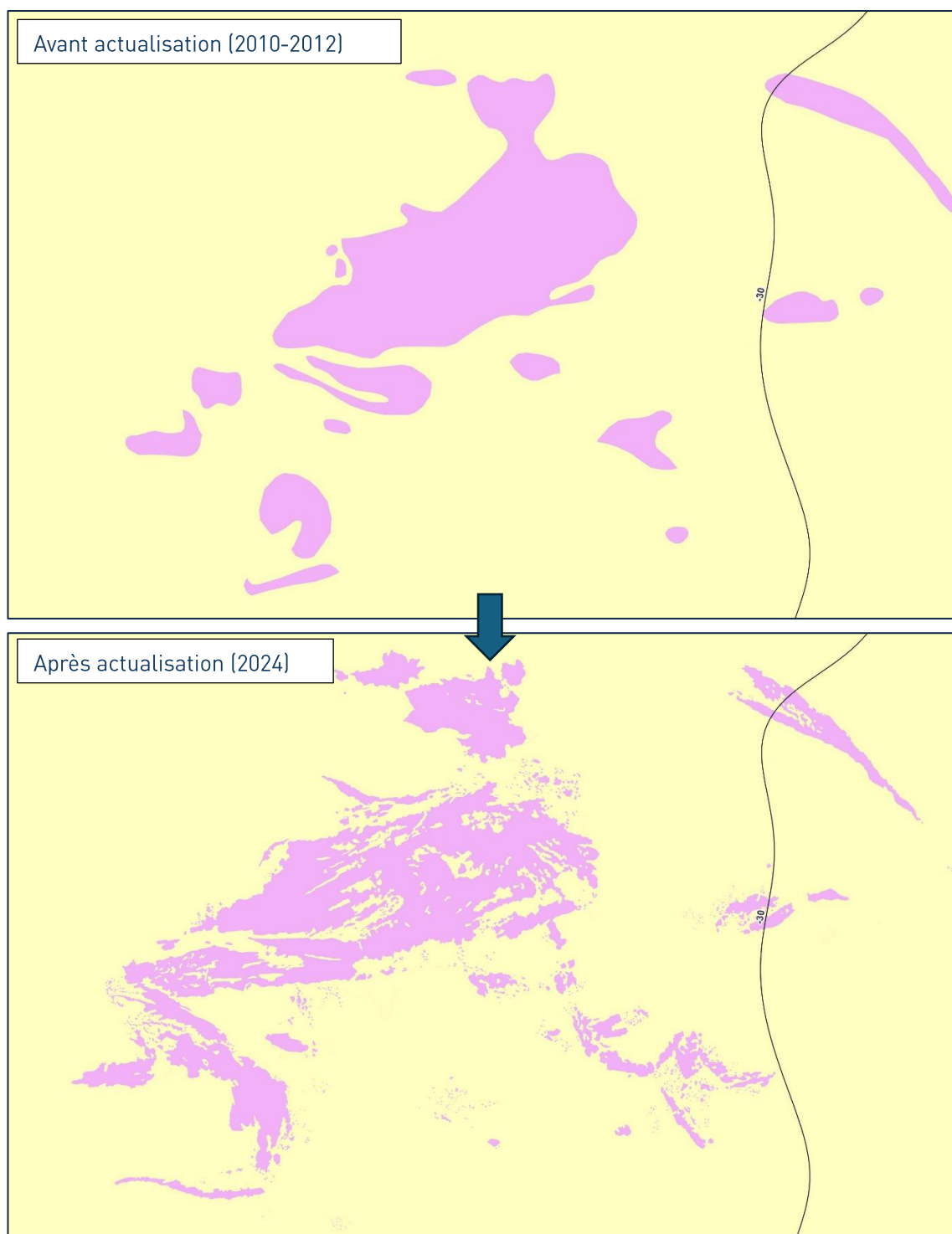
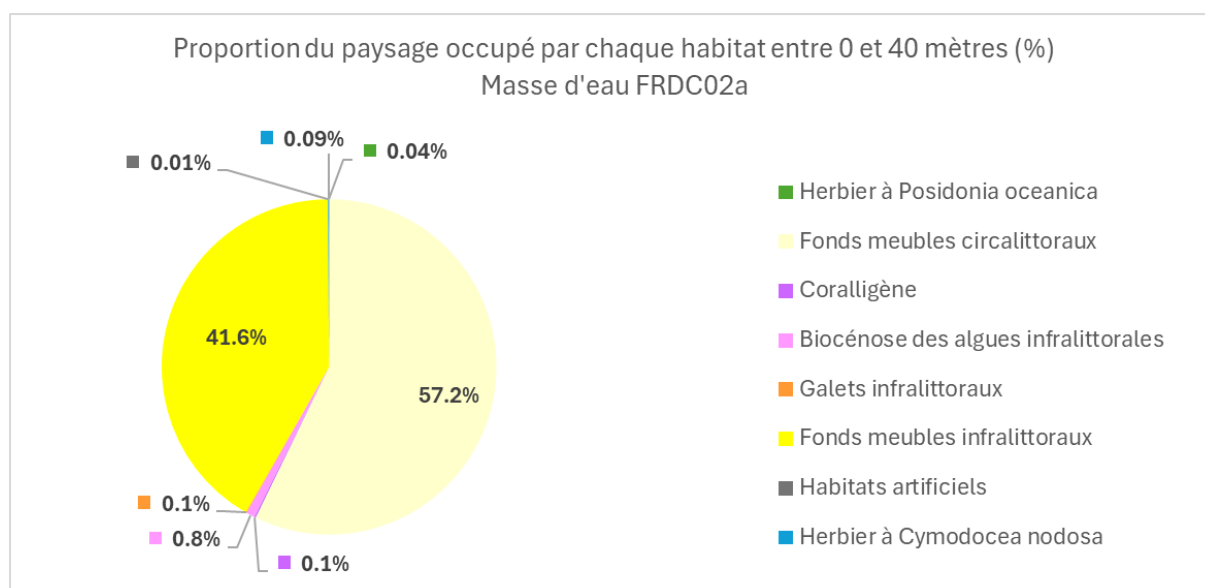


Figure 35 : Evolution de la cartographie avant (2010-2012) et après (2024) actualisation. Légende : rose = roche infralittorale ; beige = fonds meubles infralittoraux.

III.A.2.e. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC02a « Racou Plage – Embouchure de l'Aude » comprend huit biocénoses marines entre 0 et 40 mètres de profondeur dont les deux principales (recouvrement > 10 %) sont les Fonds meubles circalittoraux (57,2%) et infralittoraux (41,6 %). La biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* est toutefois présente (22 ha) ainsi que l'association à *Cymodocea nodosa* (55,5 ha).

L'analyse de la comparaison des indicateurs surfaciques pour cette masse d'eau indique que les valeurs sont globalement **moyennes voire faibles** par rapport aux moyennes régionales.

La masse d'eau FRDC02a présente une **diversité paysagère moyenne** par rapport à l'échelle régionale.

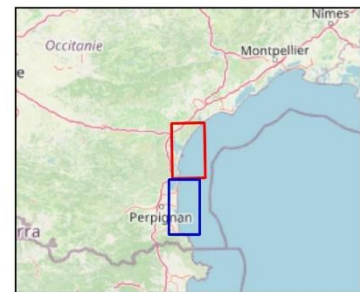
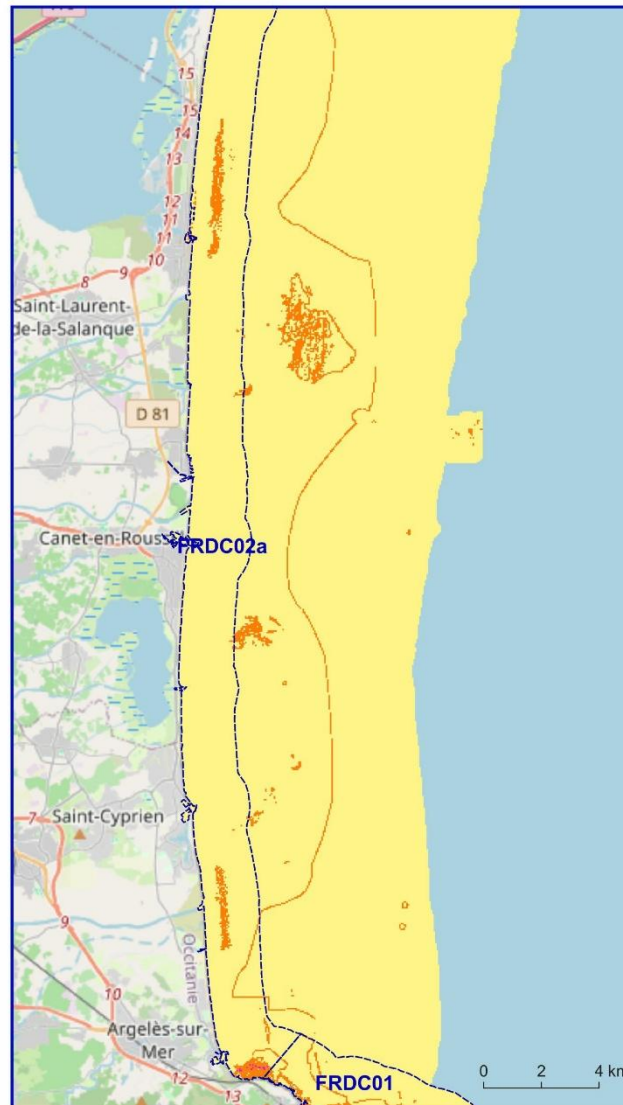
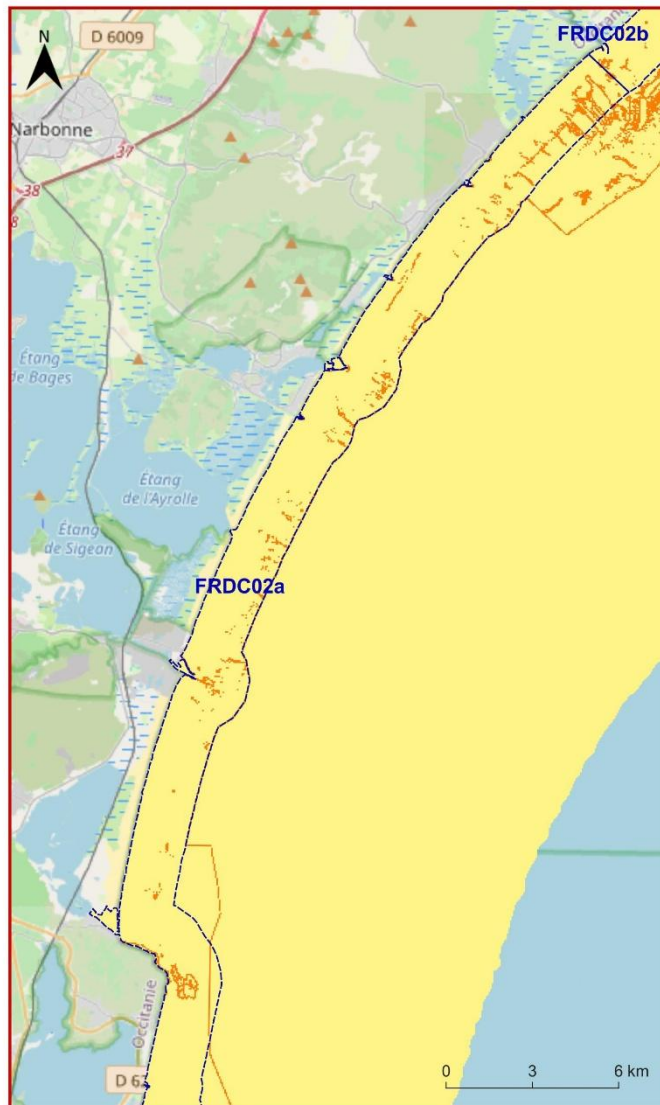
Cet indice est présenté sur la page suivante (pixel de 50 mètres).

Tableau 8 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC02a

Région	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende
Masse d'eau	FRDC02a	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Surface du paysage (ha)	58984	2591 21613.57 58984
Nombre d'habitats dans le paysage	8	5 7.29 9
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	7.34	0.61 22.16 60.25
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	49.27	24.75 64.2 79.12
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.02	0.02 0.09 0.35
Diversité des habitats (Indice d'équité de Simpson)	0.56	0.39 0.51 0.74

SURFSTAT 2024-2025 : Indice de diversité de Simpson

FRDC02a - Racou Plage - Embouchure de l'Aude



Indice de diversité de Simpson (pixels de 50 mètres)



EDITEE LE : 21 / 4 / 2026

Sources des données :

- Indice de Simpson : Andromède Océanologie (2025)

- Fond de carte : OpenStreetMap

Système de coordonnées : EPSG:2154



L'herbier occupe 0,15 % du paysage entre 0 et 20 mètres de fond, ce qui est bien inférieur à la valeur régionale.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières occitaniennes, l'herbier de Posidonie de la masse d'eau FRDC02a se caractérise par un **nombre de taches très faible de taille élevée** (valeur maximale) **et éloignées les unes des autres** (valeur maximale).

La valeur de l'**indice de fragmentation** est pratiquement égale à 1. A noter que cette valeur est la même pour une grande partie des masses d'eau occitaniennes ; cela s'explique par le fait que cet habitat est très peu rencontré en Occitanie et donc que la probabilité que deux pixels d'une même masse d'eau (d'une surface de plusieurs milliers d'hectares) de la classe « posidonie » appartiennent à la même tache est très faible. Cette valeur de fragmentation ne sous-entend toutefois pas que les herbiers de posidonie sont dégradés localement.

L'**indice d'agrégation** pour la masse d'eau FRDC02a présente la **valeur la plus élevée en Occitanie**. Le seul herbier rencontré dans cette masse d'eau (Le Racou) est en effet globalement plutôt continu en comparaison des autres herbiers occitaniens qui sont surtout composés de petites taches.

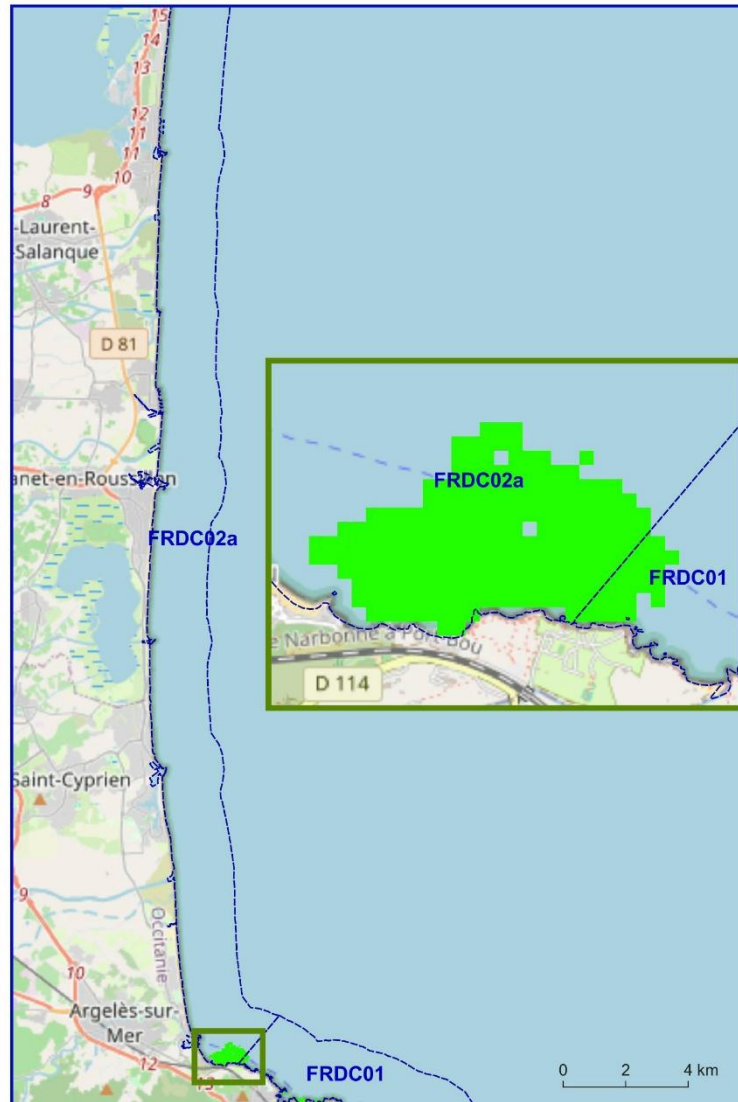
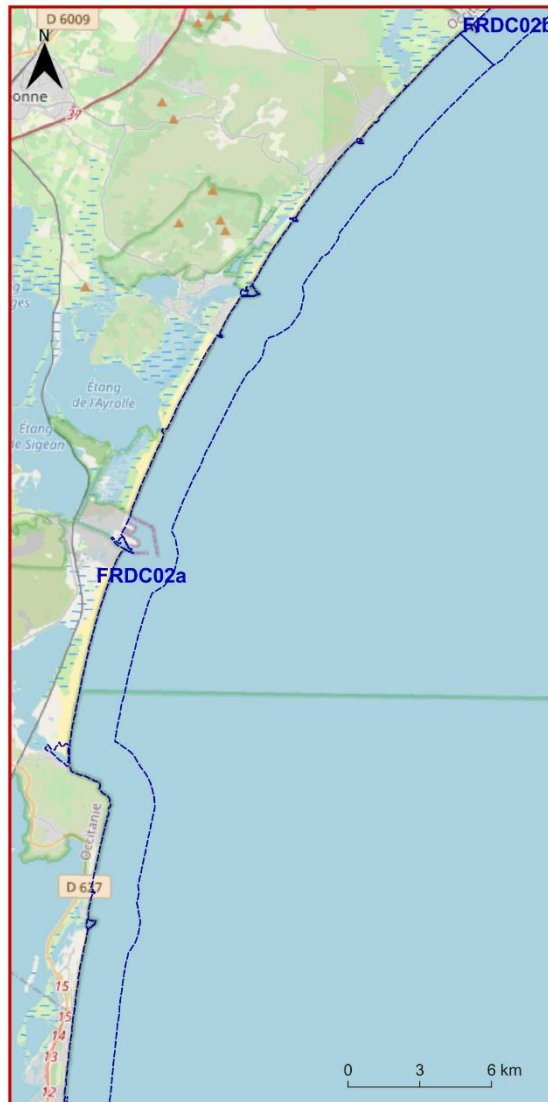
L'**indice de régression** de la masse d'eau FRDC02a est égale à 0. Cet indice est représenté sur un pixel de 50 mètres page suivante.

Tableau 9 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 20 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC02a.

Région	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende	
Masse d'eau	FRDC02a		
Tranche bathymétrique (mètres)	0-20		
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	0.15	0	3.43
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	1.38	0.11	81.38
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	0.1	0	0.61
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.11	0	0.11
Indice de complexité des formes	1.08	1	1.08
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	9.11	6.51	9.11
Indice de fragmentation de l'herbier	0.99	0.99	1
Indice d'agrégation entre les taches (%)	59.88	0	59.88
Indice de régression de l'herbier	0	0	0.95



SURFSTAT 2024-2025 : Indice de régression **FRDC02a - Racou Plage - Embouchure de l'Aude**



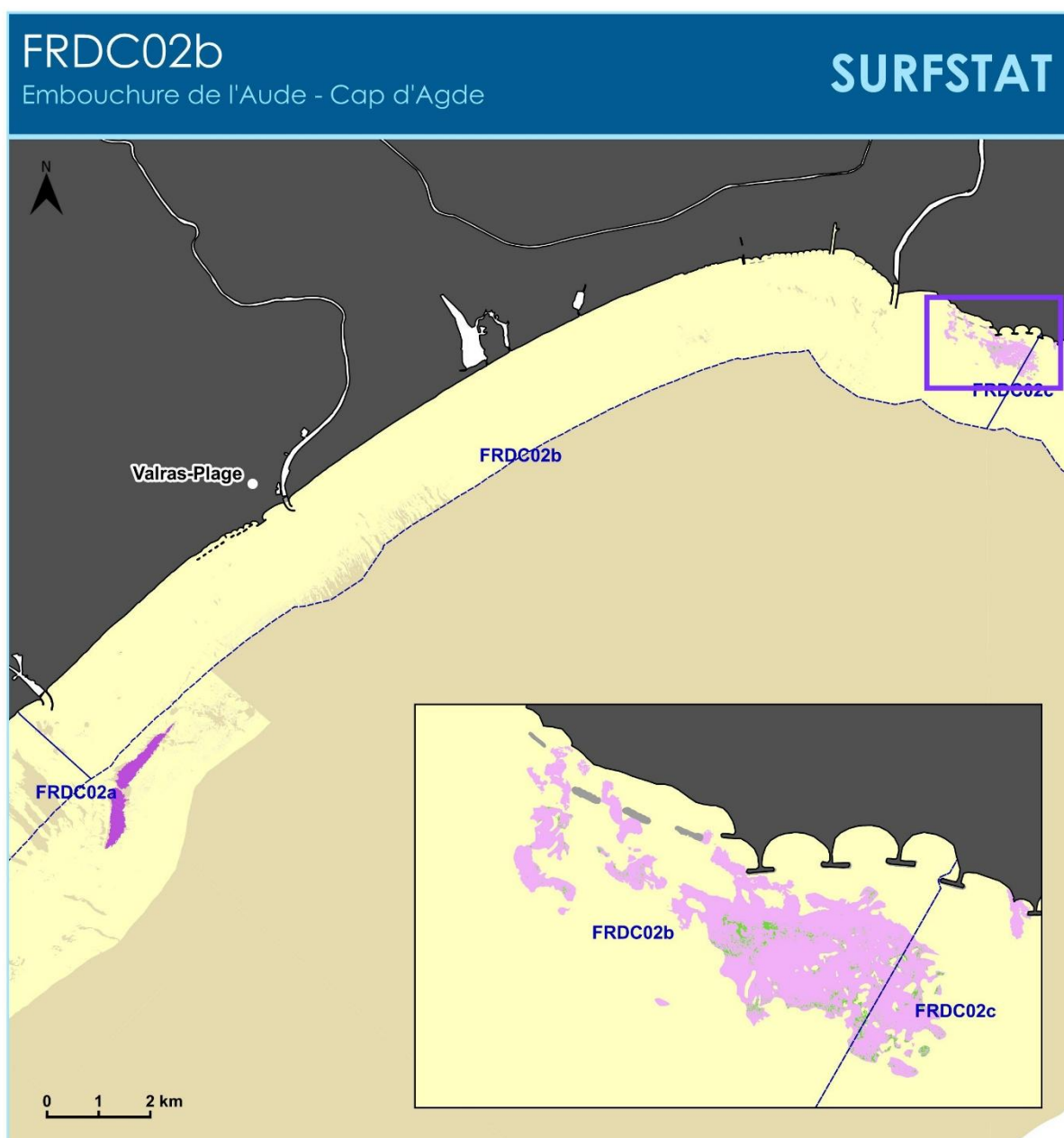
Indice de régression (pixels de 50 mètres)



EDITEE LE : 23 / 4 / 2026
 Sources des données :
 - Indice de régression : Andromède Océanologie (2025)
 - Fond de carte : OpenStreetMap
 Système de coordonnées: EPSG:2154



III.A.3. Masse d'eau FRDC02b : Embouchure de l'Aude – Cap d'Agde



EMBOUCHURE DE L'AUDE - CAP D'AGDE



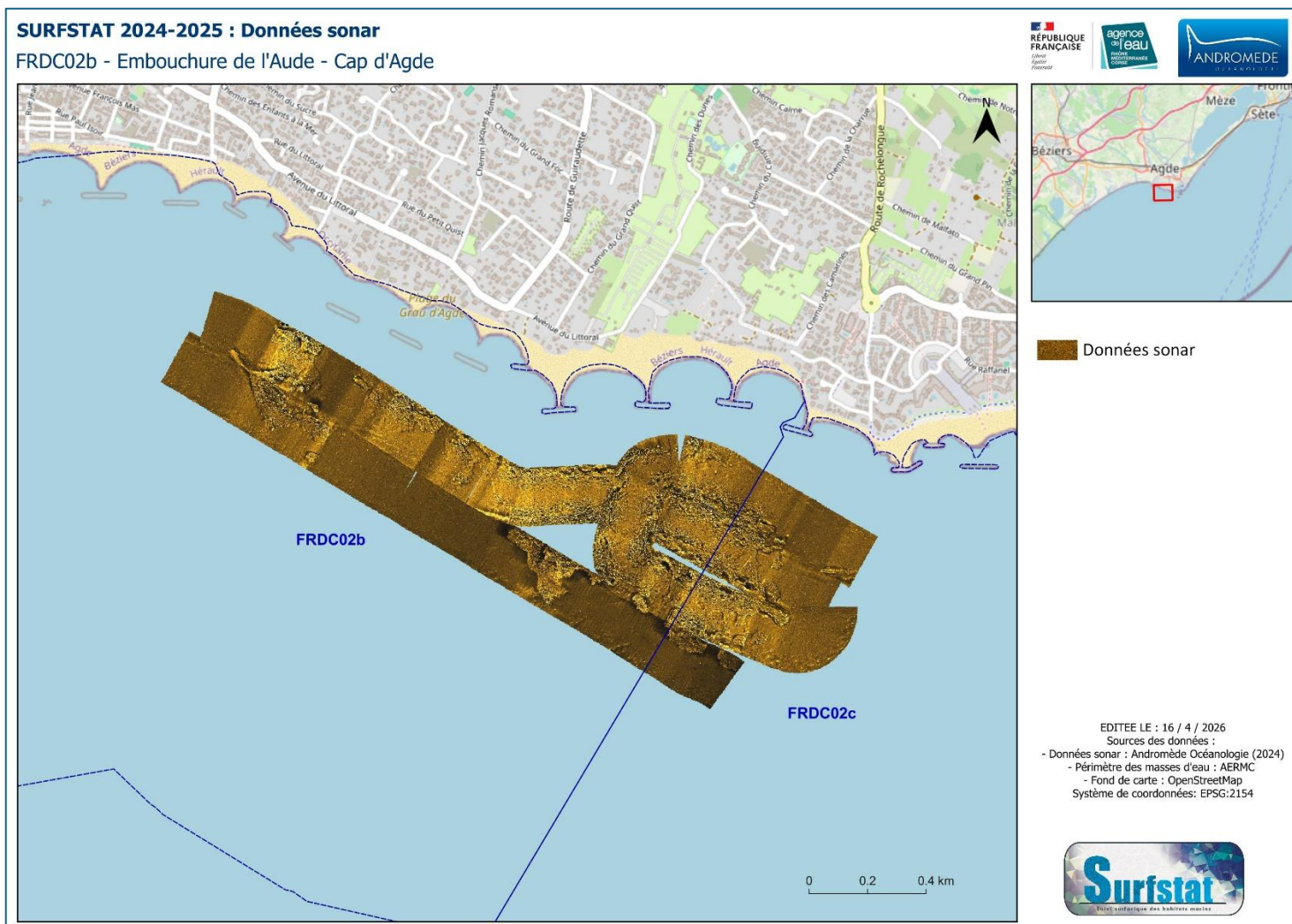
Cette carte fait partie du réseau de surveillance SURFSTAT et du projet DONIA Expert. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin : <https://plateforme.medtrix.fr/>

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

Avril 2026

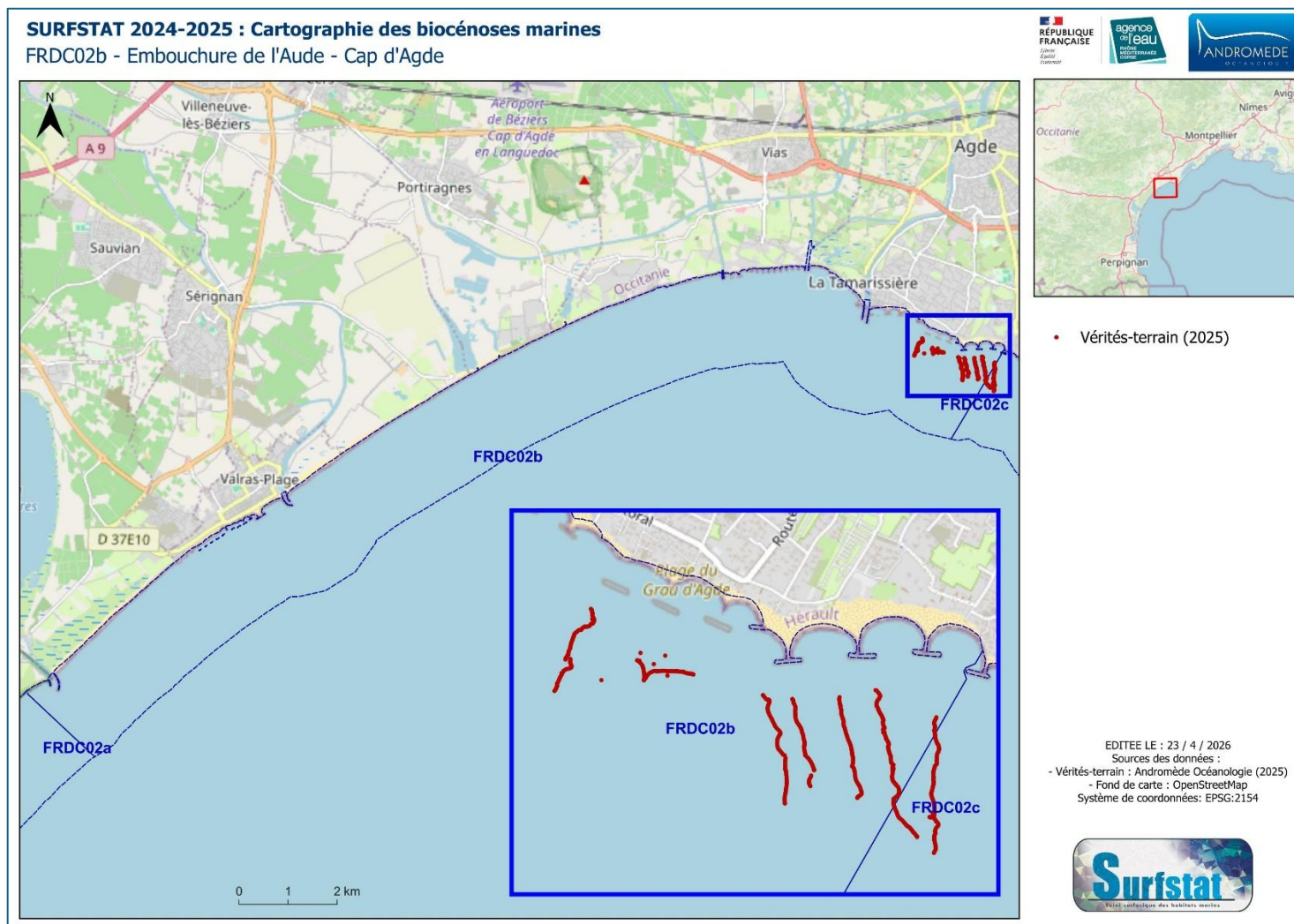
III.A.3.a. Sonar latéral

Près de 93 ha de données ont été acquises au sonar latéral dans la masse d'eau FRDC02b.

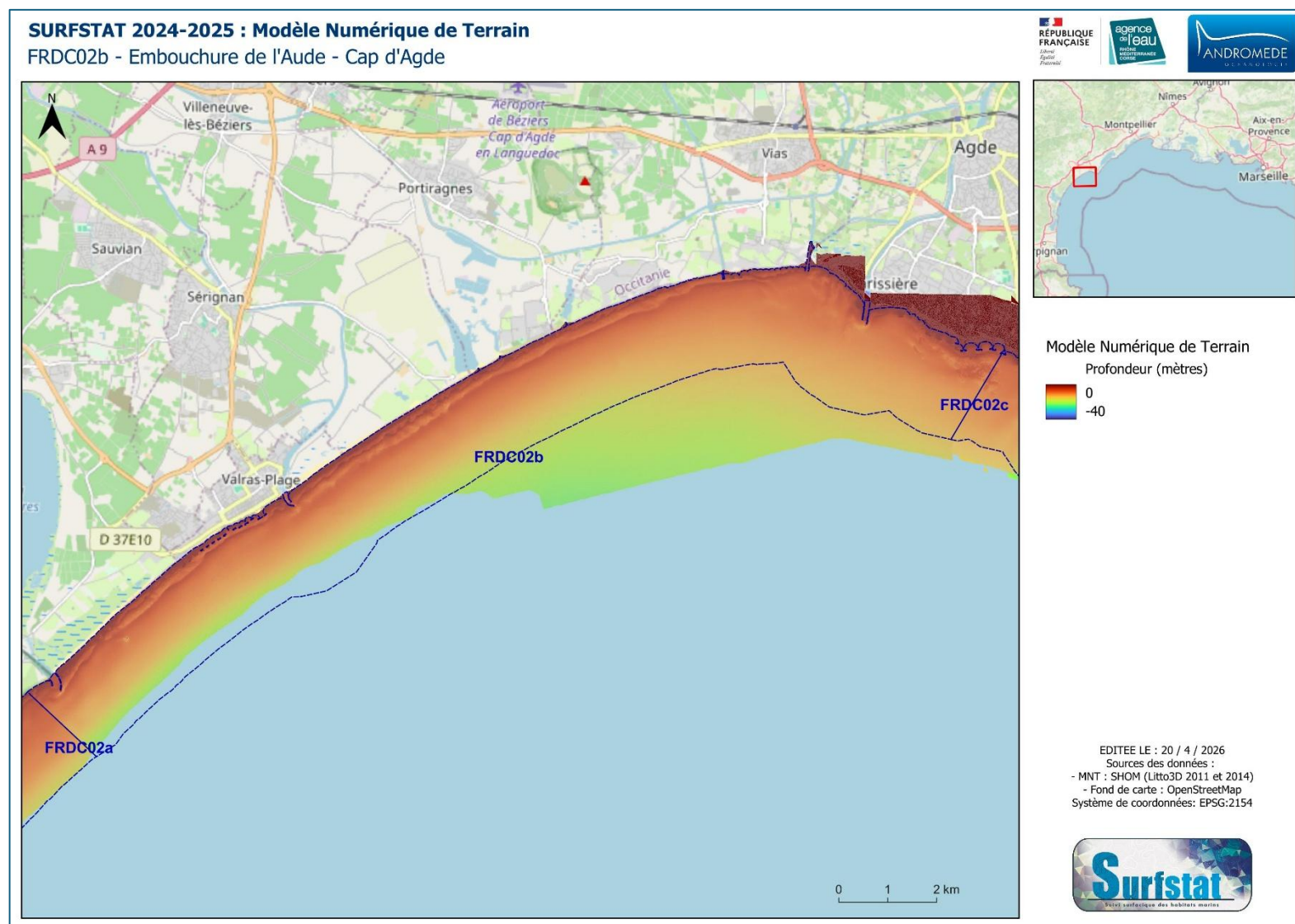


III.A.3.b. Vérités-terrain

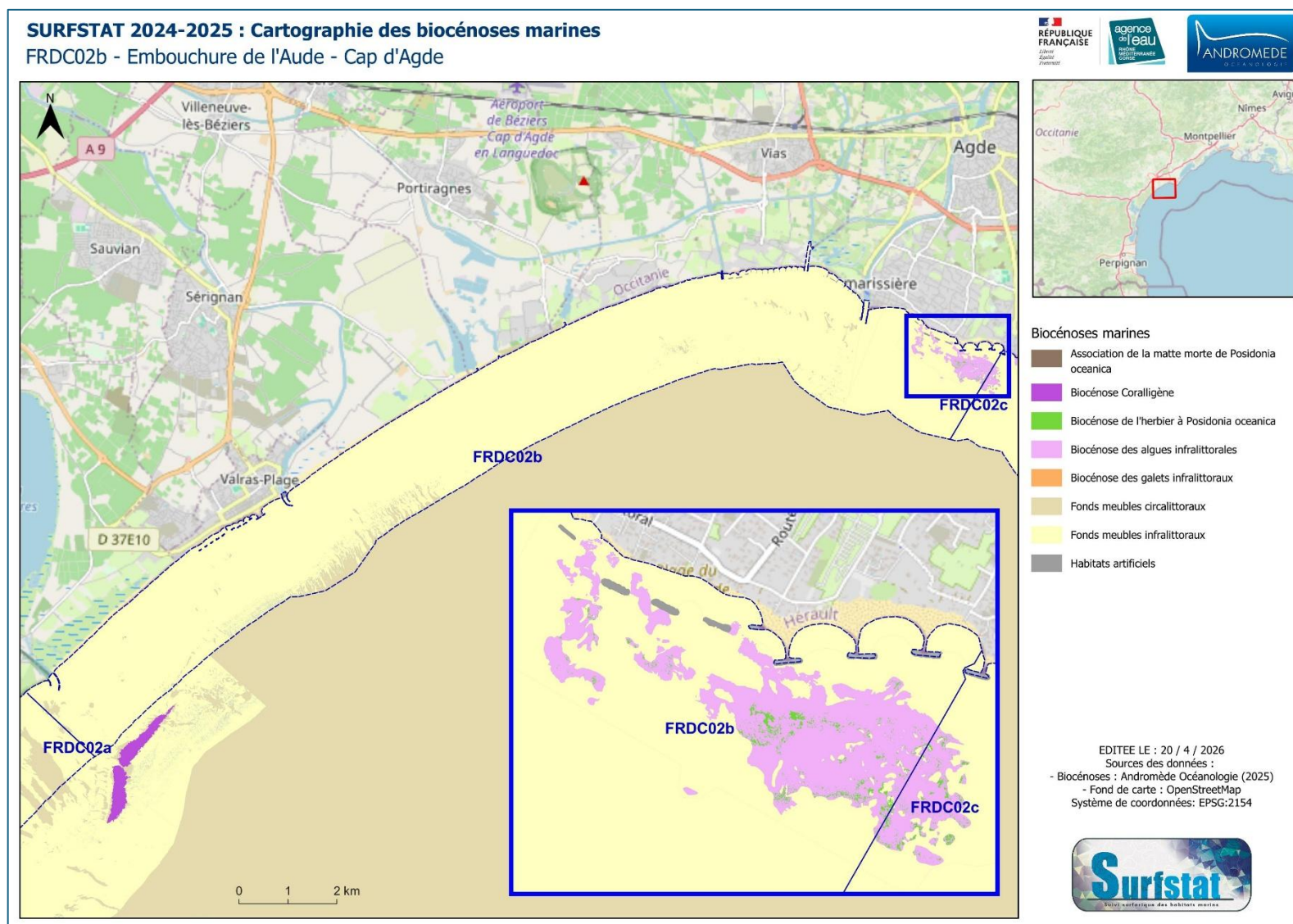
529 observations par caméra et transects géoréférencés en plongée sous-marine ont été réalisées dans la masse d'eau FRDC02b en août 2025.



III.A.3.c. Données bathymétriques



III.A.3.d. Cartographie des biocénoses marines





Evolution de la cartographie

Seul le secteur situé entre le port du Cap d'Agde et l'embouchure de l'Hérault (nommé « Les Battuts ») a été actualisé pour la masse d'eau FRDC02b dans le cadre de cette étude. Cette actualisation de la cartographie concerne principalement l'herbier de posidonie et les limites des fonds rocheux. **Quelques taches d'herbier ont été ajoutées à cette nouvelle cartographie, faisant évoluer la surface de la biocénose à *Posidonia oceanica* de 1,3 ha [2018] à 2,1 ha [2024] pour la masse d'eau FRDC02b.** Le substrat étant constitué à certains endroits d'une **mosaïque de roche à algues infralittorales (biocénose majoritaire) et de matte morte de posidonie**, il a été décidé de favoriser la biocénose majoritaire (roche infralittorale) comme classe biocénotique pour la cartographie de ce secteur.

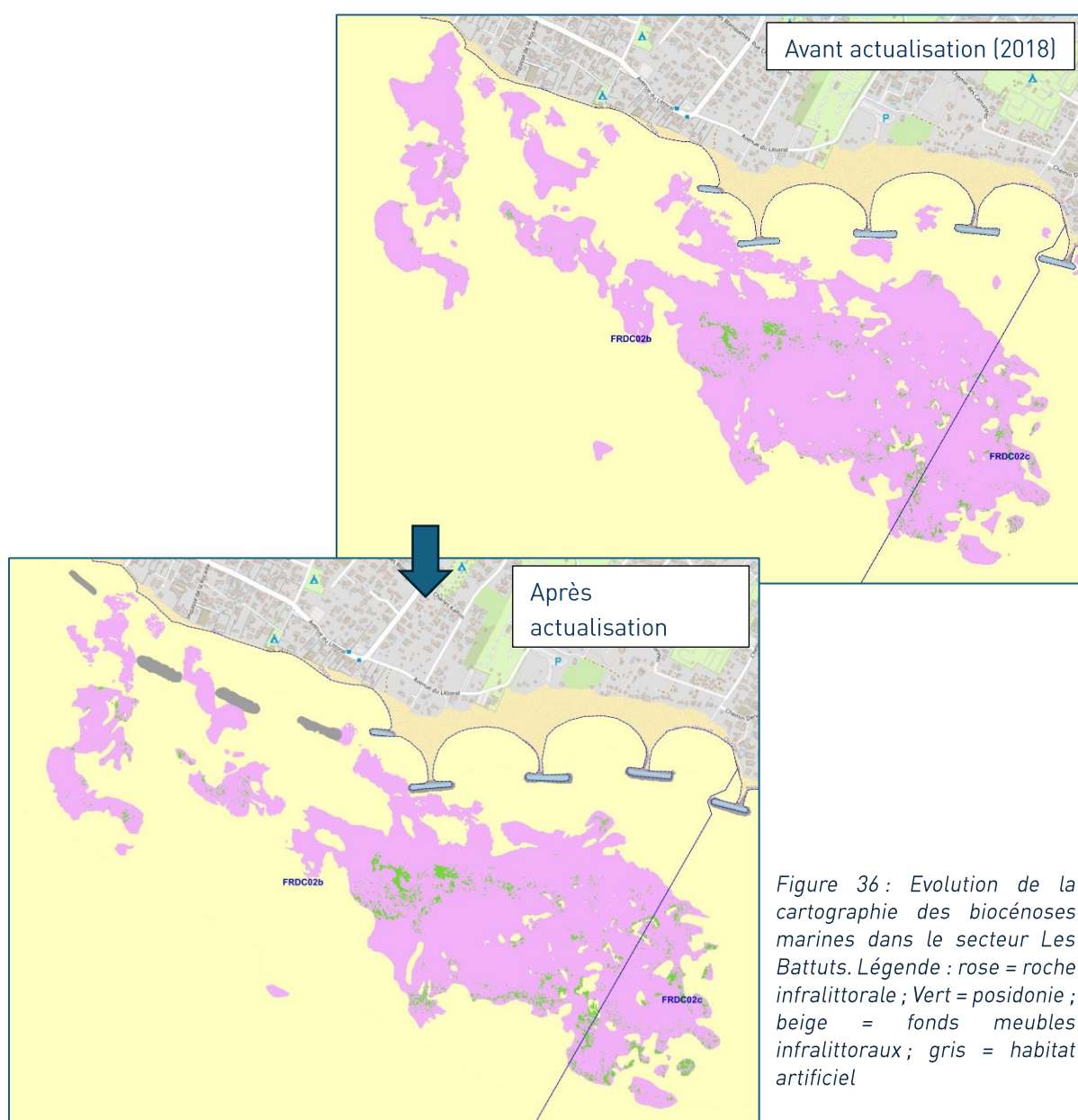
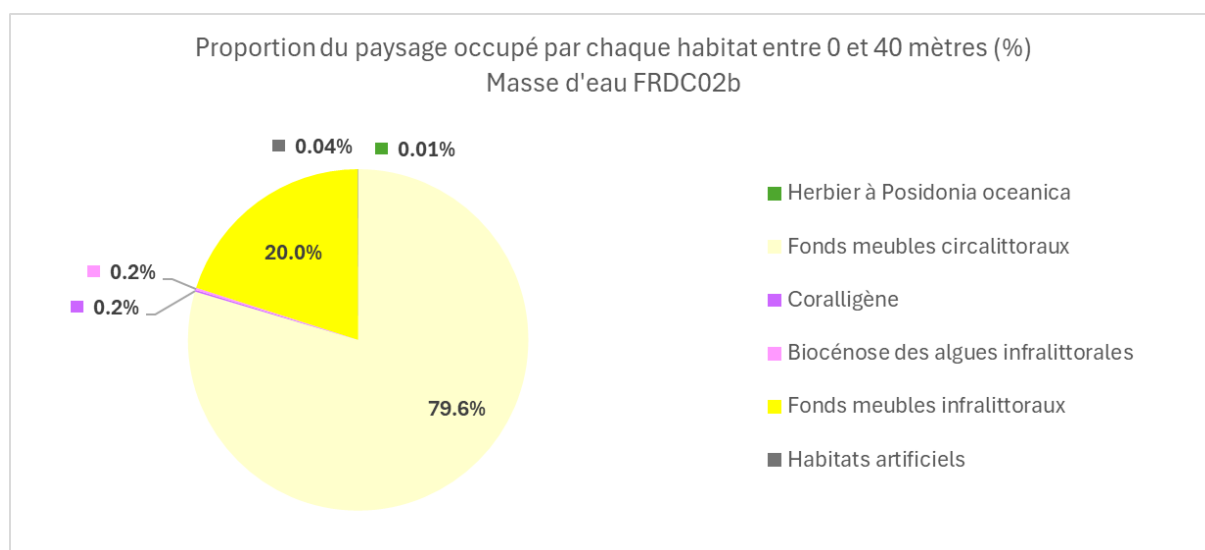


Figure 36 : Evolution de la cartographie des biocénoses marines dans le secteur Les Battuts. Légende : rose = roche infralittorale ; Vert = posidonie ; beige = fonds meubles infralittoraux ; gris = habitat artificiel



Figure 37 : Observations effectuées en plongée sous-marine (transect géoréférencé) à l'ouest du port du Cap d'Agde en août 2025. Le substrat rencontré est majoritairement composé d'une mosaïque de fonds meubles grossiers, galets, roche infralittorale (plateaux et/ou blocs rocheux) et de matte morte de posidonie.

III.A.3.e. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC02b « Embouchure de l'Aude – Cap d'Agde » comprend six biocénoses marines entre 0 et 40 mètres de profondeur dont les deux principales (recouvrement > 10 %) sont les Fonds meubles circalittoraux (79,6 %) et infralittoraux (20 %). La biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* est toutefois présente (2,1 ha).

L'analyse de la comparaison des indicateurs surfaciques pour cette masse d'eau indique que les valeurs sont globalement **faibles** par rapport aux moyennes régionales. Seule la valeur du pourcentage total compris par la tache la plus grande est bien supérieure à la moyenne régionale (valeur maximale). Cela est lié à la proportion très élevée qu'occupe l'habitat des fonds meubles circalittoraux, souvent formé par une seule grande tache continue.

La masse d'eau FRDC02b présente la diversité paysagère la plus faible des masses d'eau occitanienne.

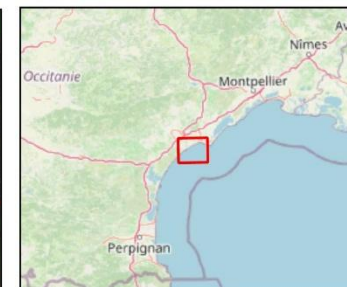
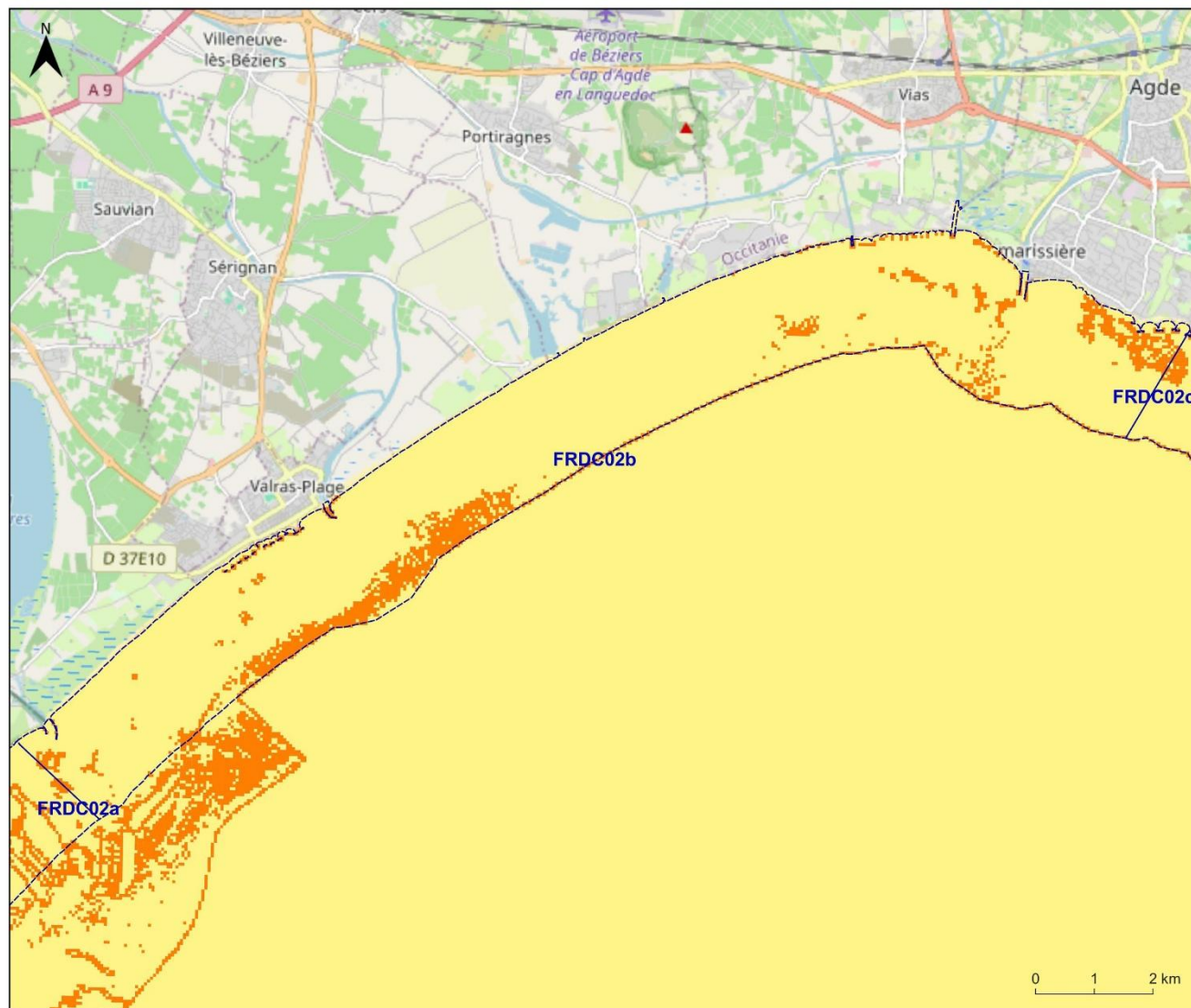
Cet indice est présenté sur la page suivante (pixel de 50 mètres).

Tableau 10 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC02b

Région	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende	
Masse d'eau	FRDC02b		
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40		
Surface du paysage (ha)	22302	2591	58984
Nombre d'habitats dans le paysage	6	5	9
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	20.47	0.61	60.25
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	79.12	24.75	79.12
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.03	0.02	0.35
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.39	0.39	0.74

SURFSTAT 2024-2025 : Indice de diversité de Simpson

FRDC02b - Embouchure de l'Aude - Cap d'Agde



Indice de diversité de Simpson (pixels de 50 mètres)



EDITEE LE : 21 / 4 / 2026

Sources des données :

- Indice de Simpson : Andromède Océanologie (2025)
- Fond de carte : OpenStreetMap
- Système de coordonnées: EPSG:2154



L'herbier occupe 0,02 % du paysage entre 0 et 20 mètres de fond, valeur proche de la valeur minimale (0 %) et bien inférieure à la moyenne régionale (0,61 %).

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières occitanienne, l'herbier de Posidonie de la masse d'eau FRDC02b se caractérise par un **nombre de taches très faible de très petite taille** (presque la valeur minimale) et **assez proches les uns des autres**.

La valeur de l'**indice de fragmentation** est égale à 1 (valeur maximale). À noter que cette valeur est la même pour la moitié des masses d'eau occitanienne ; cela s'explique par le fait que cet habitat est très peu rencontré en Occitanie et donc que la probabilité que deux pixels d'une même masse d'eau (d'une surface de plusieurs milliers d'hectares) de la classe « posidonie » appartiennent à la même tache est très faible. Cette valeur de fragmentation ne sous-entend toutefois pas que les herbiers de posidonie sont dégradés localement.

L'**indice d'agrégation** pour la masse d'eau FRDC02b présente une **valeur moyenne** à l'échelle de l'Occitanie. Les seules taches d'herbier rencontrées dans cette masse d'eau sont localisées au même endroit (herbier sur roche entre l'embouchure de l'Hérault et le port du Cap d'Agde) et forment un herbier très éparé.

L'**indice de régression** de la masse d'eau FRDC02b est égale à 0 car aucune observation de matte morte n'a été faite dans ce secteur.

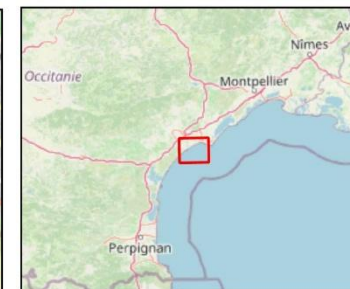
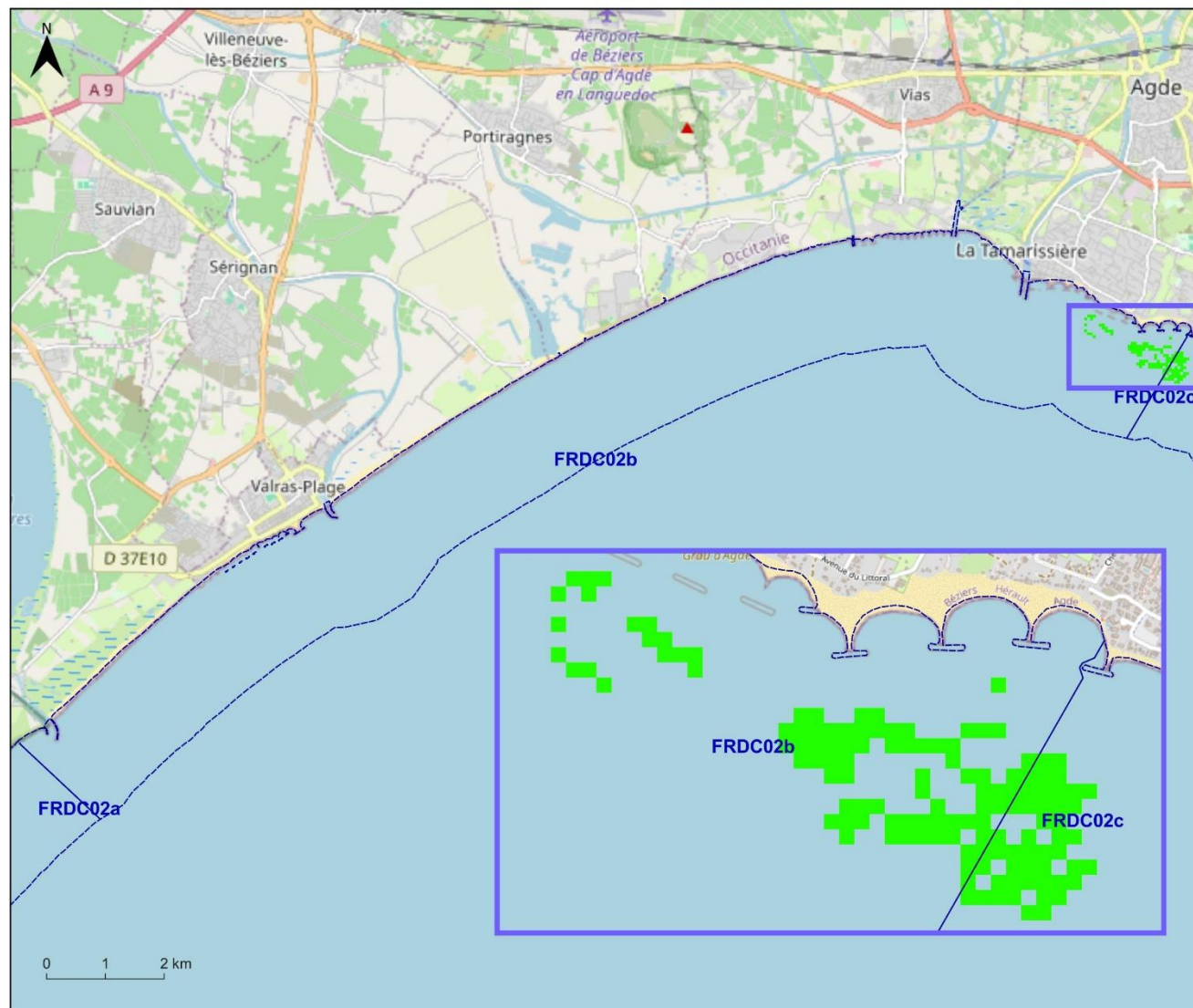
Cet indice est représenté sur un pixel de 50 mètres en page suivante.

Tableau 11 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 20 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC02b.

Région	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende
Masse d'eau	FRDC02b	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-20	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	0.02	0 3.43 0.61
Densité de taches (Nb taches / 100 ha)	2.97	0.11 81.38 20.13
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	0	0 0.61 0.11
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.01	0 0.11 0.03
Indice de complexité des formes	1.06	1 1.08 1.05
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	6.68	6.51 9.11 7.63
Indice de fragmentation de l'herbier	1	0.99 1 0.99
Indice d'agrégation entre les taches (%)	20.24	0 59.88 29.35
Indice de régression de l'herbier	0	0 0.95 0.27

SURFSTAT 2024-2025 : Indice de régression

FRDC02b - Embouchure de l'Aude - Cap d'Agde



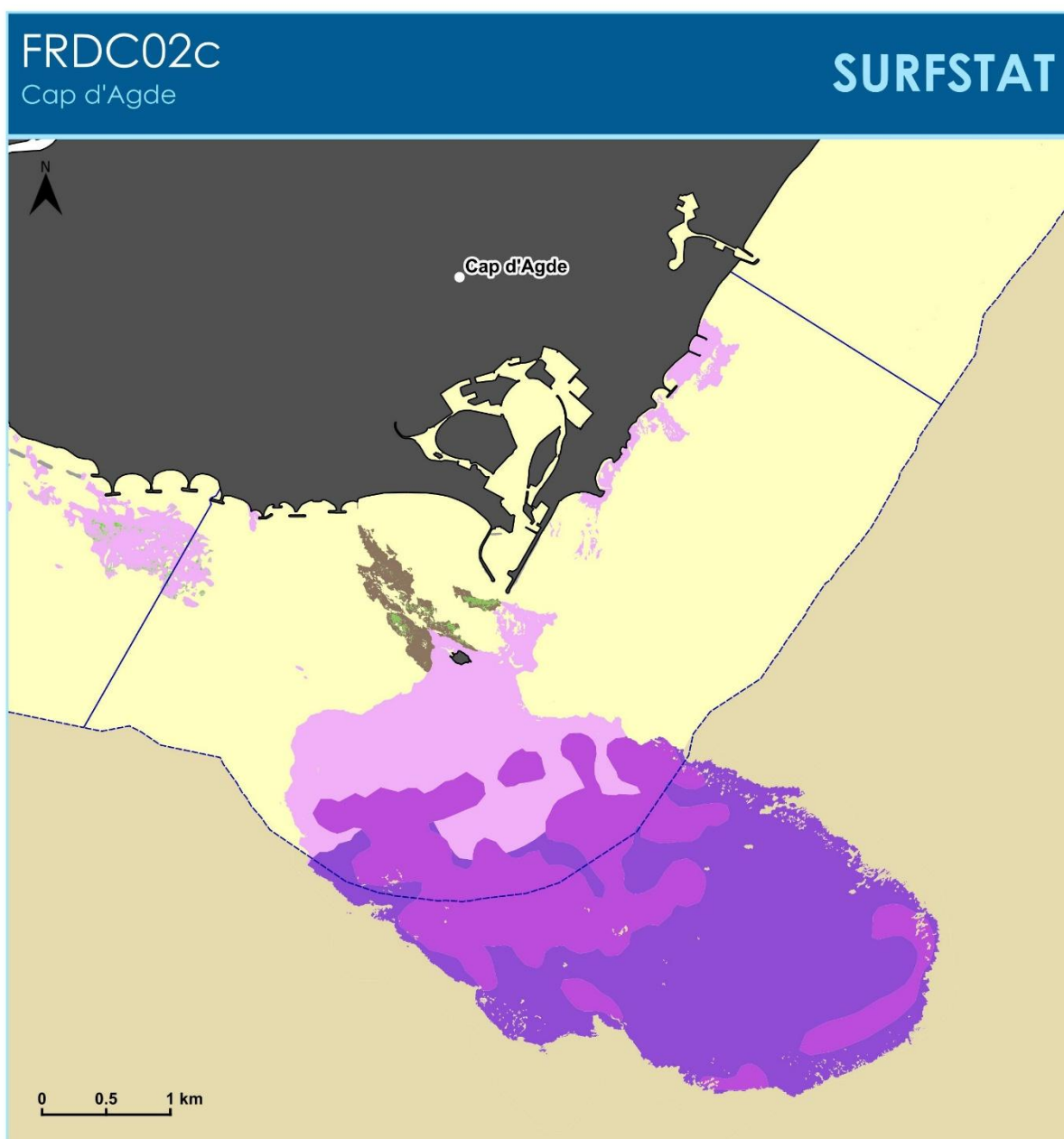
Indice de régression (pixels de 50 mètres)



EDITEE LE : 21 / 4 / 2026
Sources des données :
- Indice de régression : Andromède Océanologie (2025)
- Fond de carte : OpenStreetMap
Système de coordonnées: EPSG:2154



III.A.4. Masse d'eau FRDC02c : Cap d'Agde



CAP D'AGDE



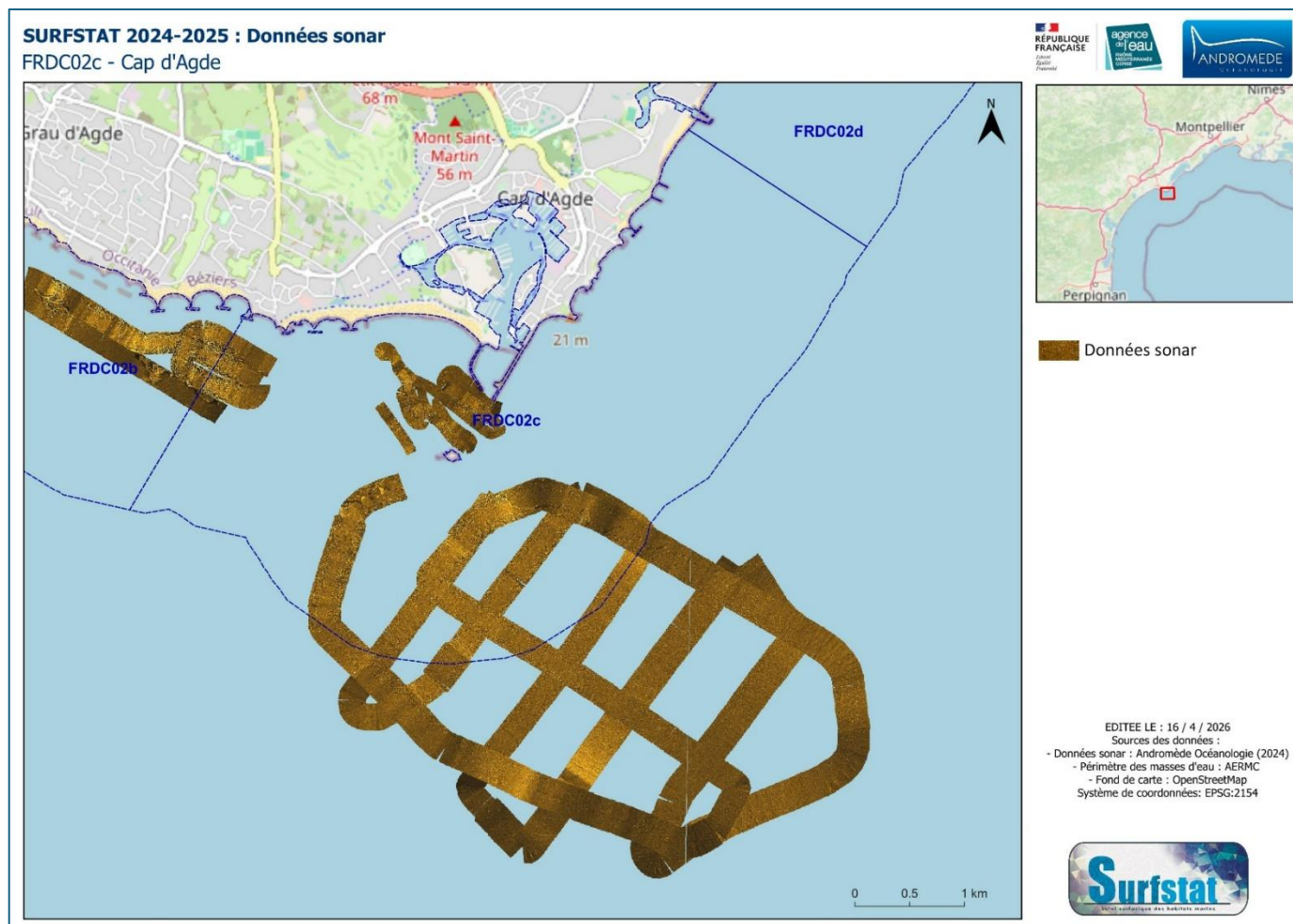
Cette carte fait partie du réseau de surveillance SURFSTAT et du projet DONIA Expert. Les données sont disponibles sur la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin : <https://plateforme.medtrix.fr/>

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

Avril 2026

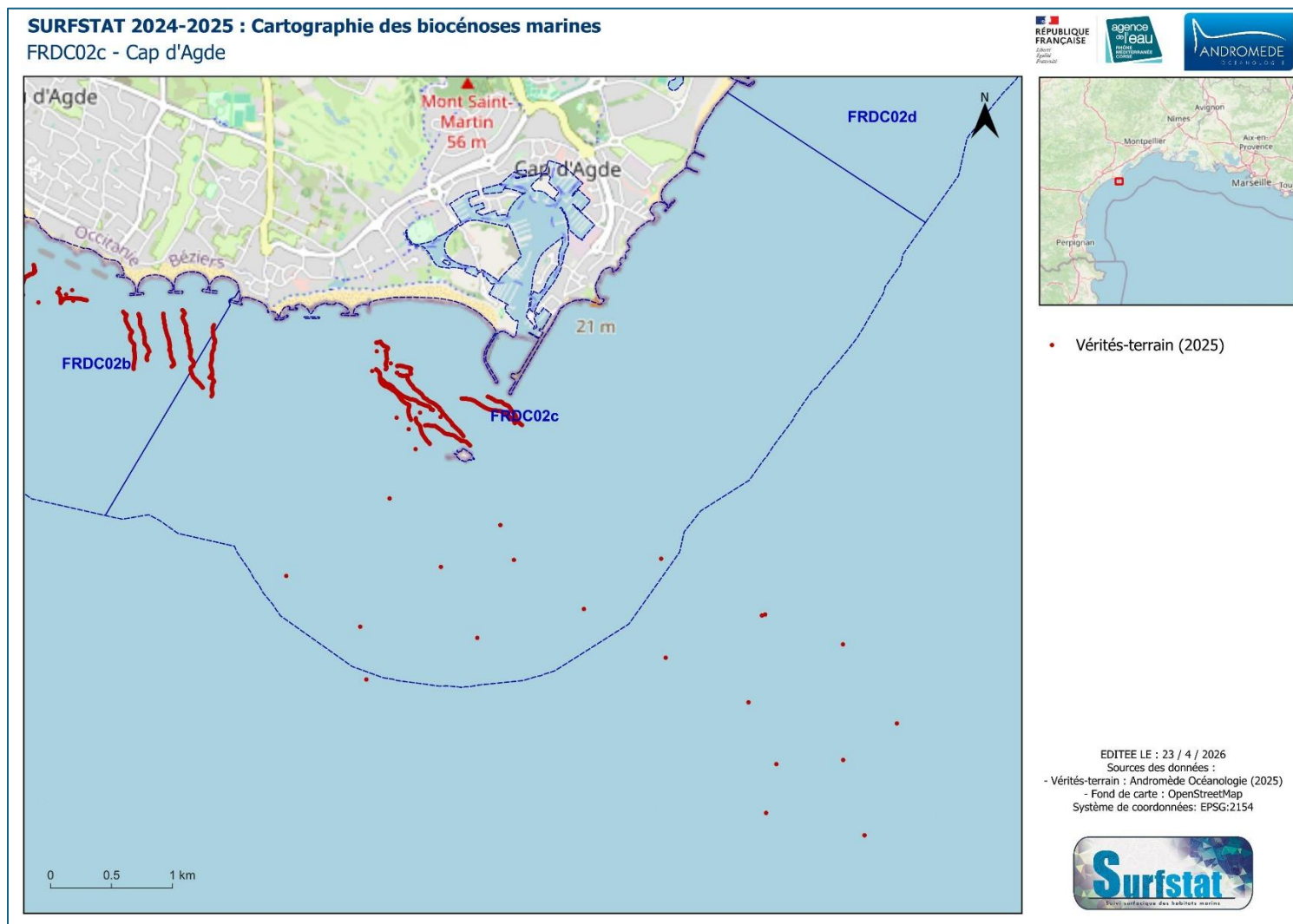
III.A.4.a. Sonar latéral

1 272 hectares de données sonar ont été acquises pour l'actualisation de la cartographie du Cap d'Agde. L'acquisition sur le secteur Roc du Brescou au large a ciblé les bordures des zones rocheuses afin d'affiner la limite fonds meubles/substrat rocheux en priorité.

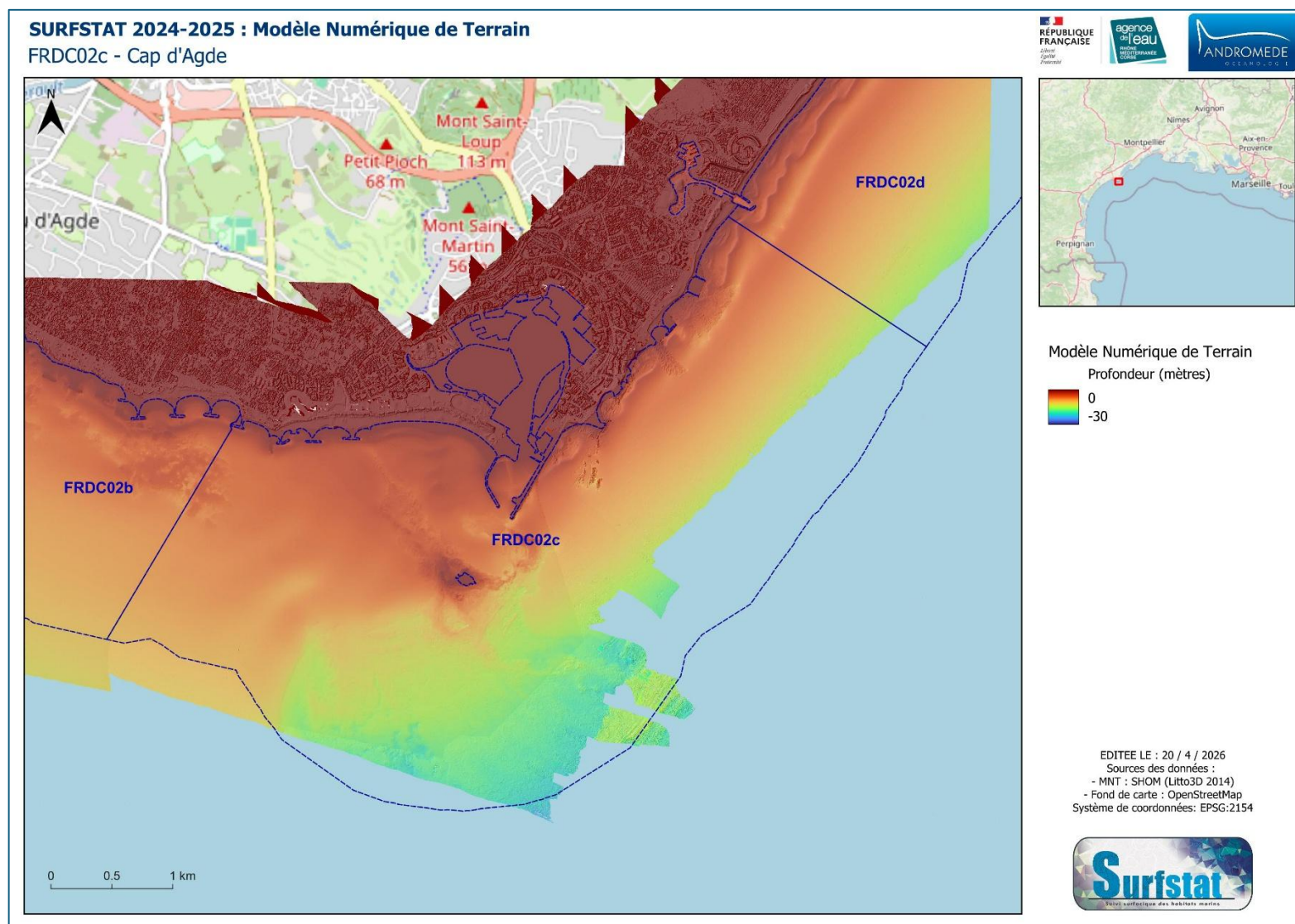


III.A.4.b. Vérités-terrain

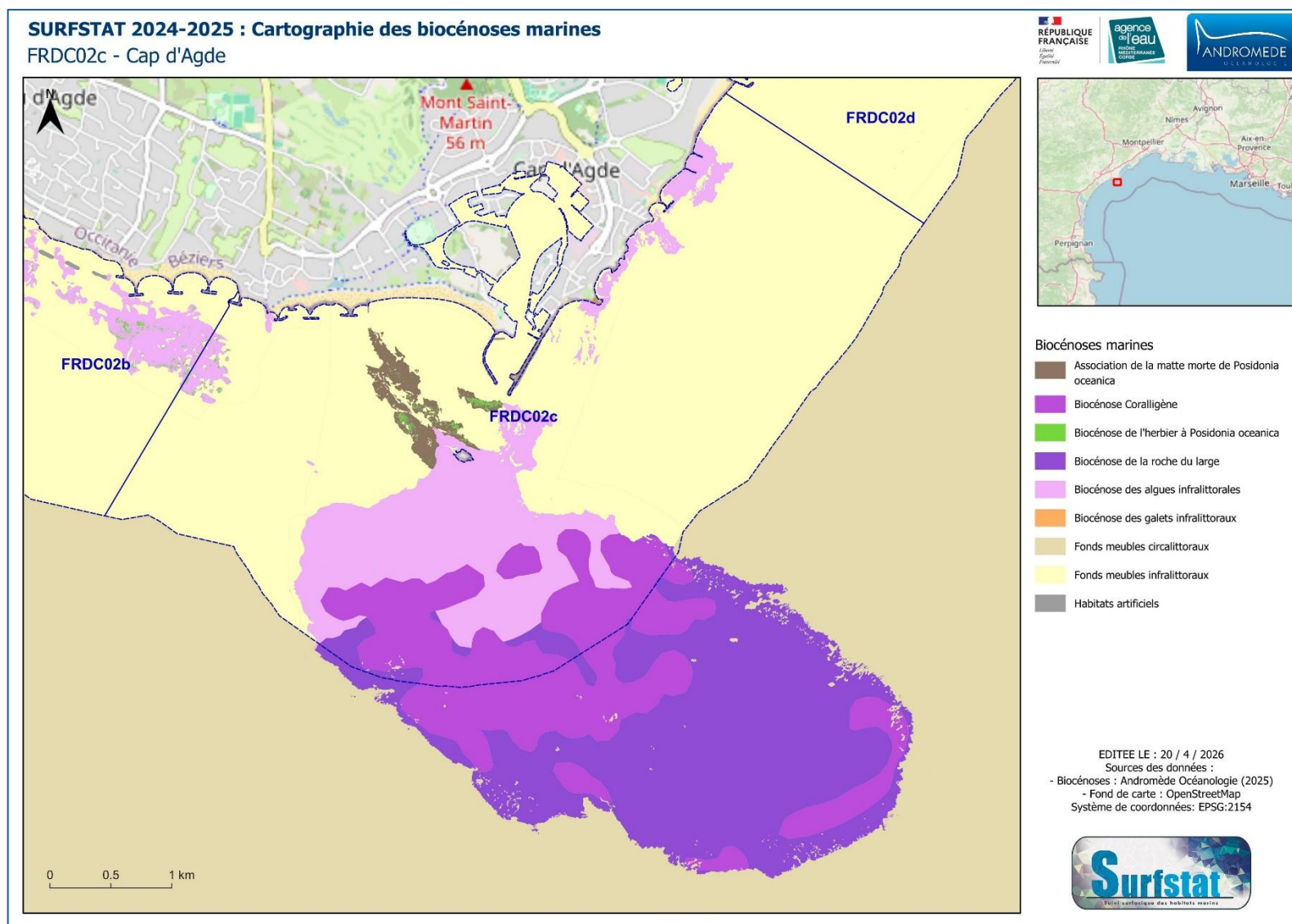
826 observations par caméra et transects géoréférencés en plongée sous-marine ont été réalisées dans la masse d'eau FRDC02c en août 2025.



III.A.4.c. Données bathymétriques



III.A.4.d. Cartographie des biocénoses marines





Evolution de la cartographie

L'actualisation de la cartographie des biocénoses marines de la masse d'eau FRDC02c concerne principalement les herbiers de posidonie et la matte morte associée ainsi que le périmètre du Roc de Brescou au large du cap d'Agde. Concernant le Roc de Brescou, seul le **périmètre des fonds rocheux** a été affiné ; la complexité de la zone en termes de visibilité et de configuration des biocénoses (mosaïque spatiale) ne permet pas de cartographier précisément ces derniers, c'est pourquoi l'ancienne délimitation des biocénoses des algues infralittorales, du coralligène et de la roche du large (données provenant et fournies par l'Aire Marine Protégée de la Côte Agathoise, 2018) est restée identique.

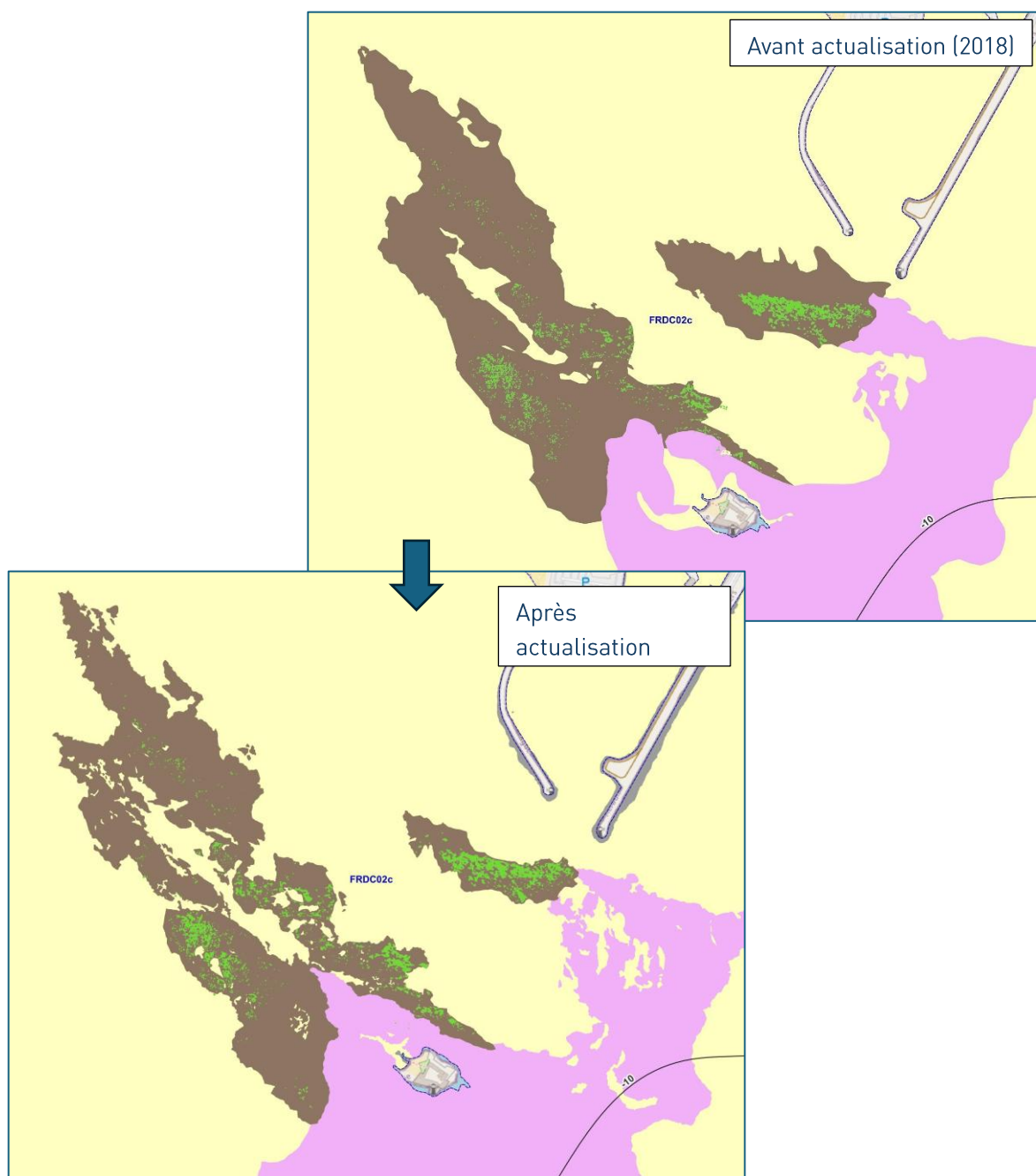


Figure 38 : Evolution de la cartographie sur le secteur de la ZMEL de Brescou entre 2018 et 2024-2025. Légende : rose = roche infralittorale ; marron = matte morte de posidonie ; vert = posidonie ; beige = fonds meubles infralittoraux ; gris = habitat artificiel.





Figure 39 : Observations effectuées en plongée sous-marine (transect géoréférencé) dans le secteur de la ZMEL de Brescou et à la sortie du port du Cap d'Agde en août 2025. Le substrat principal est composé de matte morte de posidonie, parfois en mosaïque avec la biocénose de la roche infralittorale ainsi que de fonds meubles fins à grossiers.

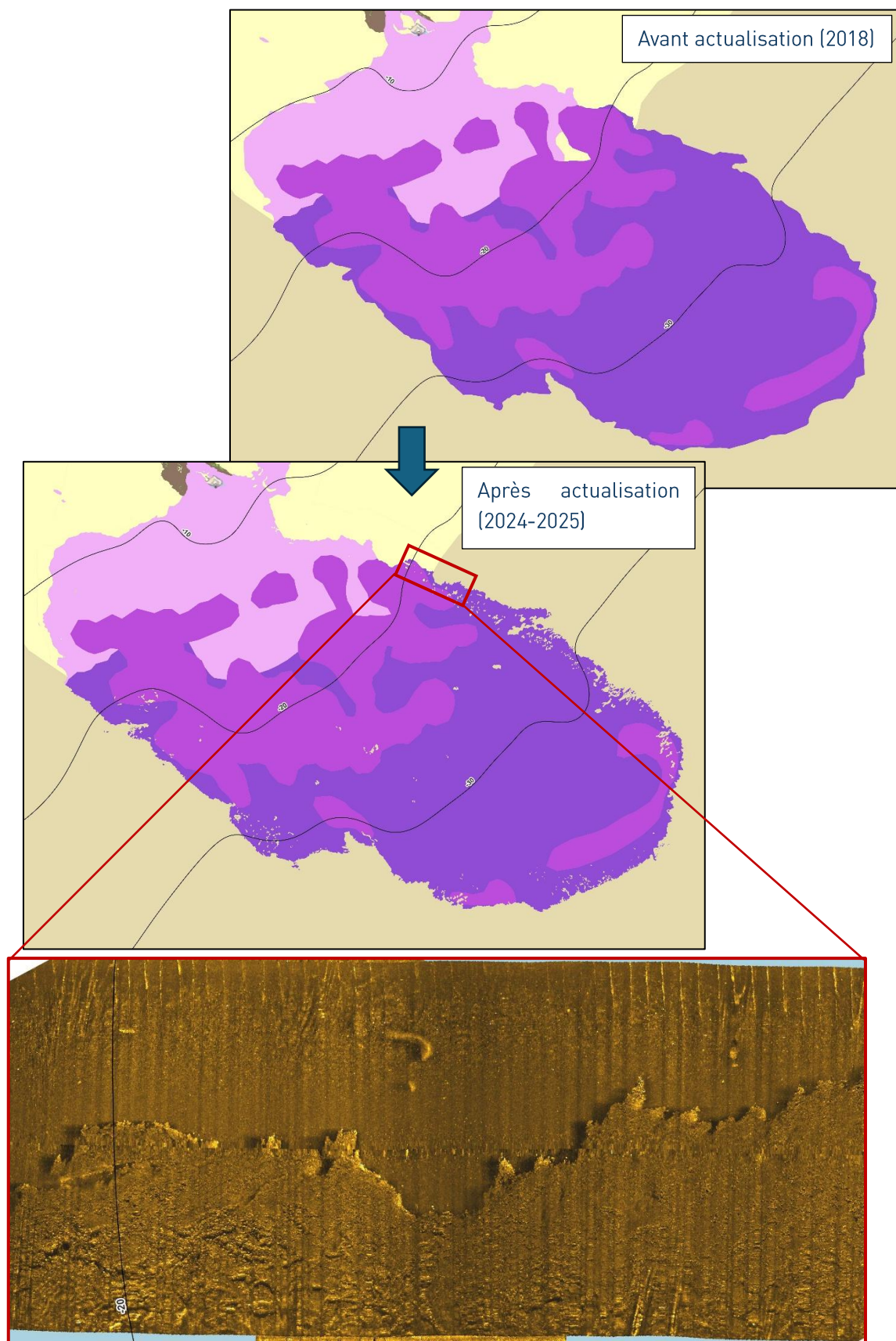
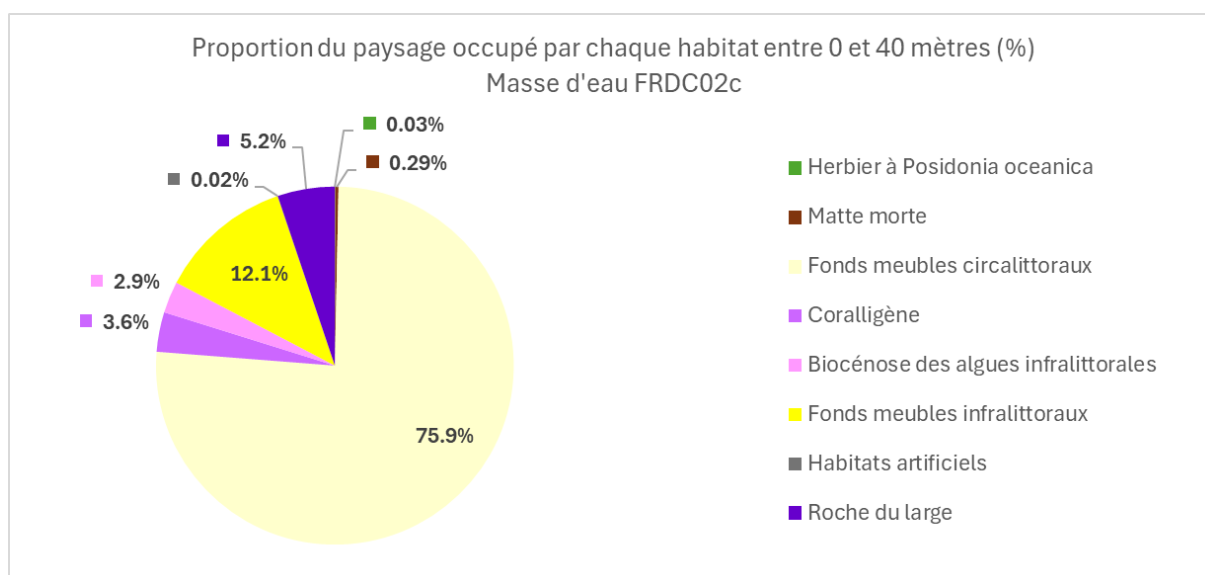


Figure 40: Evolution de la cartographie des biocénoses marines du Roc de Brescou. L'actualisation de cette zone concerne uniquement les limites externes des fonds rocheux qui ont pu être affinés grâce aux nouvelles mosaïques sonar acquises en mai 2024.



Figure 41 : Observations ponctuelles faite par caméra dans le secteur du Roc de Brescou en août 2025. La zone est principalement formée de fonds rocheux, de fonds meubles sablo-vaseux et de coquilles mortes. Des colonies de gorgones blanches (*Eunicella singularis*) ont été aperçues à la caméra sur des blocs rocheux et du coralligène envasé.

III.A.4.e. Analyse du paysage



La masse d'eau FRDC02c « Cap d'Agde » comprend huit biocénoses marines entre 0 et 40 mètres de profondeur dont la principale (recouvrement > 10 %) est celle des Fonds meubles circalittoraux (75,9 %). La biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* est présente (3,1 ha) ainsi que l'association de la matte morte (27,7 ha).

L'analyse de la comparaison des indicateurs surfaciques pour cette masse d'eau indique que les valeurs sont globalement faibles par rapport aux moyennes régionales. Seule la valeur du pourcentage total compris par la tache la plus grande est bien supérieure à la moyenne régionale. Cela est lié à la proportion très élevée qu'occupe l'habitat des fonds meubles circalittoraux, souvent formé par une seule grande tache continue.

La masse d'eau FRDC02c présente une diversité paysagère assez faible à l'échelle des masses d'eau occitanienes.

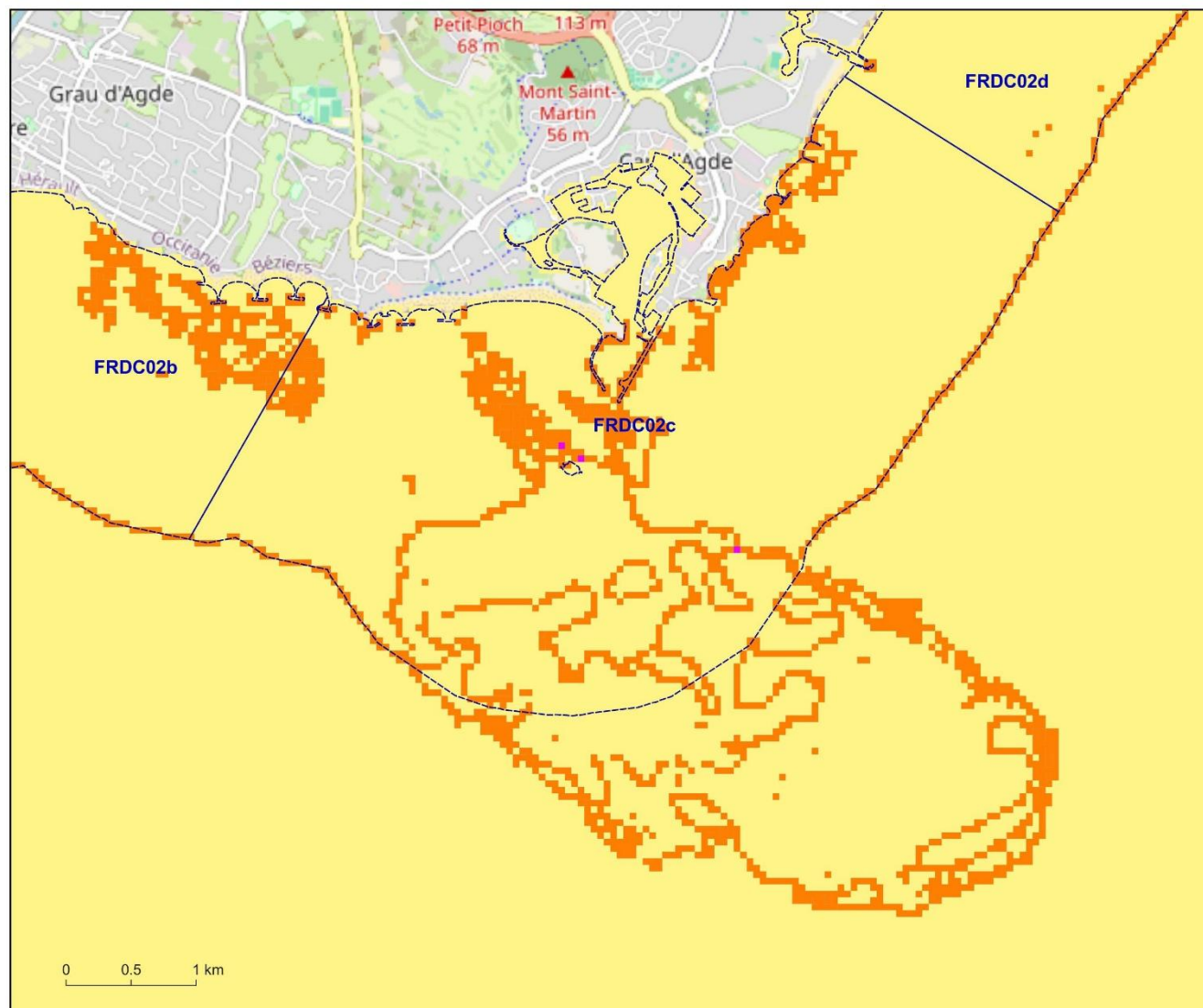
Cet indice est présenté sur la page suivante (pixel de 50 mètres).

Tableau 12 : Comparaison de plusieurs métriques entre 0 et 40 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC02c

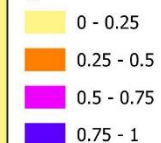
Région	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende
Masse d'eau	FRDC02c	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	
Surface du paysage (ha)	9469	2591 0 58984 21613.57
Nombre d'habitats dans le paysage	8	5 7.29 9
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	9.73	0.61 0 60.25 22.16
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	75.85	24.75 64.2 79.12
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.08	0.02 0 0.35 0.09
Diversité des habitats (Indice d'équité de Simpson)	0.46	0.39 0 0.74 0.51

SURFSTAT 2024-2025 : Indice de diversité de Simpson

FRDC02c - Cap d'Agde



Indice de diversité de Simpson (pixels de 50 mètres)



EDITEE LE : 21 / 4 / 2026
Sources des données :
- Indice de Simpson : Andromède Océanologie (2025)
- Fond de carte : OpenStreetMap
Système de coordonnées: EPSG:2154



L'herbier occupe 0,16% du paysage entre 0 et 20 mètres de fond. Ce taux de recouvrement est **très faible** à l'échelle de l'Occitanie.

Par rapport à l'ensemble des masses d'eau côtières occitaniennes, l'herbier de Posidonie de la masse d'eau FRDC02c se caractérise par un **nombre de taches moyennement faible** de faible taille et moyennement proches les unes des autres.

La valeur de l'**indice d'agrégation** est proche de la **moyenne** régionale.

La valeur de l'**indice de fragmentation** est pratiquement égale à 1. A noter que cette valeur est la même pour une grande partie des masses d'eau occitaniennes ; cela s'explique par le fait que cet habitat est très peu rencontré en Occitanie et donc que la probabilité que deux pixels d'une même masse d'eau (d'une surface de plusieurs milliers d'hectares) de la classe « posidonie » appartiennent à la même tache est très faible. Cette valeur de fragmentation ne sous-entend toutefois pas que les herbiers de posidonie sont dégradés localement.

L'**indice de régression** de la masse d'eau FRDC02c est très proche de la valeur maximale pour l'Occitanie. Cela s'explique par la **surface très élevée de matte morte cartographiée** entre 0 et -20 mètres (27,7 ha) par rapport à celle de la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* (3,1 ha).

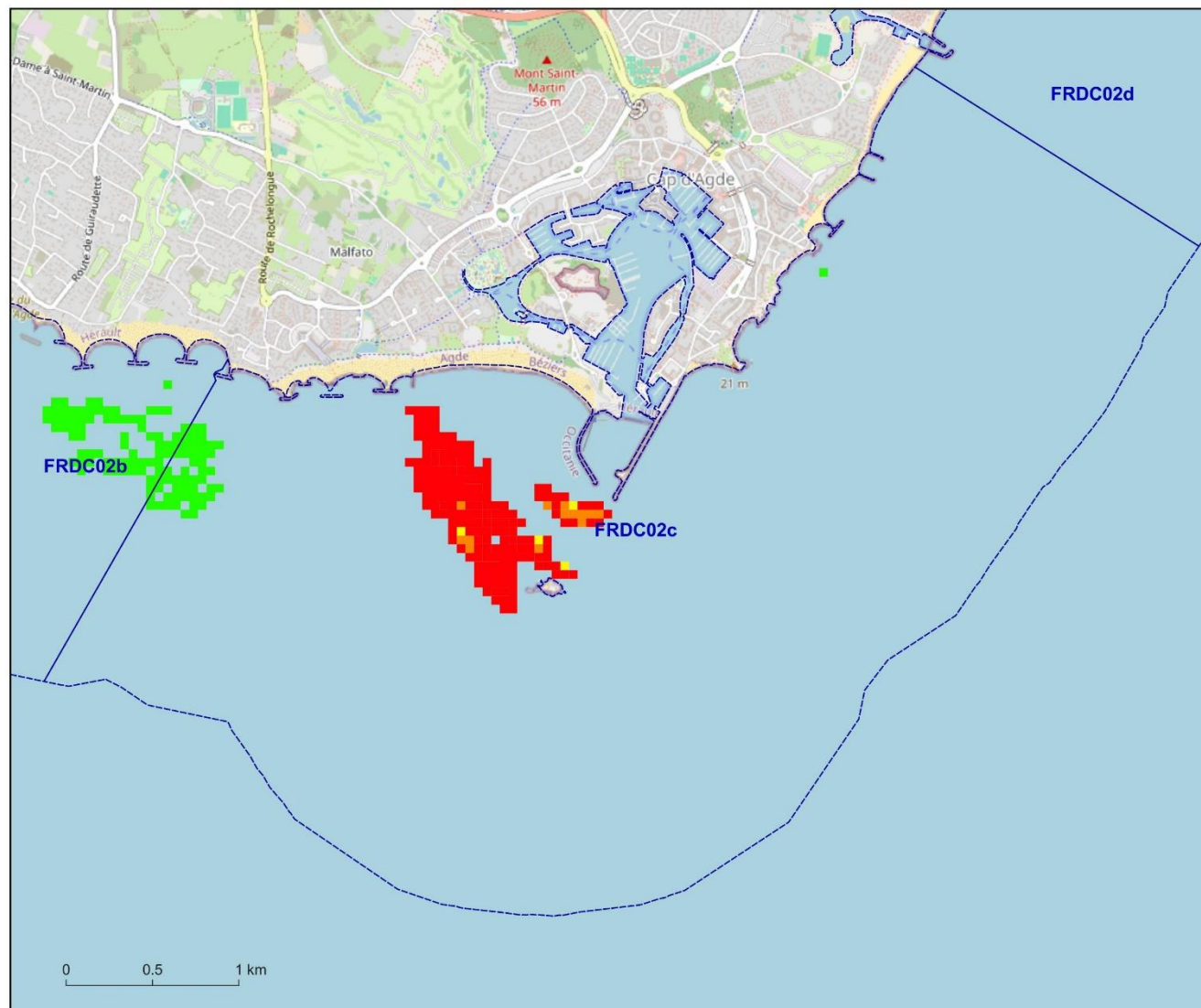
Cet indice est représenté sur un pixel de 50 mètres page suivante.

Tableau 13 : Comparaison de plusieurs métriques pour l'habitat herbier de Posidonie entre 0 et 20 mètres de fond pour la masse d'eau FRDC02c

Région	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende
Masse d'eau	FRDC02c	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-20	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	0.16	0 3.43 0.61
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	15.66	0.11 81.38 20.13
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	0.04	0 0.61 0.11
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.01	0 0.11 0.03
Indice de complexité des formes	1.06	1 1.08 1.05
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	7.46	6.51 9.11 7.63
Indice de fragmentation de l'herbier	0.99	0.99 1 0.99
Indice d'agrégation entre les taches (%)	24.36	0 59.88 29.35
Indice de régression de l'herbier	0.9	0 0.95 0.27

SURFSTAT 2024-2025 : Indice de régression

FRDC02c - Cap d'Agde



Indice de régression (pixels de 50 mètres)



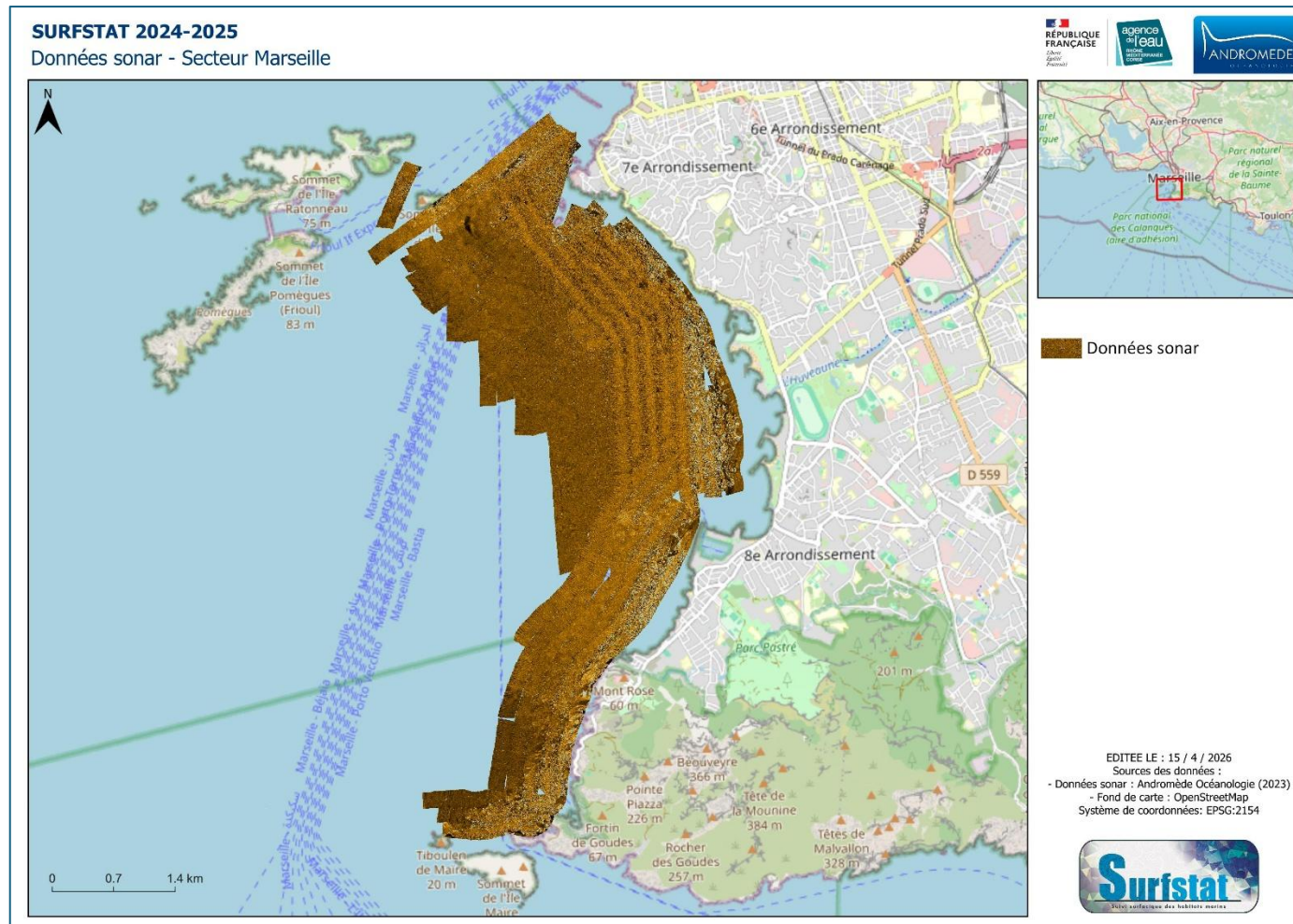
EDITEE LE : 21 / 4 / 2026
 Sources des données :
 - Indice de régression : Andromède Océanologie (2025)
 - Fond de carte : OpenStreetMap
 Système de coordonnées: EPSG:2154



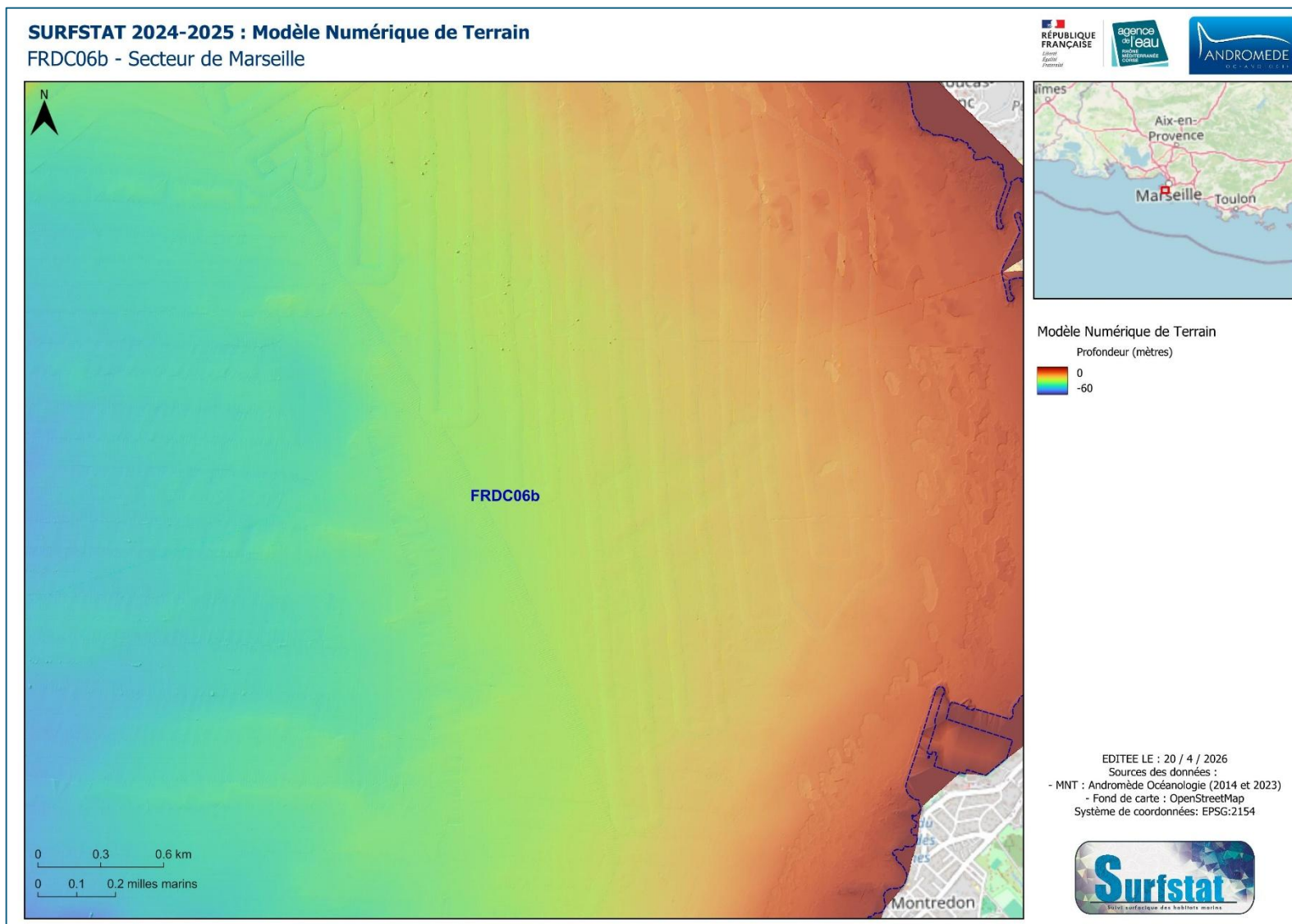
III.A. Actualisation de la cartographie des biocénoses marines à Marseille

III.A.1. Sonar latéral

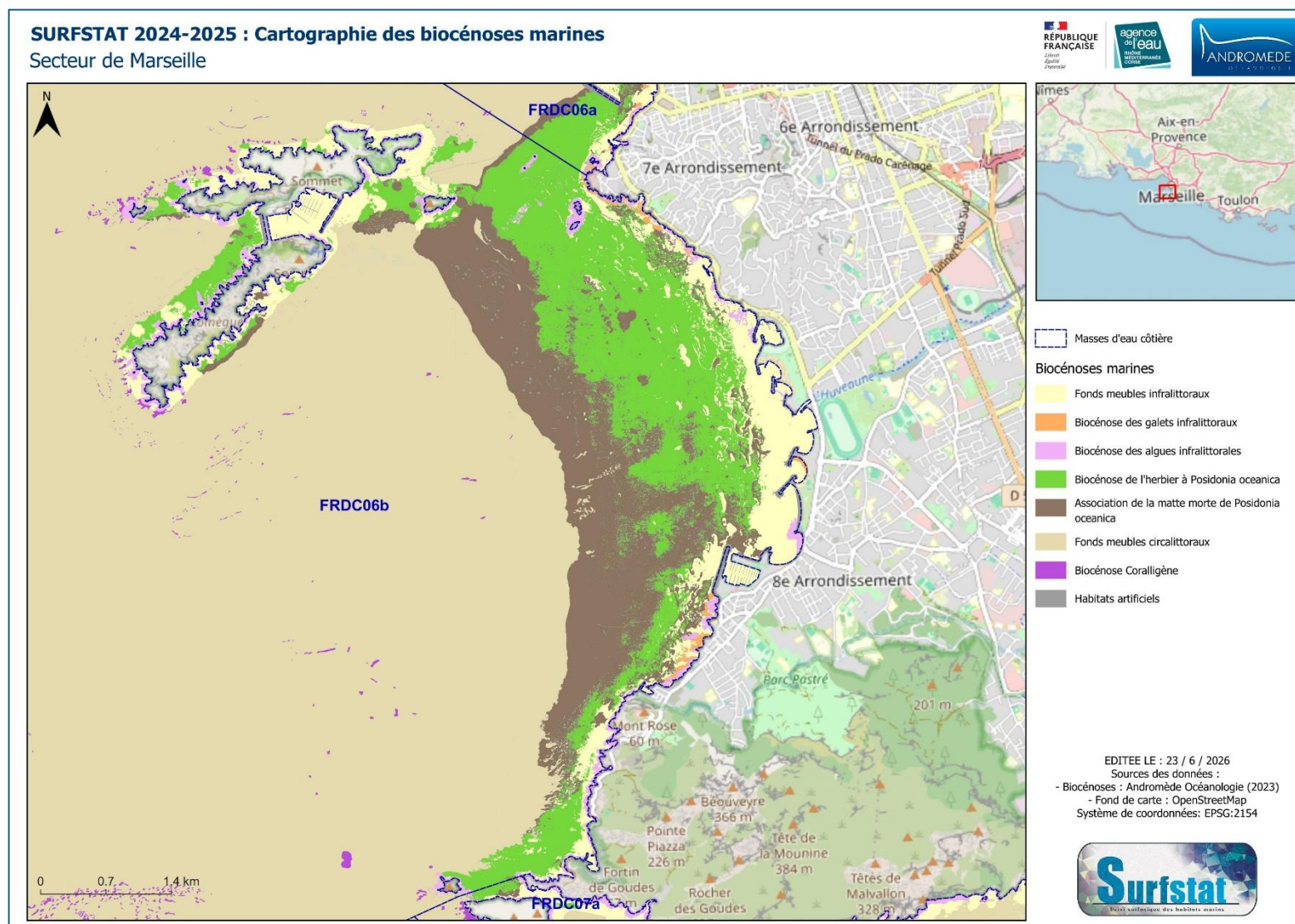
1730 hectares de données acoustiques ont été acquises au sonar latéral en novembre 2023.



III.A.2. Données bathymétriques



III.A.1. Cartographie des biocénoses marines



La mise à jour de la cartographie des biocénoses marines dans la petite Rade de Marseille, de la Pointe d'Endoume au Nord de l'Île Maire, a permis d'actualiser **630 ha de la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*** et **590 ha de la matte morte associée**. Lors de ce travail d'actualisation, **9 400 taches de recolonisation spontanées de posidonie** ont été recensées et cartographiées à la main entre 10 et 25 mètres de profondeur environ. De telles taches de recolonisation ont déjà été mises en évidence sur d'autres secteurs de la région Sud à partir de l'analyse des mosaïques sonar acquises en 2020 dans le cadre du programme [SURFSTAT](#), notamment entre Marseille et Villefranche sur Mer. Les vérités terrain réalisées sur quelques-unes de ces taches (projet [RECOVERY](#)) ont montré qu'il s'agissait de zones de **recolonisation de l'herbier à grande échelle**. Ces signes de repousse pourraient s'expliquer en partie par l'amélioration du traitement des eaux usées ([Bockel et al., 2024](#)) sur le pourtour méditerranéen français.

L'évolution de la cartographie est présentée ci-dessous.

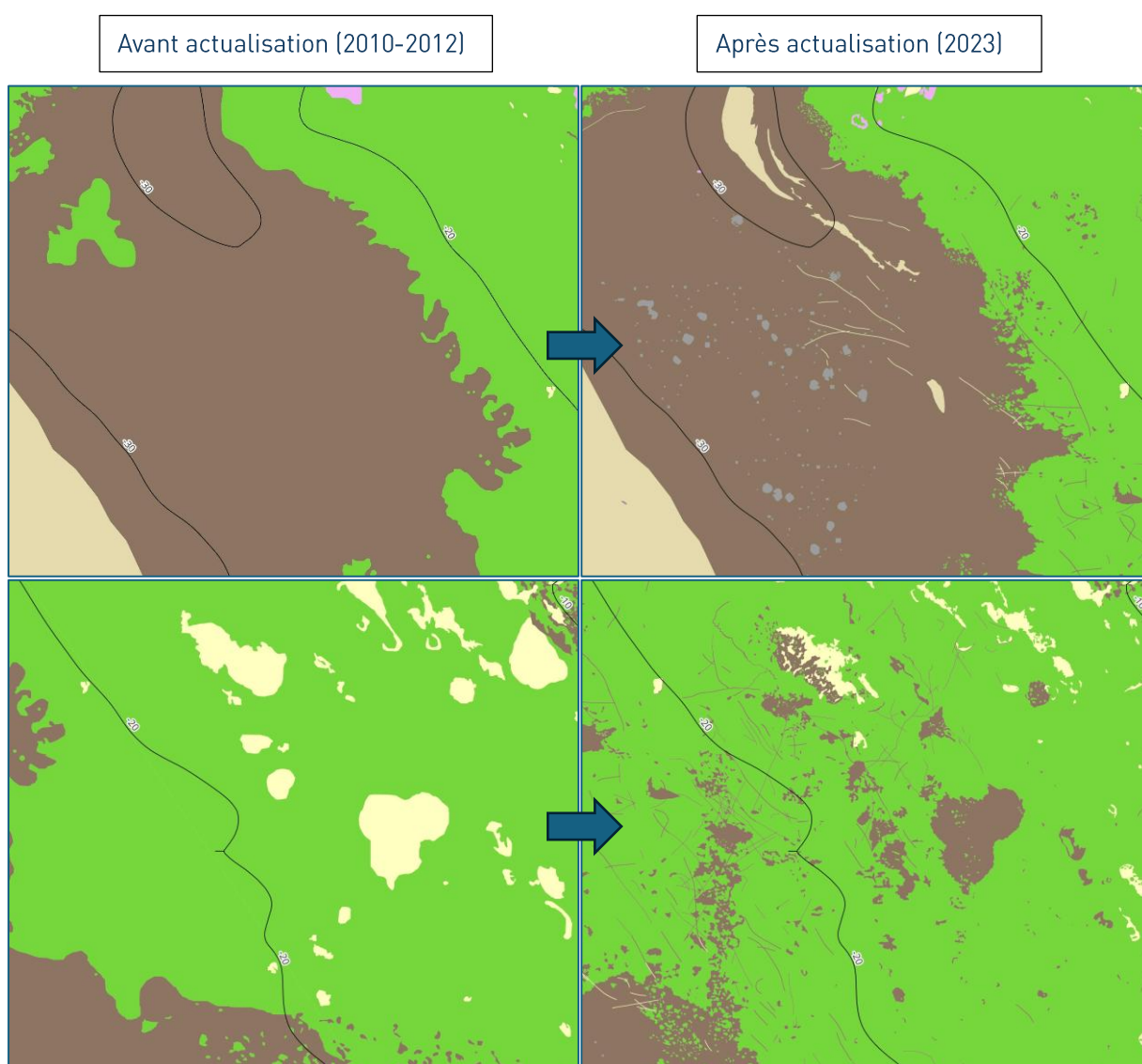


Figure 42 : Evolution de la cartographie des biocénoses marines sur le secteur de Marseille. Légende : vert = posidonie ; marron = matte morte ; beige = fonds meubles ; rose = roche infralittorale.

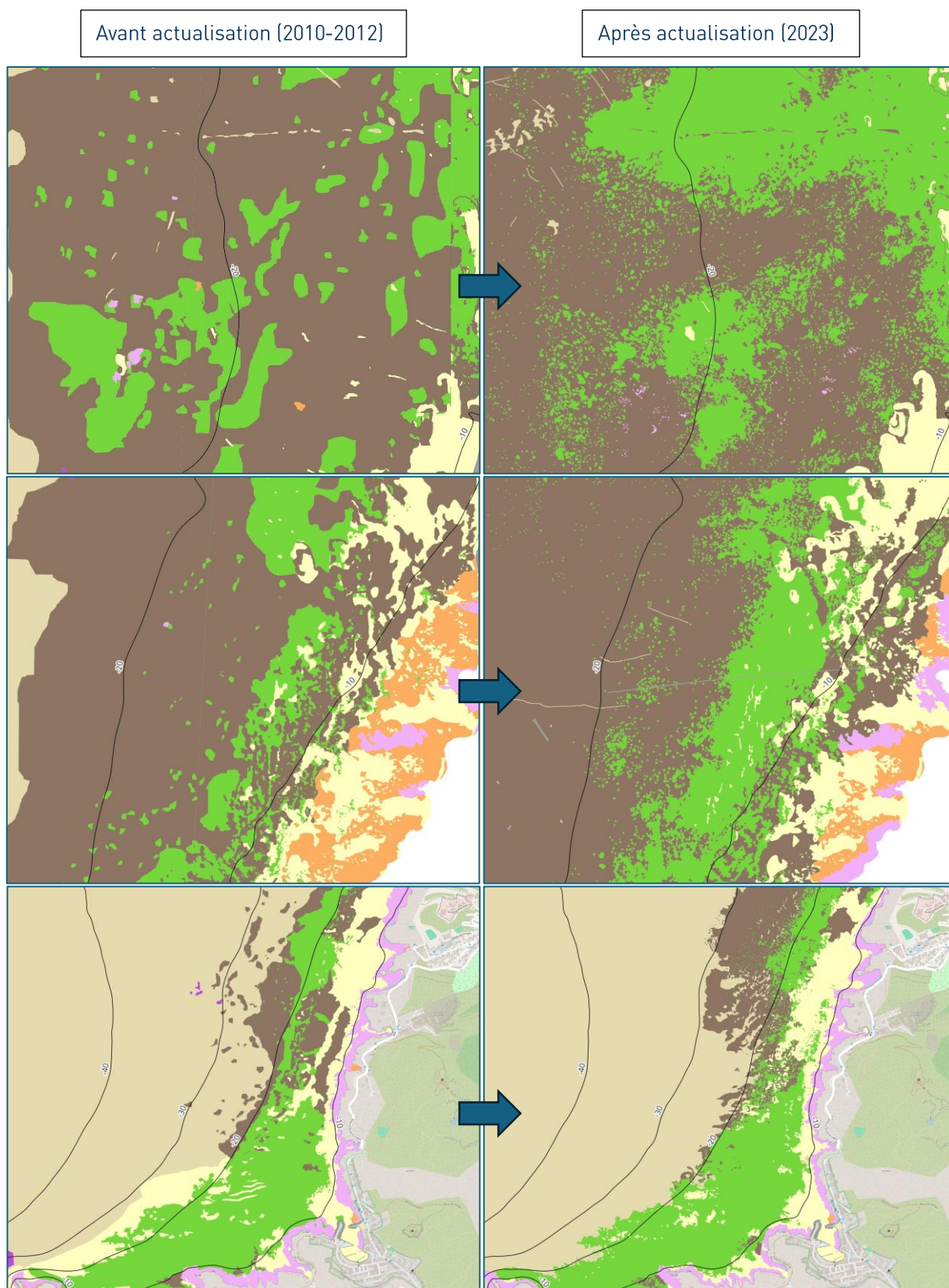


Figure 43 : Evolution de la cartographie des biocénoses marines entre 2010-2012 et 2023 sur le secteur de Marseille. Légende : vert = posidonie ; marron = matte morte ; beige = fonds meubles ; rose = roche infralittorale ; orange = galets infralittoraux

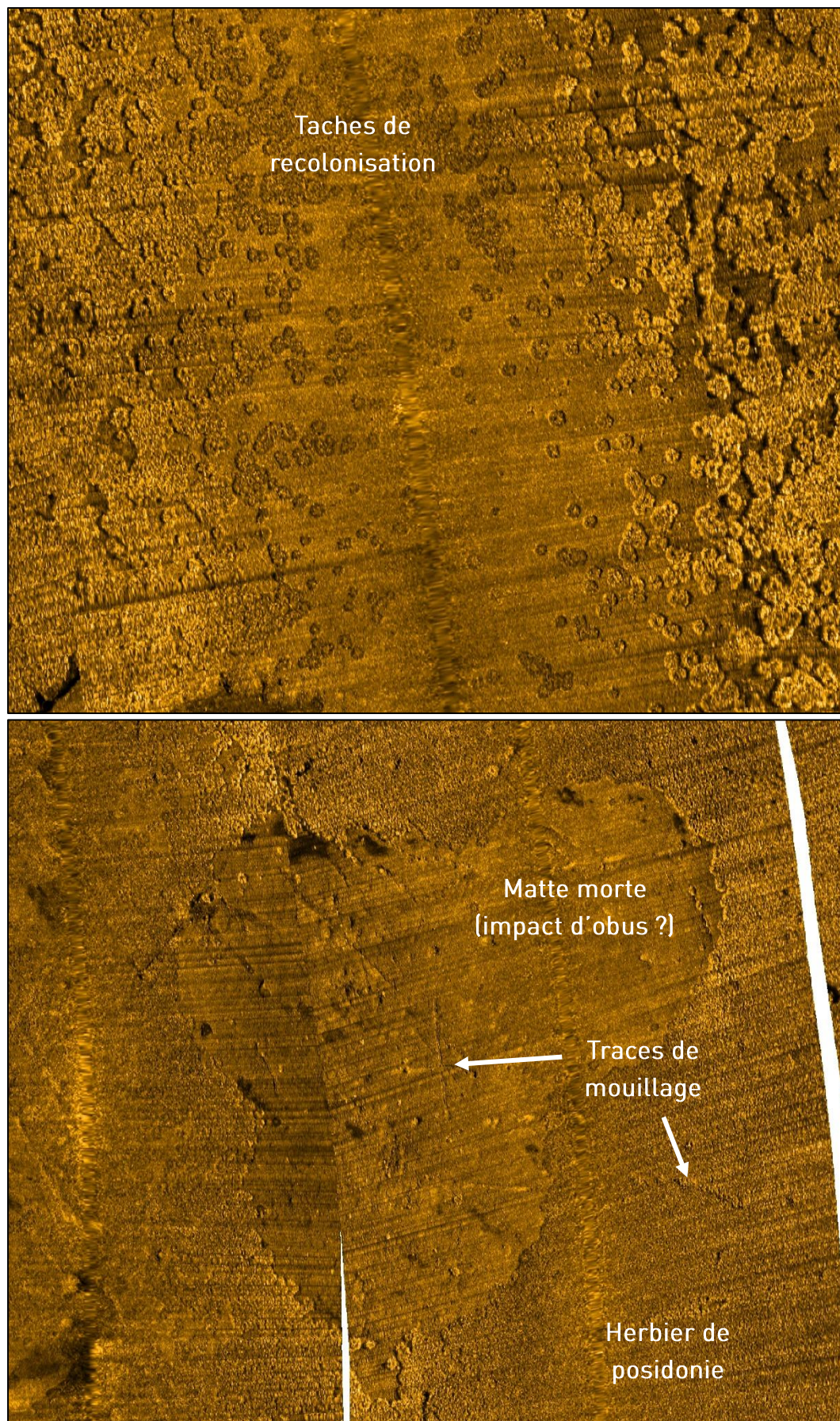


Figure 44 : Exports des bandes sonar [novembre 2023] ayant servi à actualiser la cartographie des biocénoses marines.

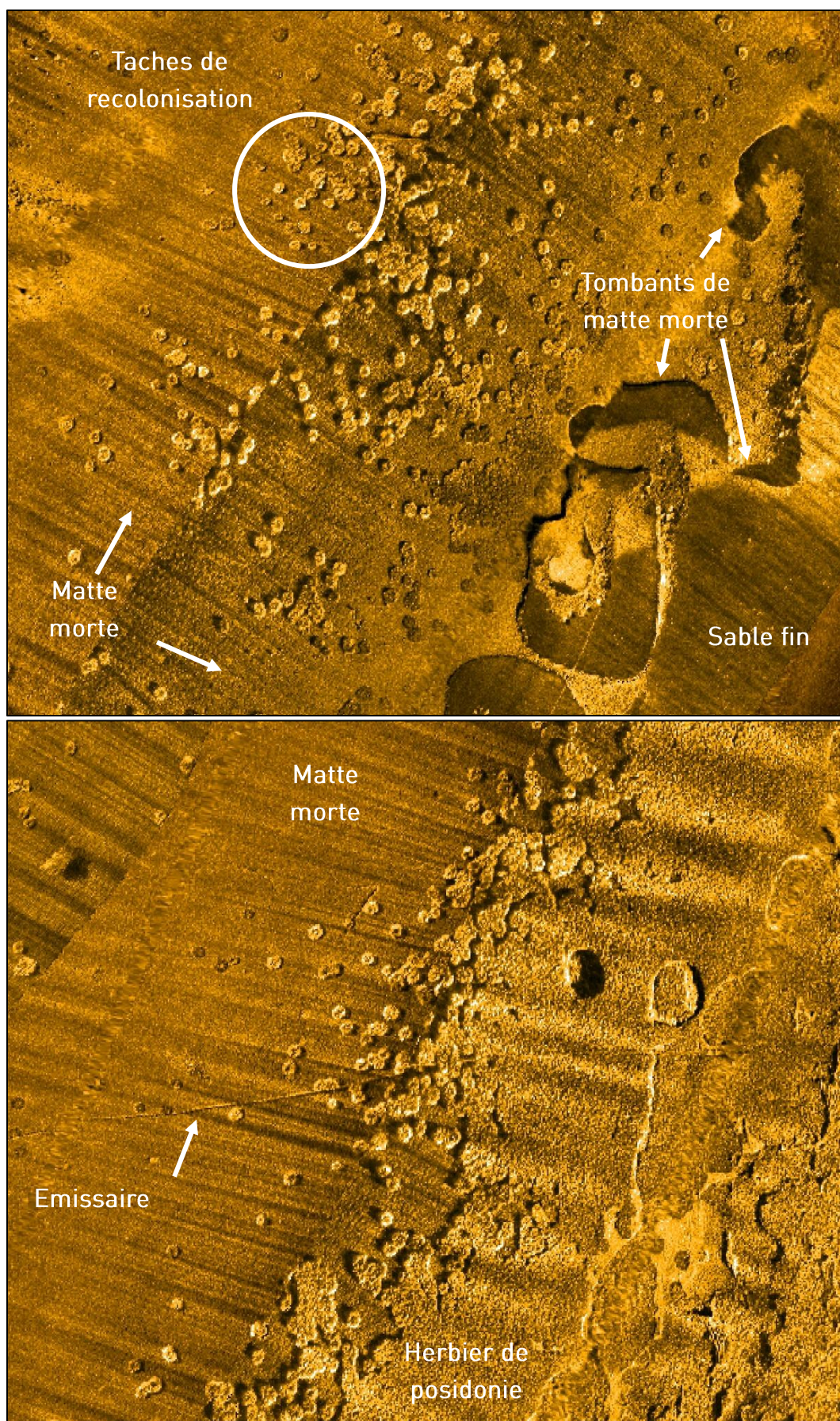


Figure 45 : Exports des bandes sonar (novembre 2023) ayant servi à actualiser la cartographie des biocénoses marines.



III.B. Cartographie de l'épaisseur des mattes de posidonie

III.B.1. Interprétation des différents réflecteurs

Après avoir dessiné le **réflecteur « fond »** de manière semi-automatique, un clic permet **de supprimer toute la colonne d'eau** (en blanc dans la figure ci-dessous). En ajustant les paramètres de gain, cela permet de contraster au mieux le signal et de distinguer le **1^{er} réflecteur** (en orange sur la figure suivante) qui est ensuite dessiné manuellement. Sous le 1^{er} réflecteur, on ne distingue le plus souvent que du « bruit » (i.e. pixels blancs et gris sans structuration spatiale), suggérant que le signal ne pénètre pas plus profondément que le 1^{er} réflecteur. Tous les profils sont ainsi traités, ce qui permet d'obtenir l'épaisseur du **1^{er} horizon sédimentaire** au droit des profils. La figure ci-dessous montre un **profil sismique après interprétation du fond et du 1^{er} réflecteur** sur la zone de Beaulieu-sur-Mer :

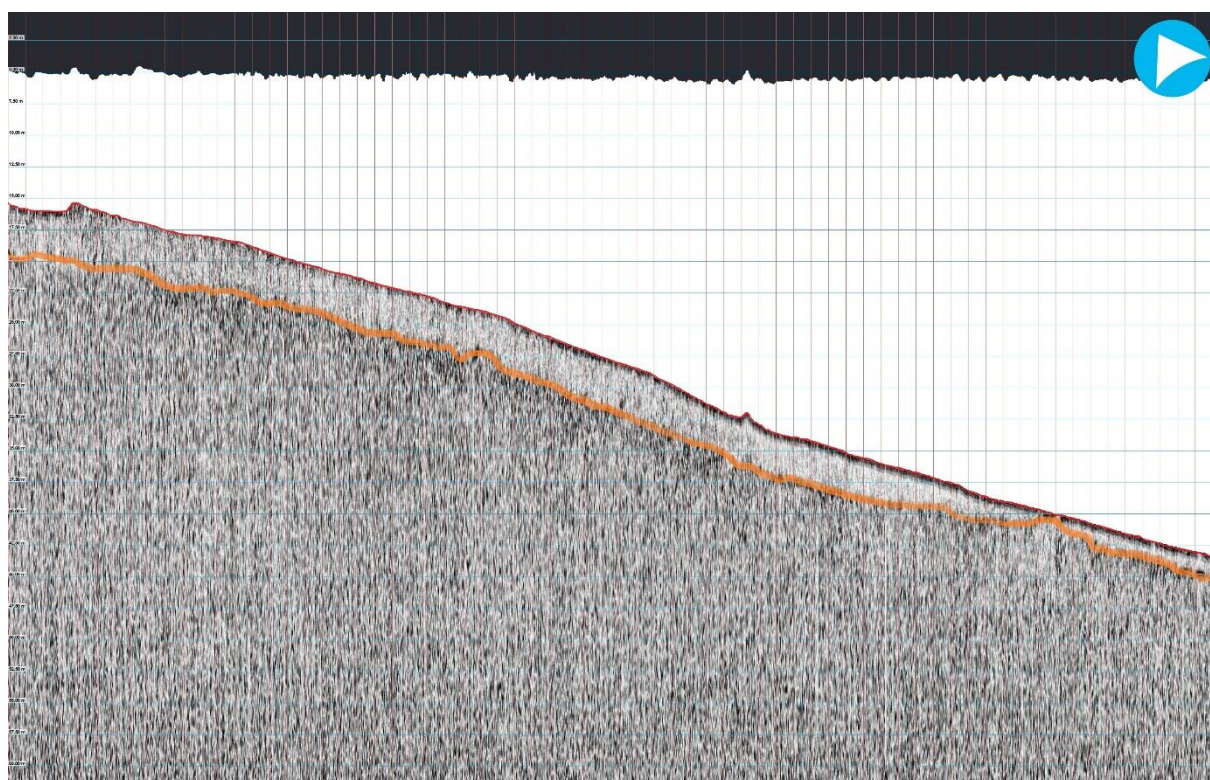


Figure 46 : Interprétation du fond (en rouge) et du 1^{er} réflecteur sous le fond (en orange) sur un profil de Beaulieu-sur-Mer.

III.B.2. Géosections

L'ensemble des profils traités sont ainsi **projetés dans l'espace 3D** sous forme de « **géosections** ». La figure suivante montre une **vue 3D de l'ensemble des géosections** analysées dans Delph Geo Interpretation, avec le fond en rouge et le 1^{er} réflecteur en orange :

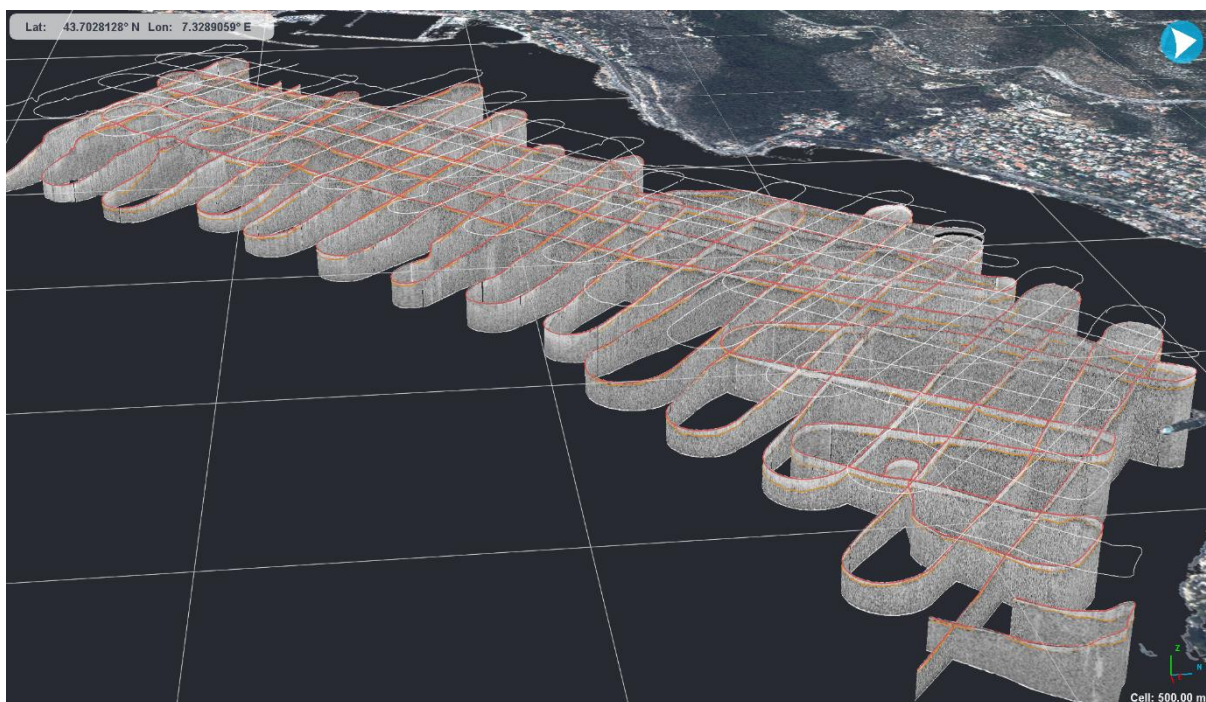


Figure 47 : Vue 3D d'ensemble des géosections produites à partir de l'analyse des transects (en route le fond, en orange le 1er réflecteur) à Beaulieu-sur-Mer

La figure suivante montre une **vue 3D zoomée** sur la zone d'étude, permettant de distinguer le **premier horizon** sur chaque profil :

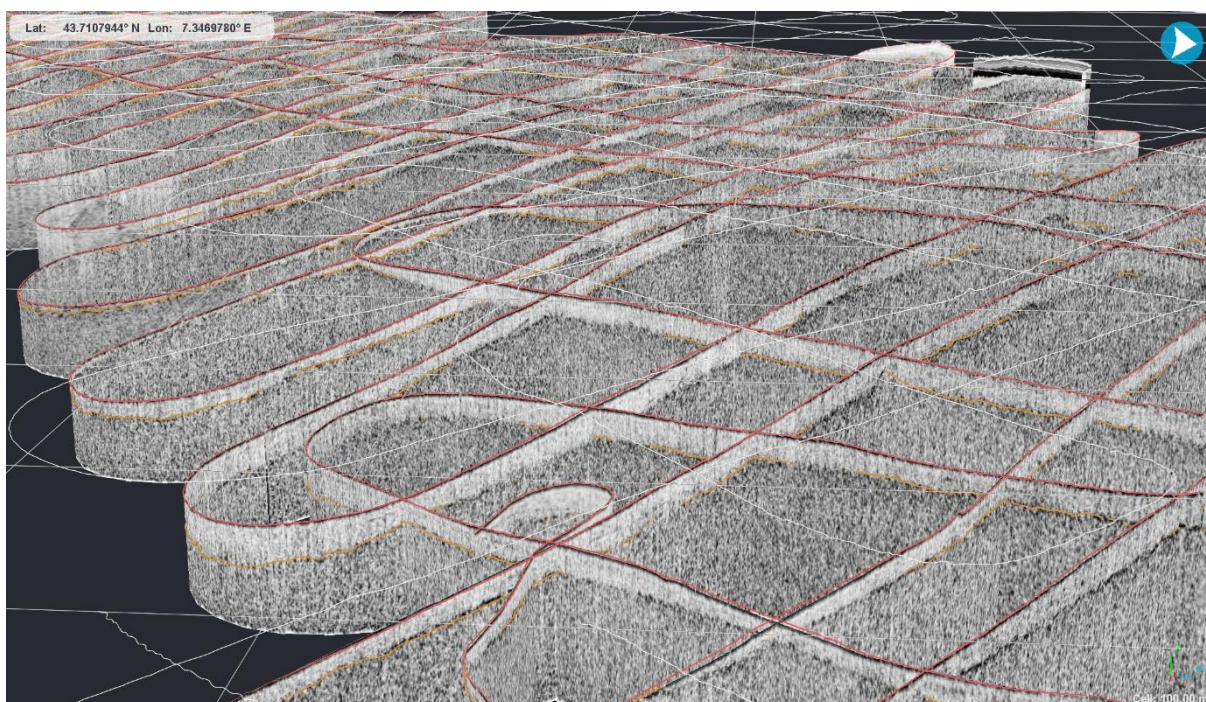


Figure 48 : Vue 3D rapprochée des géosections produites à partir de l'analyse des transects (en route le fond, en orange le 1er réflecteur) de Beaulieu-sur-Mer

III.B.3. Cartographie de l'épaisseur du 1^{er} horizon

La **carte d'épaisseur** a été générée par **interpolation des valeurs d'épaisseur** en chaque point de chaque profil. Deux **vitesse de propagation** ont été utilisées pour convertir les temps de propagation des trains d'ondes en distance et ainsi **calculer l'épaisseur du 1^{er} horizon** :

- **1600 m/s** : vitesse moyenne dans un **substrat vaseux** ;
- **1800 m/s** : vitesse moyenne dans du **sable compact**.

La figure suivante illustre la carte d'épaisseur à **Beaulieu-sur-Mer** obtenue avec l'**hypothèse 1600 m/s** :

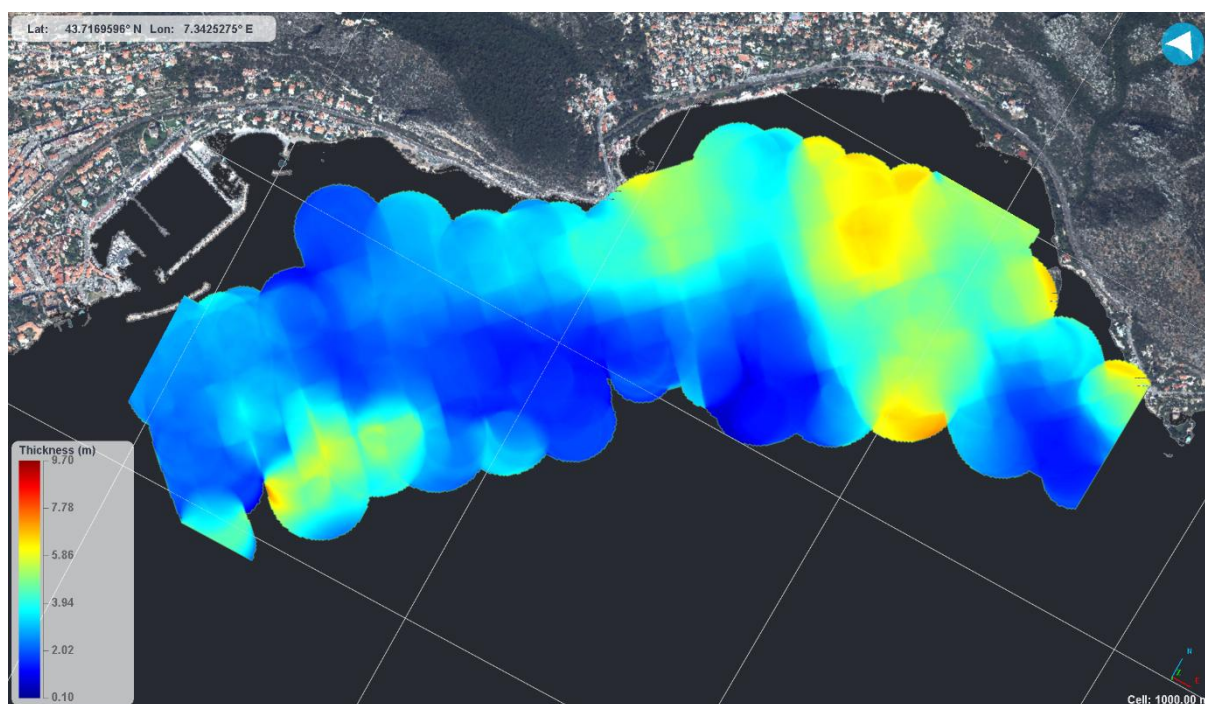


Figure 49 : Carte de l'épaisseur du 1^{er} horizon de Beaulieu-sur-Mer avec hypothèse vitesse de propagation 1600 m/s

Avec l'**hypothèse 1600 m/s** à Beaulieu-sur-Mer, l'épaisseur prend ses valeurs entre **0,9 et 7,1 m**. Pour autant, les valeurs maximales se trouvent en limite de transect, dans des zones potentiellement extrapolées par le logiciel.

La figure suivante illustre la carte d'épaisseur à **Beaulieu-sur-Mer** obtenue avec l'**hypothèse 1800 m/s** :

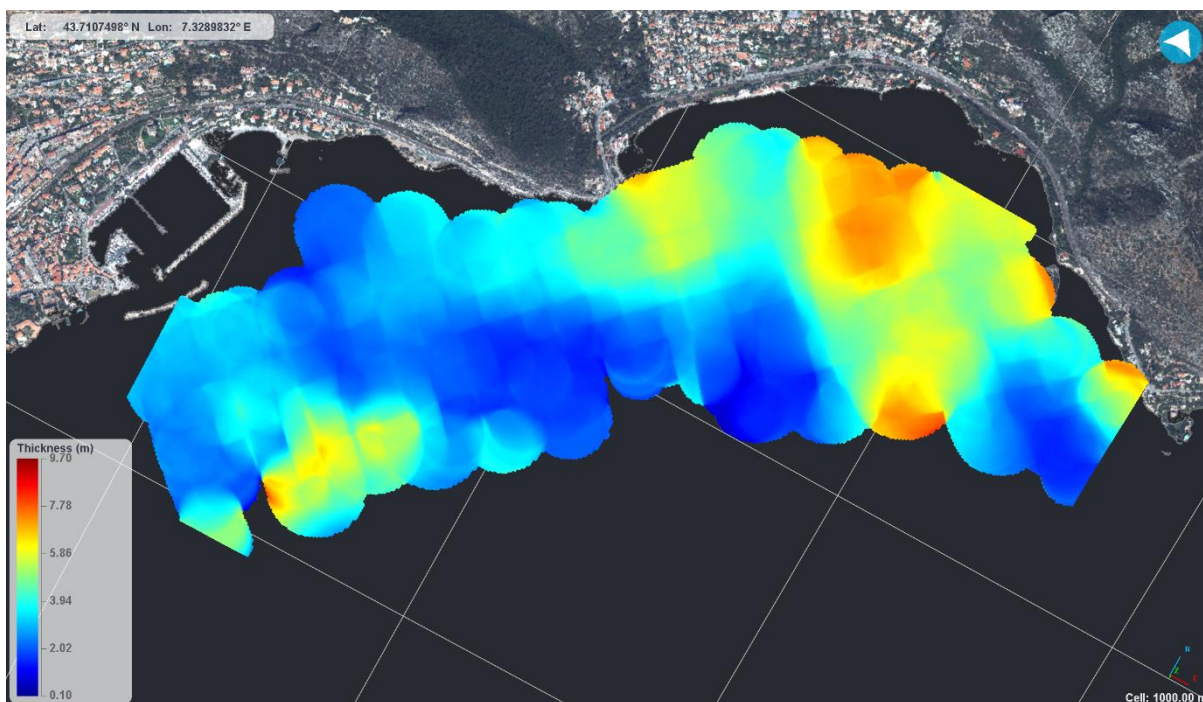


Figure 50 : Carte de l'épaisseur du 1er horizon de Beaulieu-sur-Mer avec hypothèse vitesse de propagation 1800 m/s

Avec l'hypothèse 1800 m/s à Beaulieu-sur-Mer, l'épaisseur prend ses valeurs entre 1,0 et 8,0 m. Pour autant, les valeurs maximales se trouvent en limite de transect, dans des zones potentiellement extrapolées par le logiciel.

La figure suivante illustre la carte d'épaisseur à Roquebrune-Cap-Martin obtenue avec l'hypothèse 1600 m/s :

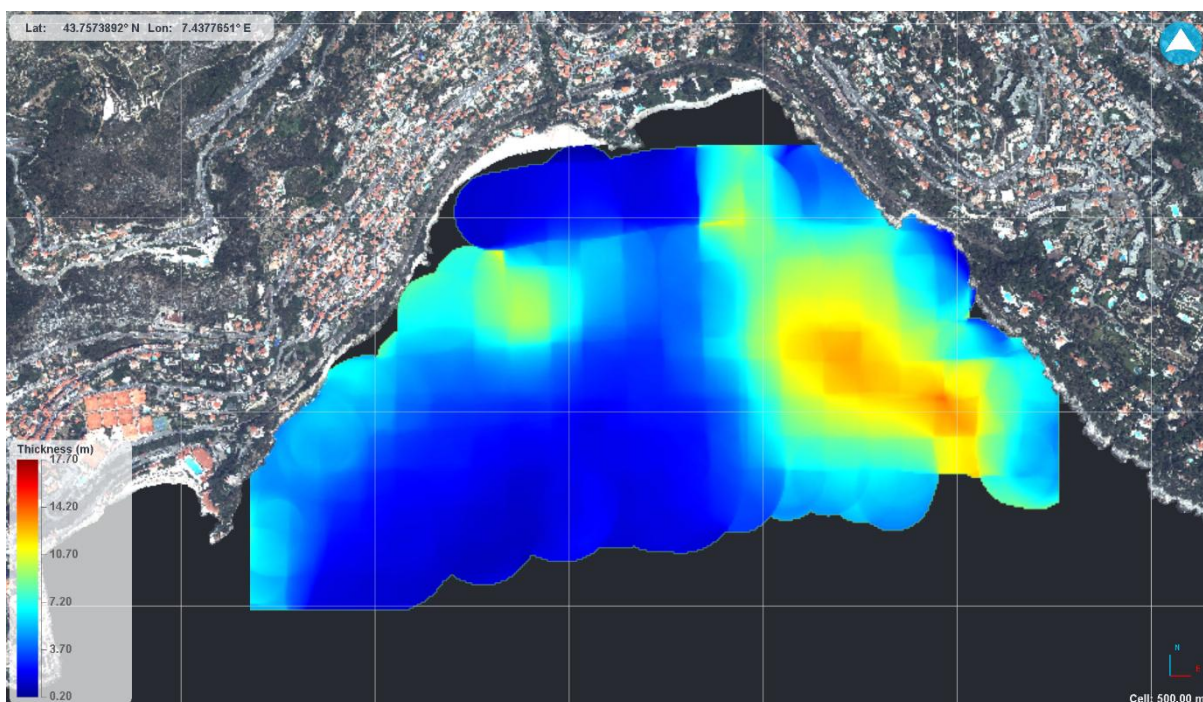


Figure 51 : Carte de l'épaisseur du 1^{er} horizon de Roquebrune-Cap-Martin avec hypothèse vitesse de propagation 1600 m/s

Avec l'hypothèse 1600 m/s à Roquebrune-Cap-Martin, l'épaisseur prend ses valeurs entre 0,6 et 13,6 m. Pour autant, les valeurs maximales se trouvent dans une zone où les profils étaient difficiles à interpréter, avec beaucoup de bruit et un 1^{er} réflecteur qui disparaît par endroits, rendant moins fiable l'estimation de l'épaisseur du 1^{er} horizon (voir ci-après).

La figure suivante illustre la carte d'épaisseur à Roquebrune-Cap-Martin obtenue avec l'hypothèse 1800 m/s :

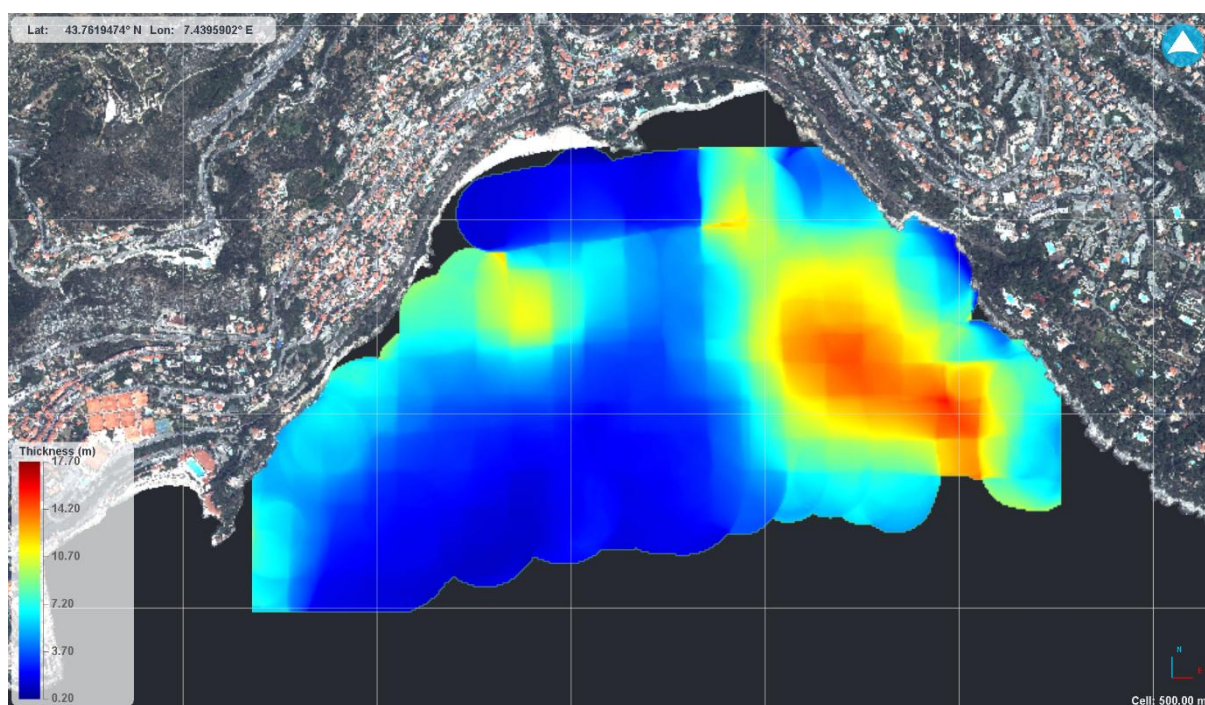


Figure 52 : Carte de l'épaisseur du 1^{er} horizon de Roquebrune-Cap-Martin avec hypothèse vitesse de propagation 1800 m/s

Avec l'hypothèse 1800 m/s à Roquebrune-Cap-Martin, l'épaisseur prend ses valeurs entre 0,7 et 15,3 m. Pour autant, les valeurs maximales se trouvent dans une zone où les profils étaient difficiles à interpréter, avec beaucoup de bruit et un 1^{er} réflecteur qui disparaît par endroits, rendant moins fiable l'estimation de l'épaisseur du 1^{er} horizon. La figure suivante montre les géosections sur cette zone :

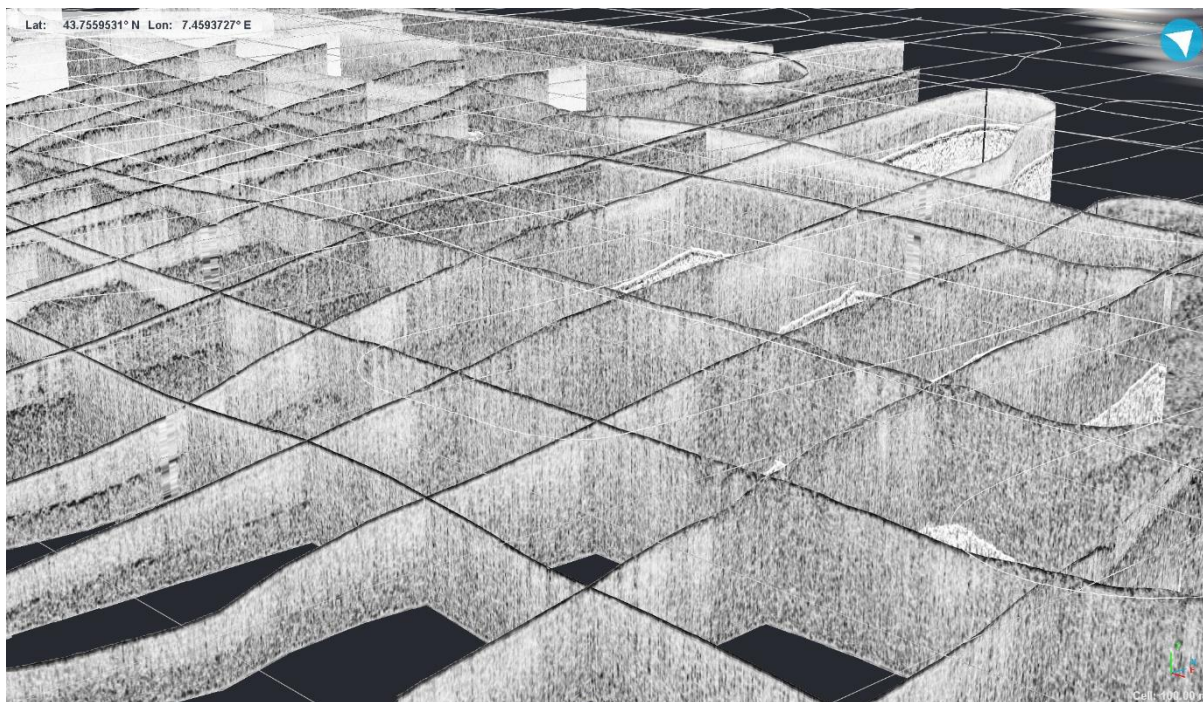


Figure 53 : Zone de Roquebrune-Cap-Martin difficile à interpréter et correspondant à la partie la plus épaisse de la carte d'épaisseur

III.B.4. Liens avec les biocénoses

Afin d'étudier les liens avec les biocénoses, nous avons extrait la **typologie DONIA EXPERT** pour chaque point de la carte d'épaisseur de chaque zone. Nous avons supprimé les pixels pour lesquels :

- Profondeur > -5m ;
- Pente > 70° ;
- Epaisseur <= 0.

La figure suivante montre la **distribution des valeurs d'épaisseur** du 1^{er} horizon en fonction de la **typologie de biocénose**, pour les deux sites confondus et l'hypothèse 1600 m/s :

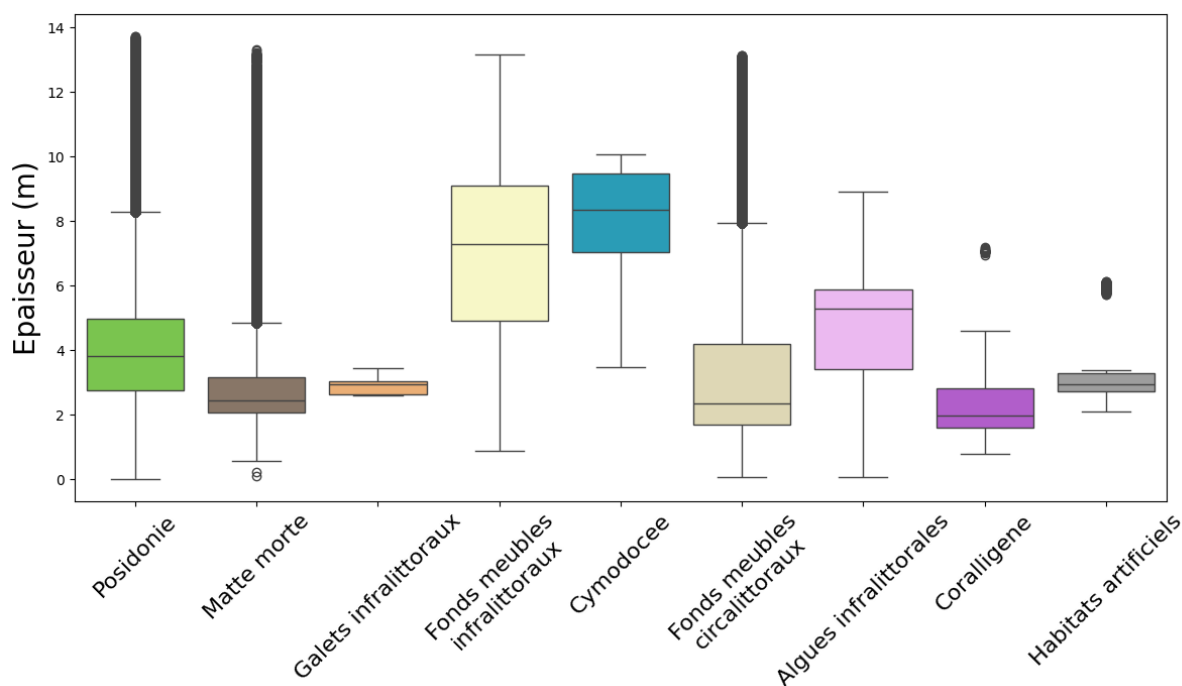


Figure 54 : Distribution des valeurs d'épaisseur du premier horizon par typologie de biocénose pour les deux sites confondus, avec l'hypothèse 1600 m/s

Les trois variables **profondeur**, **pente** et **biocénose** ont un effet significatif sur l'épaisseur du 1er horizon (t-test ; p-value < 0.001) : l'épaisseur tend à être plus importante dans les petits fonds et lorsque la pente est plus forte. Prises seules, la **profondeur** et la **pente** expliquent **7,8 % de la variance** des données ($R^2 = 0,078$), et en ajoutant la variable **biocénose**, la **variance expliquée est de 17,3 %**, donc une majorité de la variance de l'épaisseur reste inexpliquée.

Relativement à la posidonie :

- Certains habitats ont une **épaisseur significativement inférieure** : matte morte, galets infralittoraux, fonds meubles circalittoraux, coralligène, habitats artificiels ;
- Certains habitats ont une **épaisseur significativement supérieure** : fonds meubles infralittoraux, cymodocée, algues infralittorales.

NB : le graphique et résultats avec l'hypothèse 1800 m/s sont identiques à un facteur constant près (1800/1600).

III.C. Evolution des herbiers de posidonie dans les zones de recolonisation naturelle

III.C.1. Deux-frères

a. Présentation du site

Le site « **Deux frères** » est situé dans la masse d'eau 'Pointe du Gaou – Pointe de l'Escampobariou' (FRDC07f), au sud de Six-Fours-les-Plages. L'herbier de plaine se développe sur un fond de matte morte, de sable grossier et de roche. A -18 mètres l'herbier de posidonie se trouve sous forme de taches circulaires sur fond de matte morte et sable grossier. Ces taches d'herbier ont été modélisées par la méthode de photogrammétrie lors de plongées effectuées les **26 février 2021²** et **10 mars 2026**. Des mesures de vitalité (densité de faisceaux, déchaussement, longueur de feuilles) ont été effectuées au niveau de trois taches (Andromède Océanologie, 2023).

b. Illustrations du site



Figure 55 : Illustrations de l'herbier sur le site étudié (2021).

² Andromède Océanologie, 2023. Projet RECOVERY – Etude de la recolonisation des herbiers de Posidonie (*Posidonia oceanica*) en Méditerranée française. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 97 pages.

c. Localisation du site sur la cartographie des biocénoses marines et l'imagerie sonar

Une zone de reprise d'herbier est présente au sein de l'herbier de posidonie, au sud de Six-Fours-les-Plages. Située entre 12 et 19 m de profondeur, les dimensions de cette zone ont été mesurées à partir des données sonar 2021 : 230 m de long pour une surface de 2,03 ha (figure suivante).

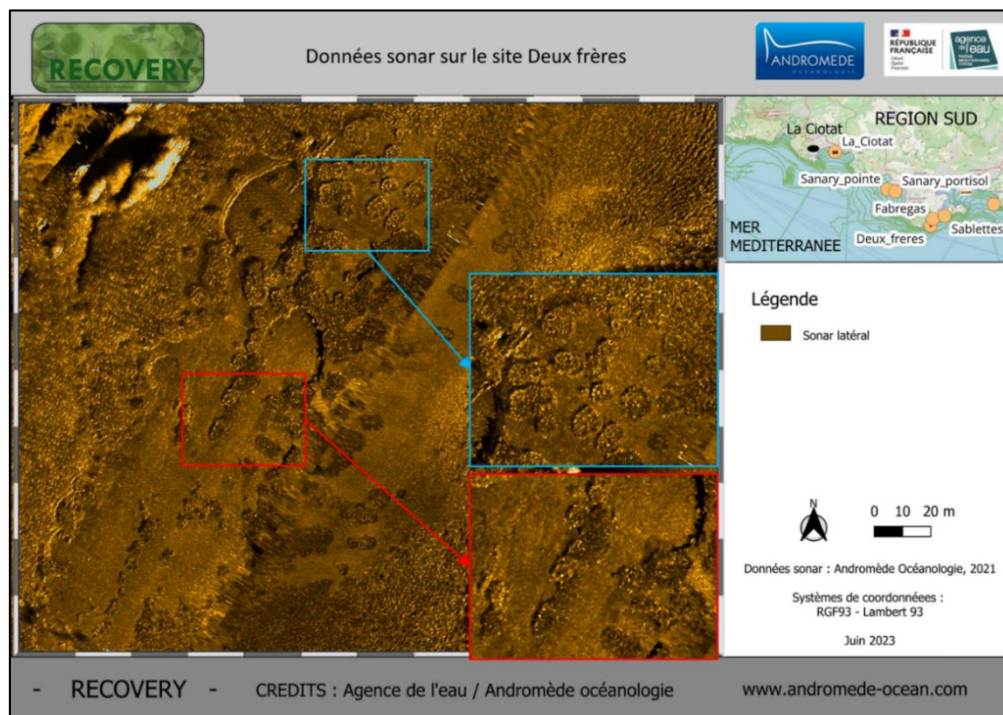


Figure 56 : Cartographie des données sonar acquises en 2021 sur le site étudié intégrant deux zooms (carrés rouge et bleu).

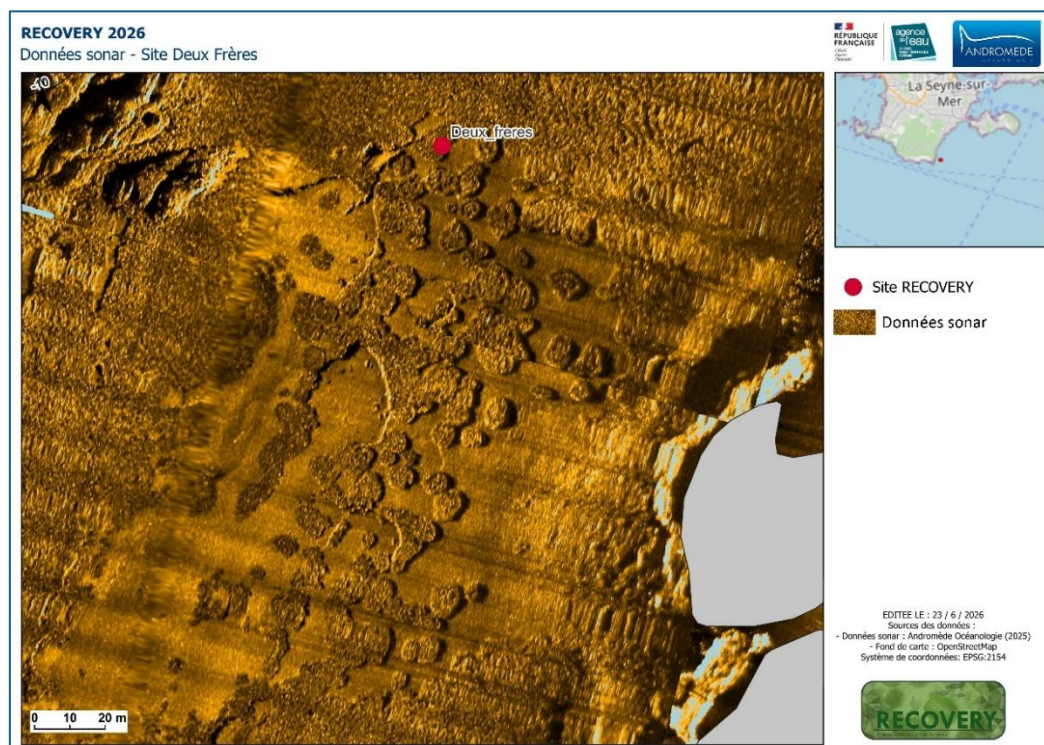


Figure 57 : Cartographie des données sonar acquises en 2025 sur le site étudié.

d. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

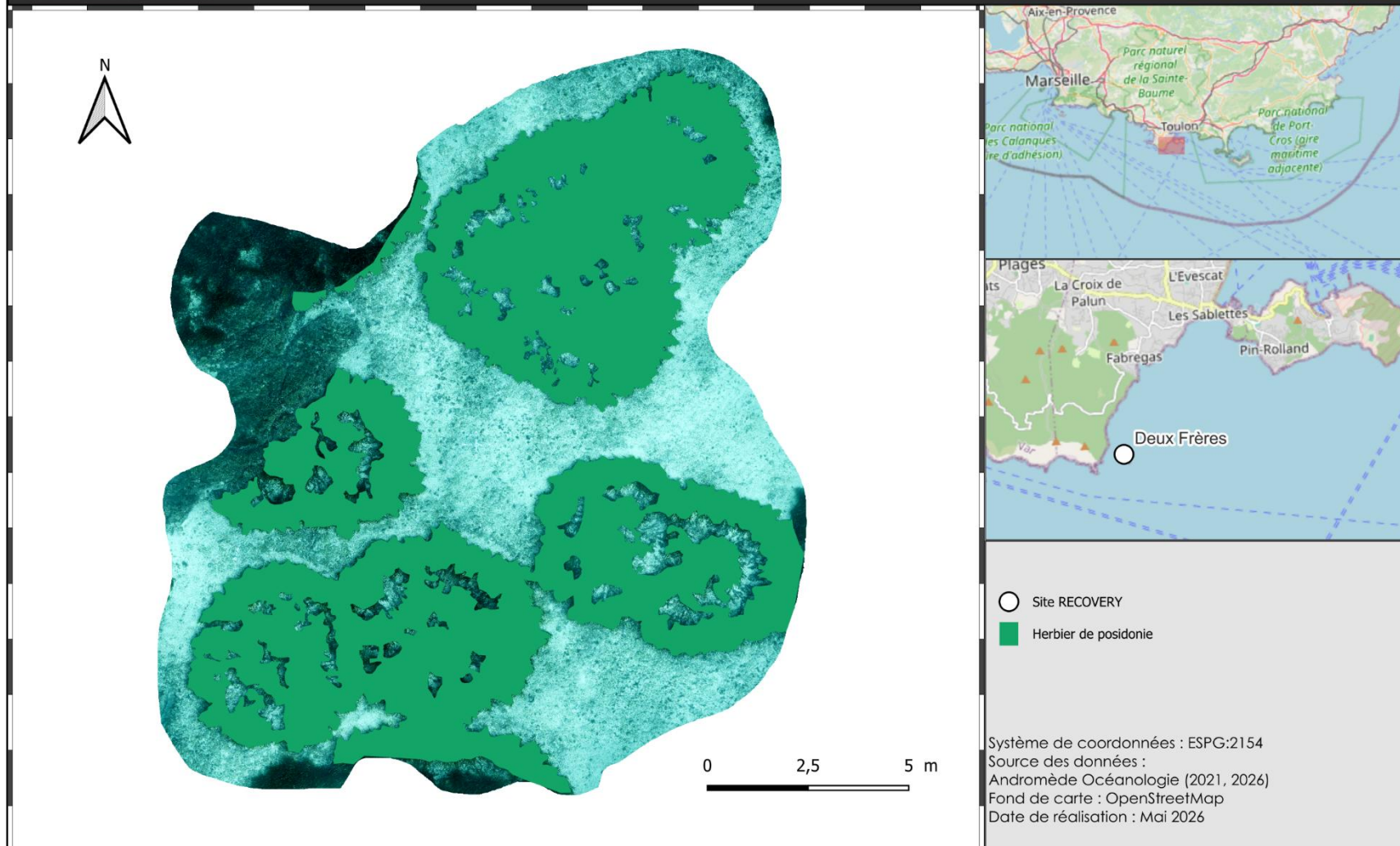
Une microcartographie de l'herbier de posidonie a été réalisée sur ce site par photogrammétrie en 2021 grâce à l'acquisition de 2343 photos puis en 2026 à partir de 1655 photos. La comparaison de cette cartographie fine permet de suivre la **dynamique évolutive de l'herbier sur cinq ans**. Ainsi, pour la période **2021-2026**, on observe 15,70 % de discordance positive, 7,04 % de discordance négative et 77,27 % de concordance. L'indice d'évolution de l'herbier (0,38) indique un **herbier en progression**.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 puis en 2026 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive 2021-2026.



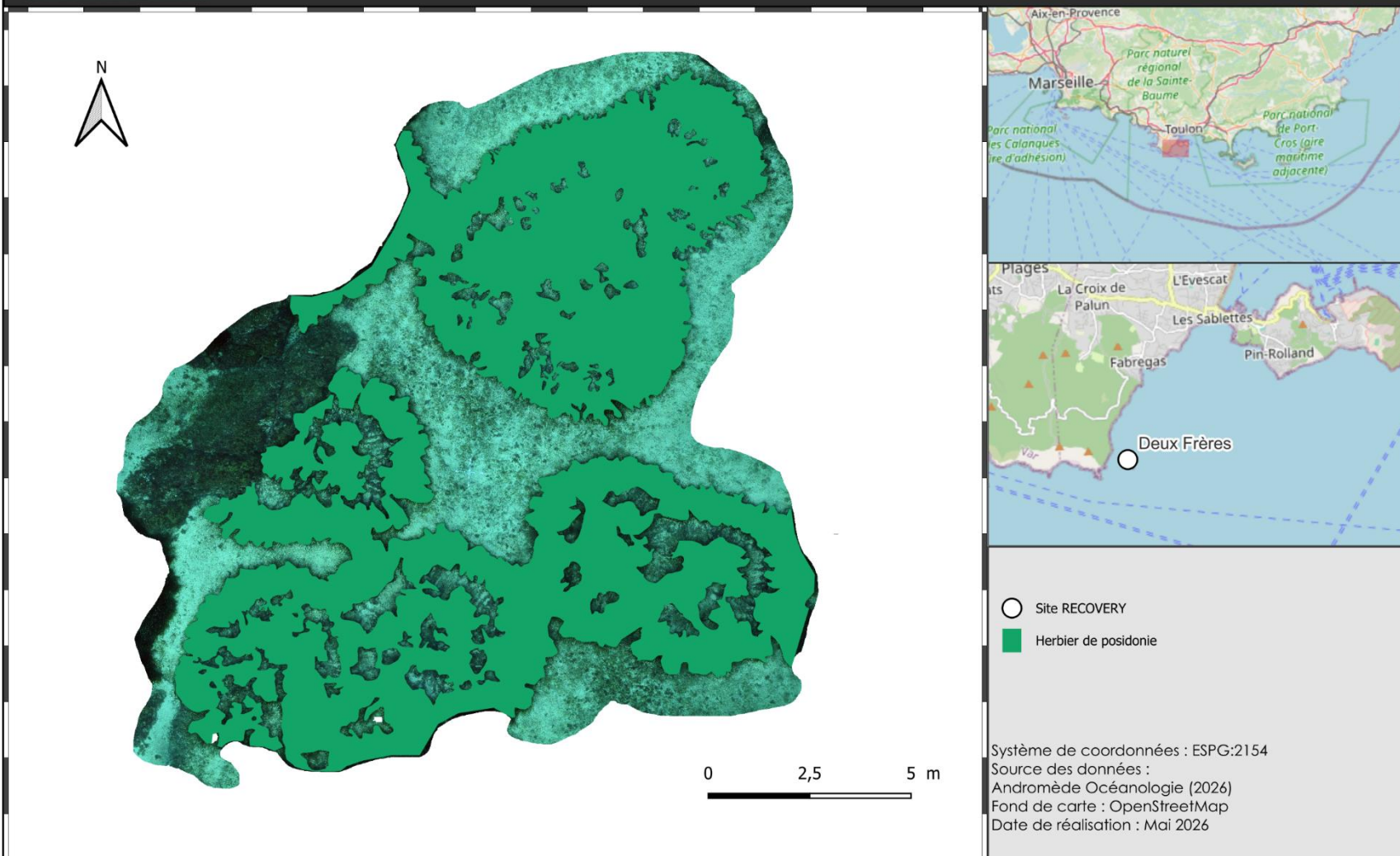


Surveillance des herbiers à Posidonie par photogrammétrie
Micro-cartographie de l'herbier de posidonie sur le site "Deux-Frères" - Année 2021





Surveillance des herbiers à Posidonie par photogrammétrie Micro-cartographie de l'herbier de posidonie sur le site "Deux-Frères" - Année 2026



RECOVERY : Etude de la recolonisation des herbiers de posidonie en Méditerranée française

CREDITS : Agence de l'eau & Andromède oceanologie

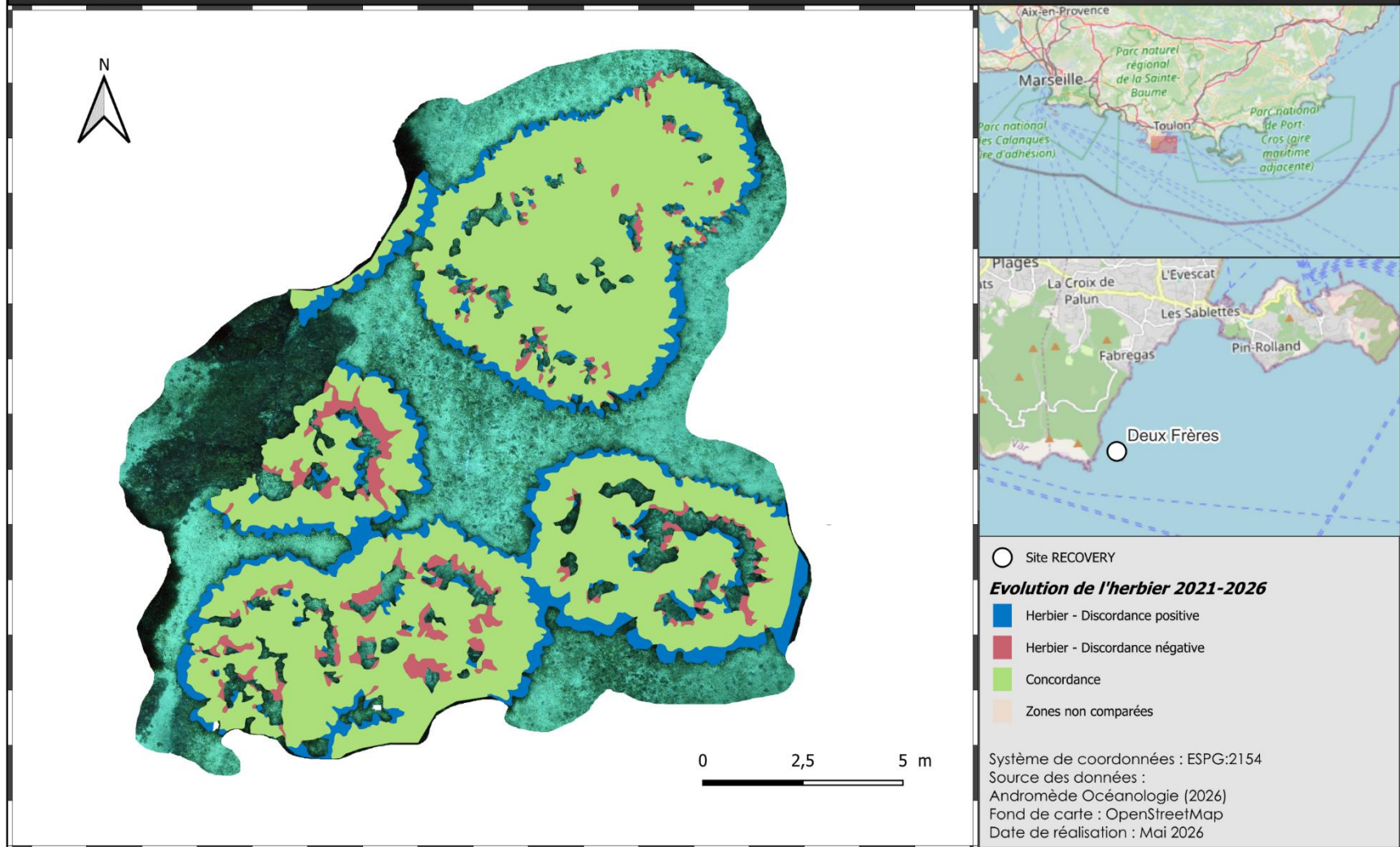


www.andromede-ocean.com





Surveillance des herbiers à Posidonie par photogrammétrie
Dynamique évolutive de l'herbier de posidonie sur le site "Deux-Frères" entre 2021 et 2026



III.C.2. Fabregas

a. Présentation du site

Le site « **Fabregas** » est situé dans la masse d'eau 'Pointe du Gaou – Pointe de l'Escampobariou' (FRDC07f), au sud de la pointe du Baou rouge. L'herbier de posidonie se développe sur un fond de matte morte et de sable fin. A **-21 mètres** l'herbier de posidonie se trouve sous forme de taches circulaires, qui ont été modélisées par la méthode de photogrammétrie lors de plongées effectuées les **26 février 2021³** et **10 mars 2026**. Des mesures de vitalité (densité de faisceaux, déchaussement, longueur de feuilles) ont été effectuées au niveau de trois taches (Andromède Océanologie, 2023).

b. Illustrations du site



Figure 58 : Illustrations de l'herbier sur le site étudié (2021).

c. Localisation du site sur la cartographie des biocénoses marines et l'imagerie sonar

Une zone de reprise d'herbier est présente au sein de l'herbier de posidonie, entre la pointe du Baou rouge et le point du grand Baou. Les zones de recolonisation couvrent une surface de 991 m² (Andromède Océanologie, 2023).

³ Andromède Océanologie, 2023. Projet RECOVERY – Etude de la recolonisation des herbiers de Posidonie (*Posidonia oceanica*) en Méditerranée française. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 97 pages.

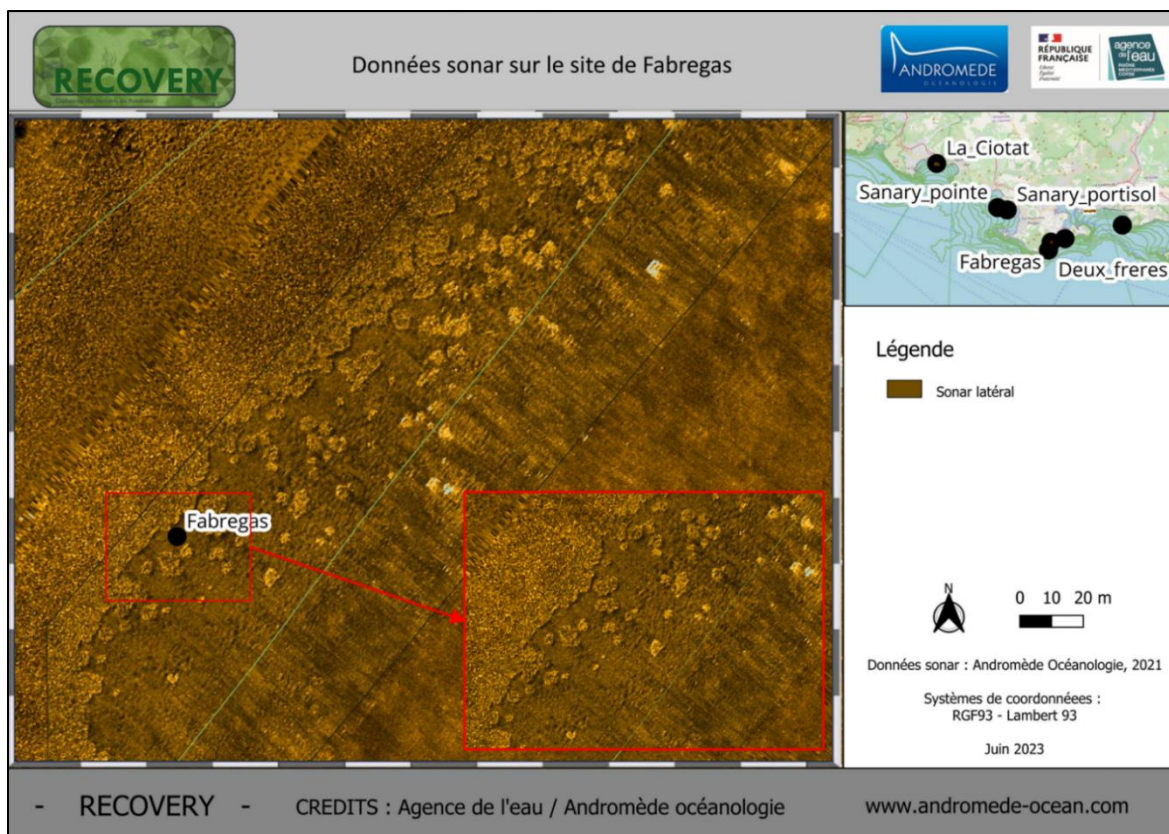


Figure 59 : Cartographie des données sonar sur le site étudié (2021).

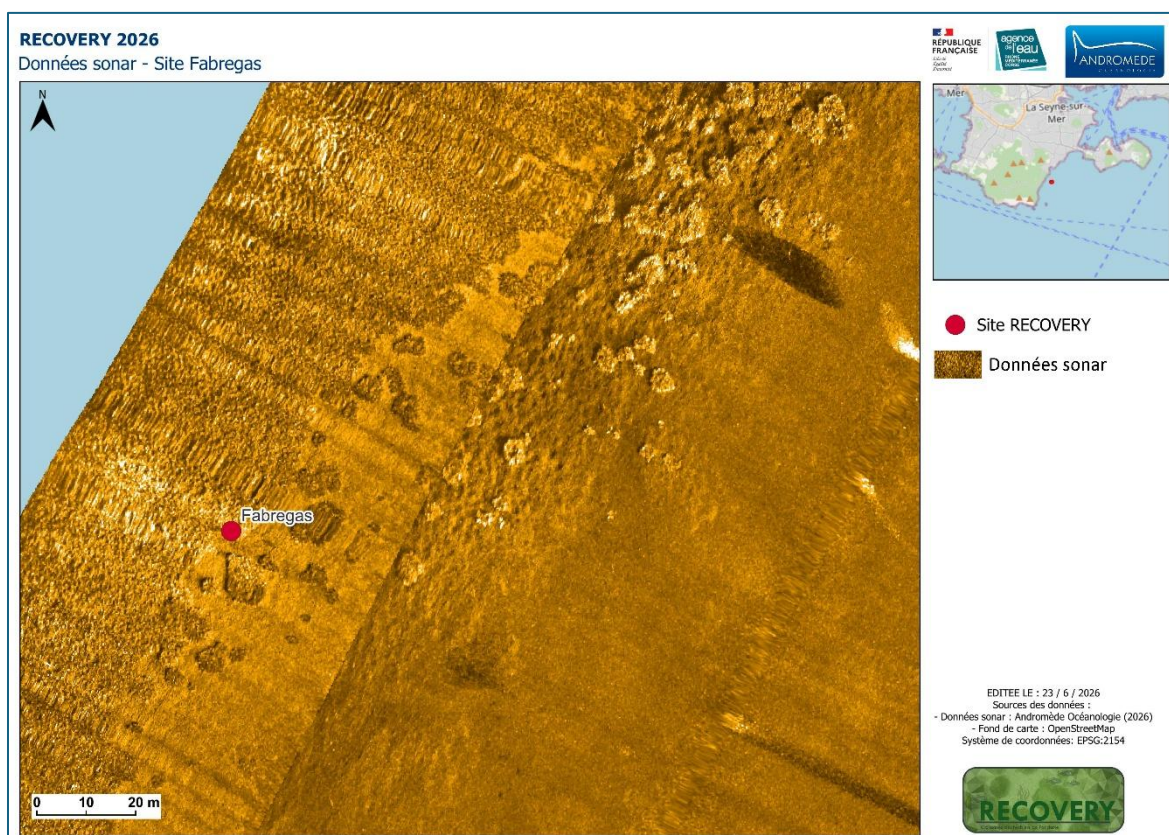


Figure 60 : Cartographie des données sonar sur le site étudié (2026).

d. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

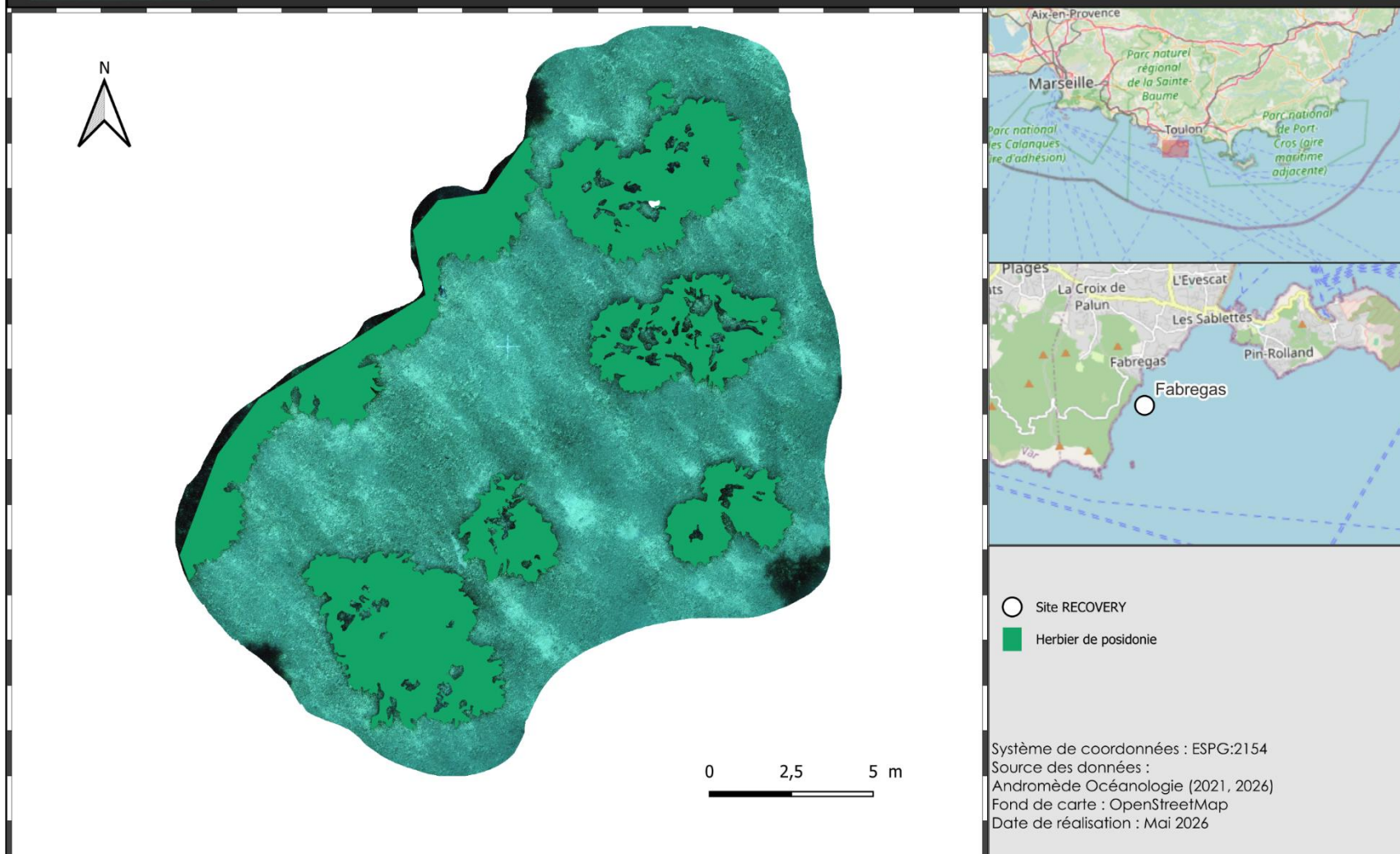
Une microcartographie de l'herbier de posidonie a été réalisée sur ce site par photogrammétrie en 2021 grâce à l'acquisition de 1313 photos puis en 2026 à partir de 1904 photos. La comparaison de cette cartographie fine permet de suivre la **dynamique évolutive de l'herbier sur cinq ans**. Ainsi, pour la période **2021-2026**, on observe 21,01 % de discordance positive, 1,61 % de discordance négative et 77,38 % de concordance. L'indice d'évolution de l'herbier (0,86) indique un **herbier en forte progression**.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 puis en 2026 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive 2021-2026.



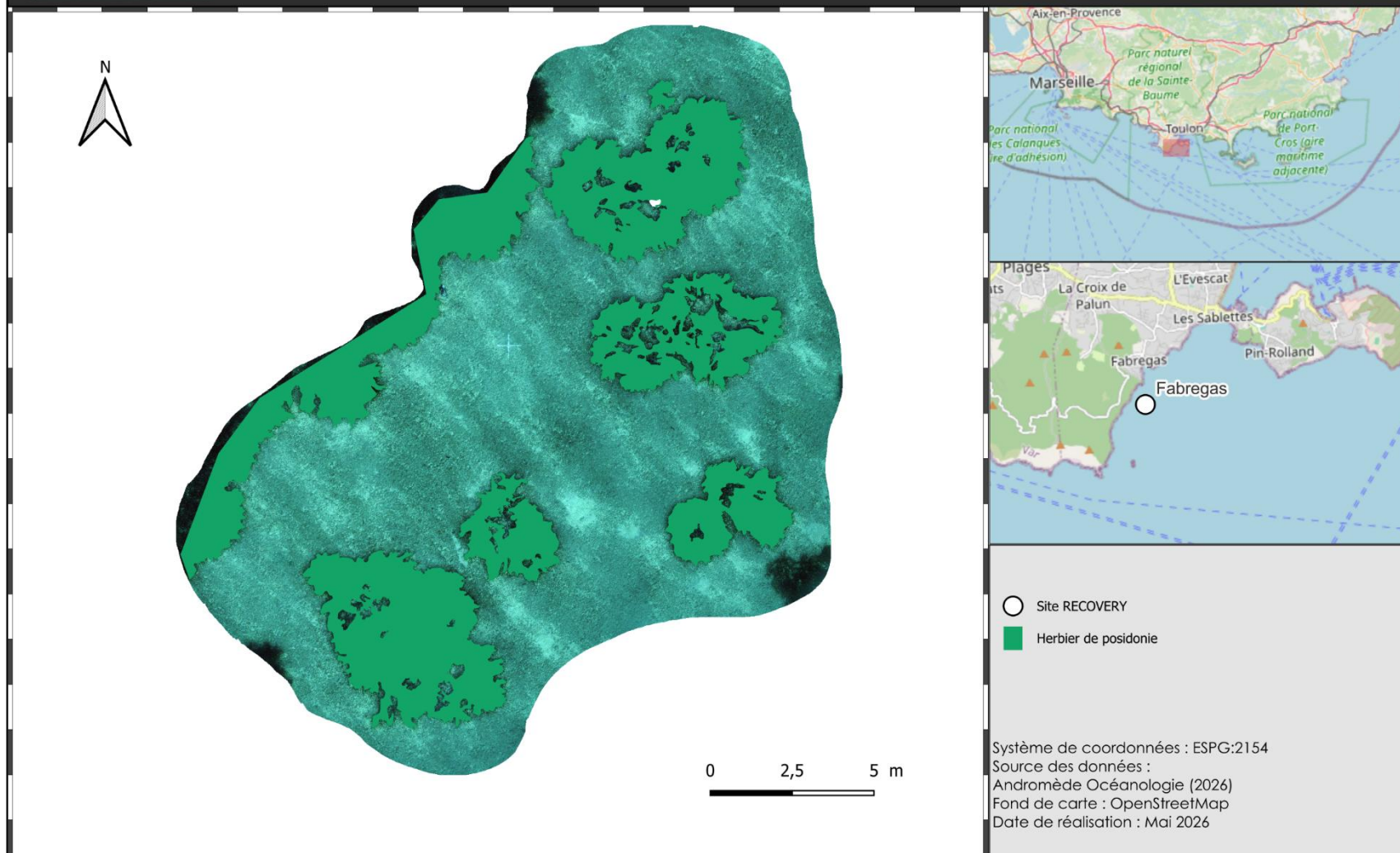


Surveillance des herbiers à Posidonie par photogrammétrie Micro-cartographie de l'herbier de posidonie sur le site "Fabregas" - Année 2021



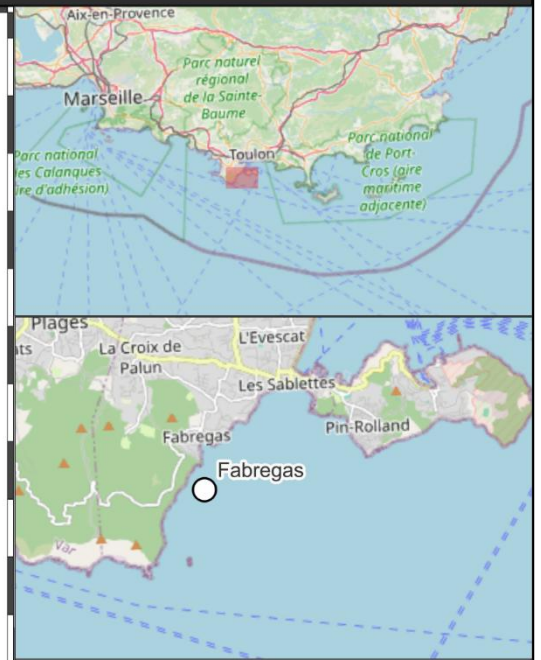
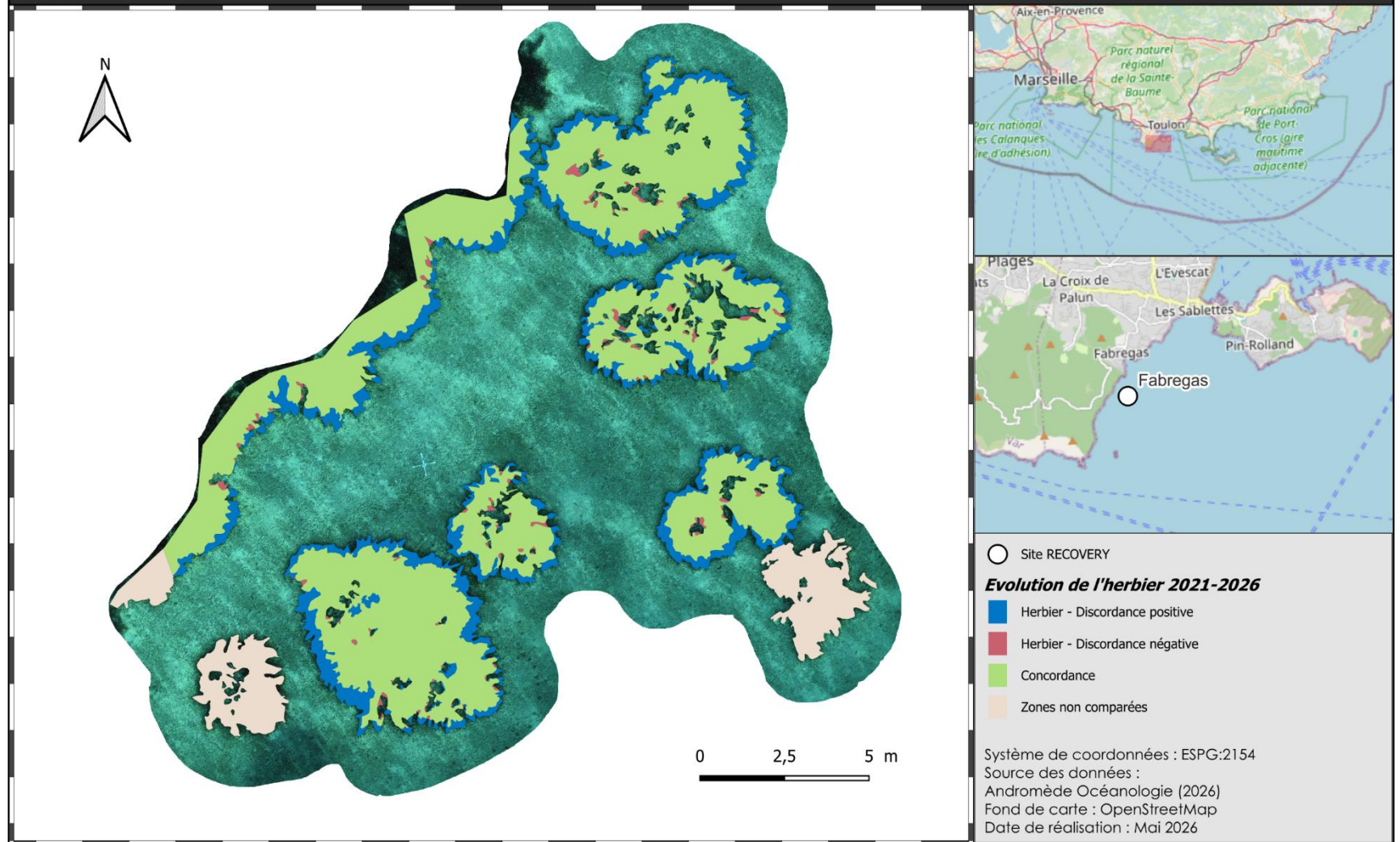


Surveillance des herbiers à Posidonie par photogrammétrie
Micro-cartographie de l'herbier de posidonie sur le site "Fabregas" - Année 2026





Surveillance des herbiers à Posidonie par photogrammétrie
Dynamique évolutive de l'herbier de posidonie sur le site "Fabregas" entre 2021 et 2026



III.D. Présence des frayères à *Spicara sp.* en région Sud et en Occitanie : synthèse bibliographique

Après analyse des données acoustiques sonar et d'observations effectuées en plongée sous-marine ou par caméra (points ponctuels ou caméra tractée) provenant de diverses études menées par Andromède entre 2007 et 2025, ainsi que des observations recueillies par de tierces personnes (études non publiées ou observations ponctuelles de plongeurs loisir), **treize observations géoréférencées** d'arènes de reproduction potentielles de picarels en **Occitanie** (1 observation en 2025) et **région Sud** (12 observations entre 1970 et 2025) ont pu être recensées (Tableau 14 ; Figure 61 ; Figure 62).

Tableau 14 : Synthèse des observations de potentielles frayères à *Spicara sp.* en Occitanie et région Sud

Source des données	J.-G. Harmelin	IPOCOM (Andromède / Université de Montpellier)	RECOR (Andromède / AERMC)	TEMPO (Andromède / AERMC)	CAREMAERL (Andromède / OFB)	Plongeur loisir
Année	1970, 1971, 1973, 1997, 2000	2024	2024	2025	2025	2025
Localisation	- Parc national de Port-Cros - Frioul - Mont Rose (Marseille)	- Rade de Giens - Rade d'Hyères - Le Dramont	Le Planier	Îlot Lion de mer	- Île du Levant - large Cap Camarat	Emissaire de Sète
Méthode d'observation	Plongée sous- marine	Traineau d'échantillonnage (caméra + sonar)	Plongée sous- marine	Plongée sous- marine	Traineau d'échantillonnage (caméra + sonar)	Plongée sous- marine

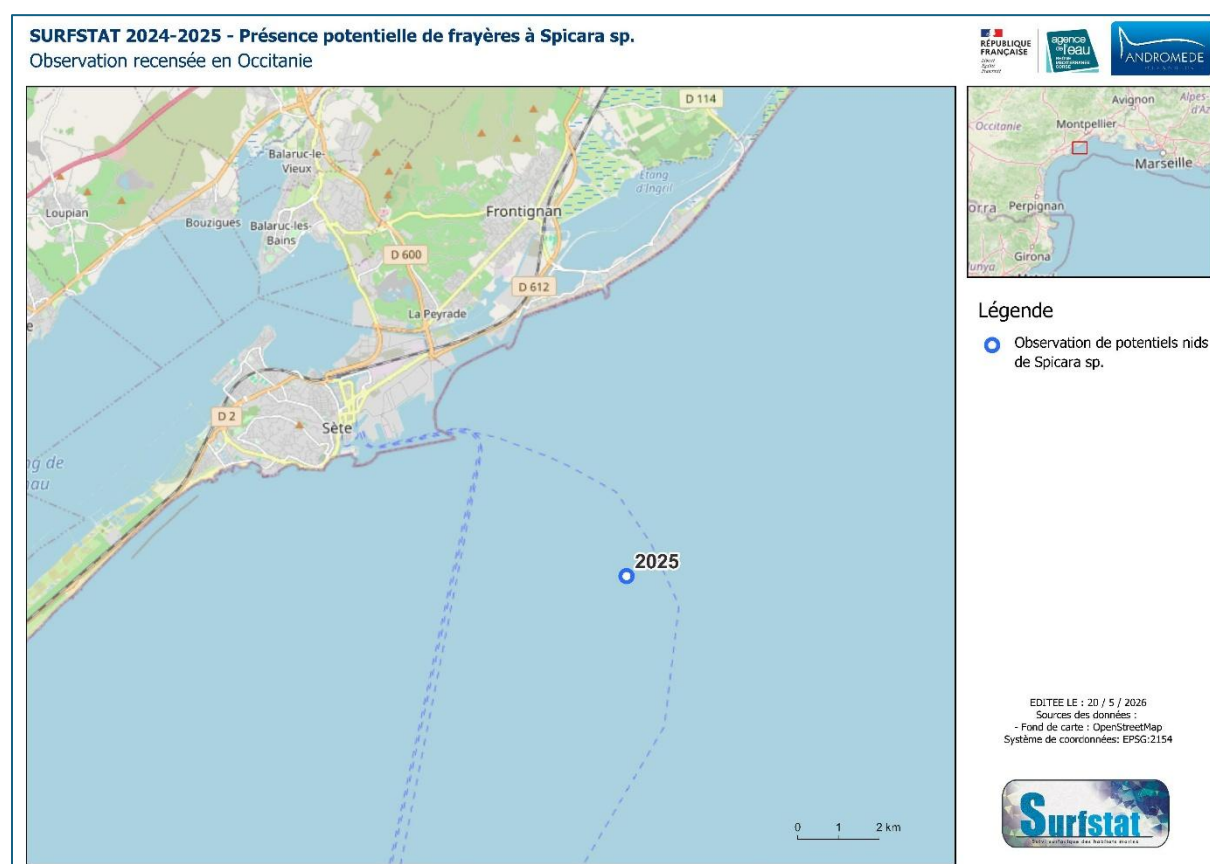


Figure 61 : Carte de l'unique observation de potentiels nids de *Spicara sp.* en Occitanie.

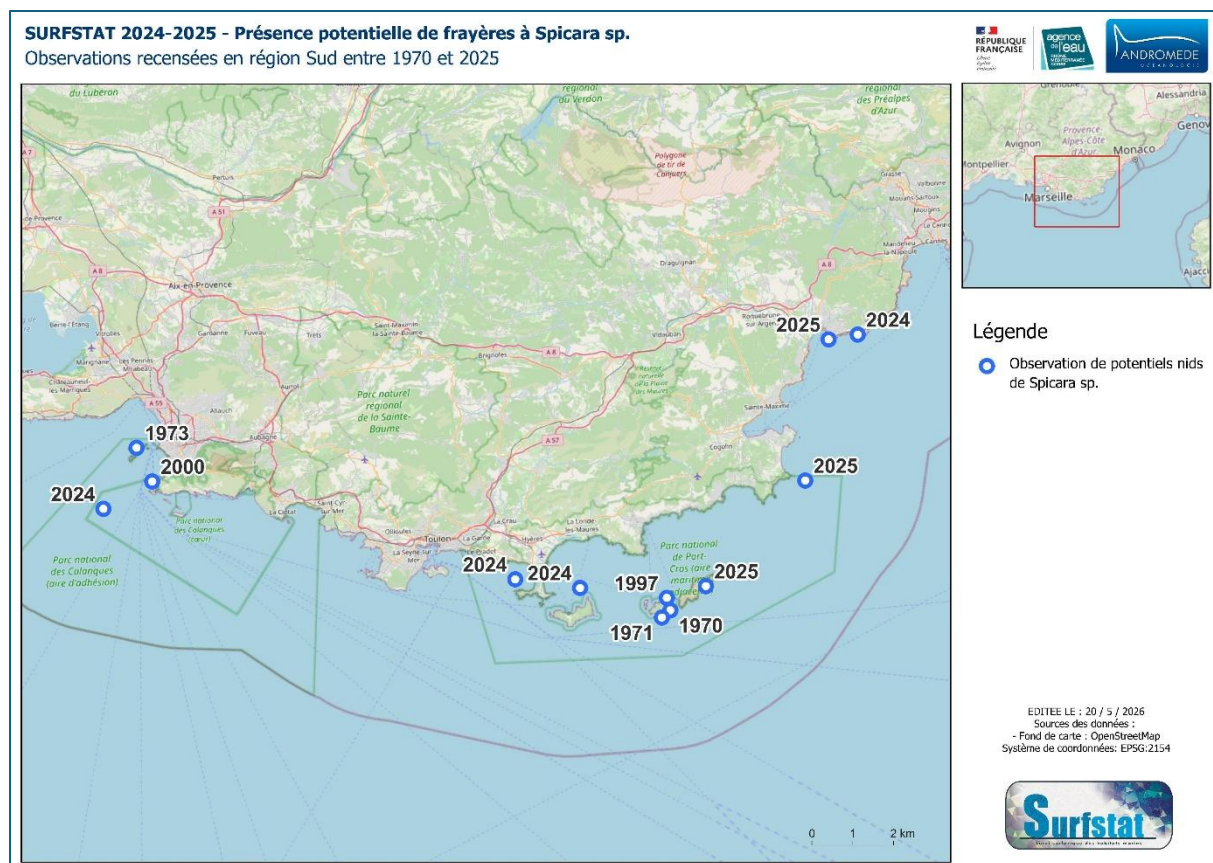


Figure 62 : Carte des observations de nids avérés ou potentiels de *Spicara* sp. en région Sud.

Des illustrations de certaines de ces observations sont présentées pages suivantes.



Figure 63 : Photographies sous-marines prises lors d'une plongée autonome au large du Planier à 50 mètres de profondeur dans le cadre du réseau de surveillance RECOR le 18 mai 2024. On y observe des nids (incertitudes concernant la phase d'activité) creusés dans les fonds meubles composés de sable grossier et de rhodolithes (© Andromède Océanologie).

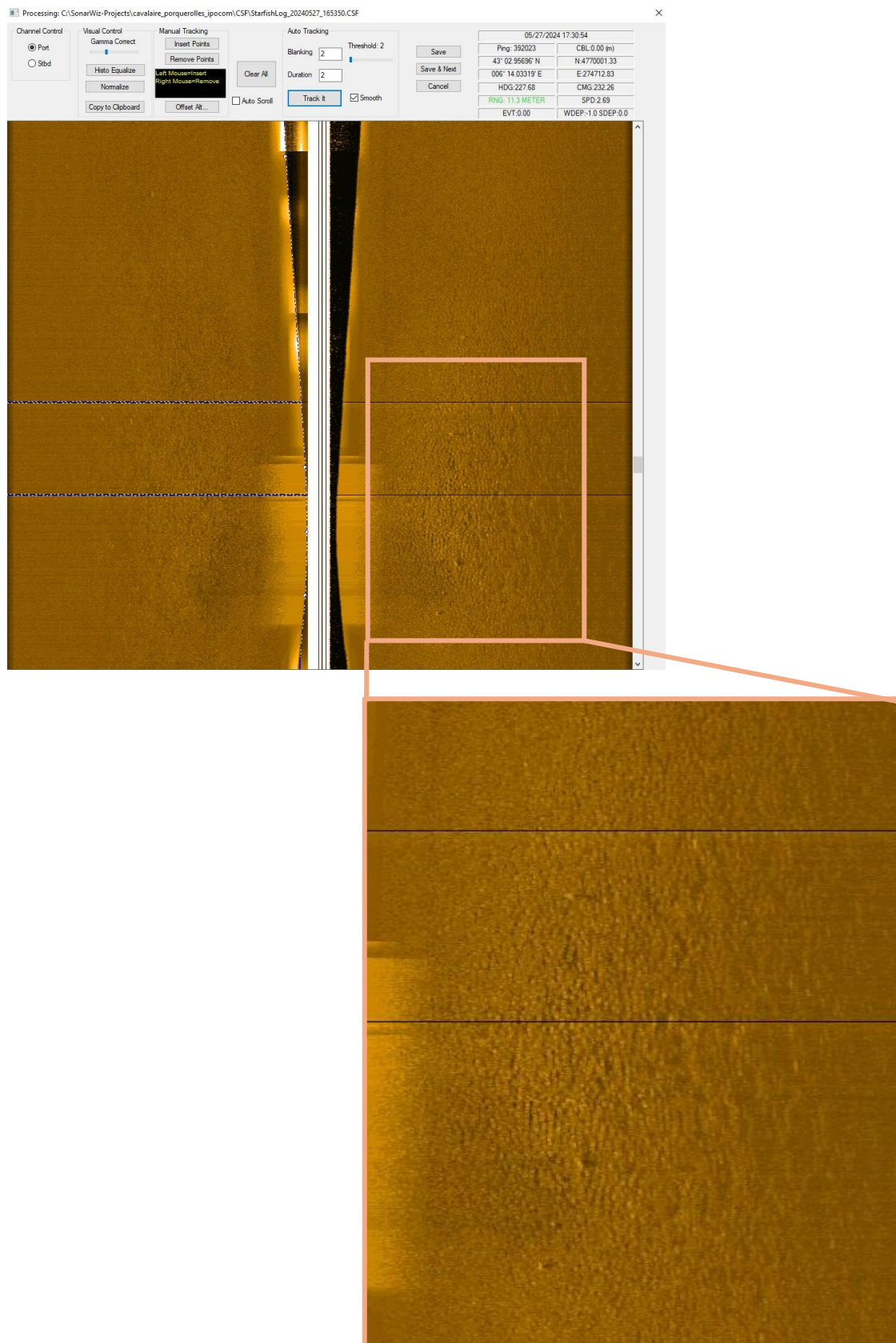


Figure 64 : Export d'une mosaïque sonar acquise fin mai 2024 lors de la campagne IPOCOM (Andromède Océanologie / Université de Montpellier) au nord de l'île de Porquerolles. La signature acoustique présentée dans l'image zoomée (en bas) semblerait être celle de nids de picarels dans le sable à environ 30 mètres de profondeur.

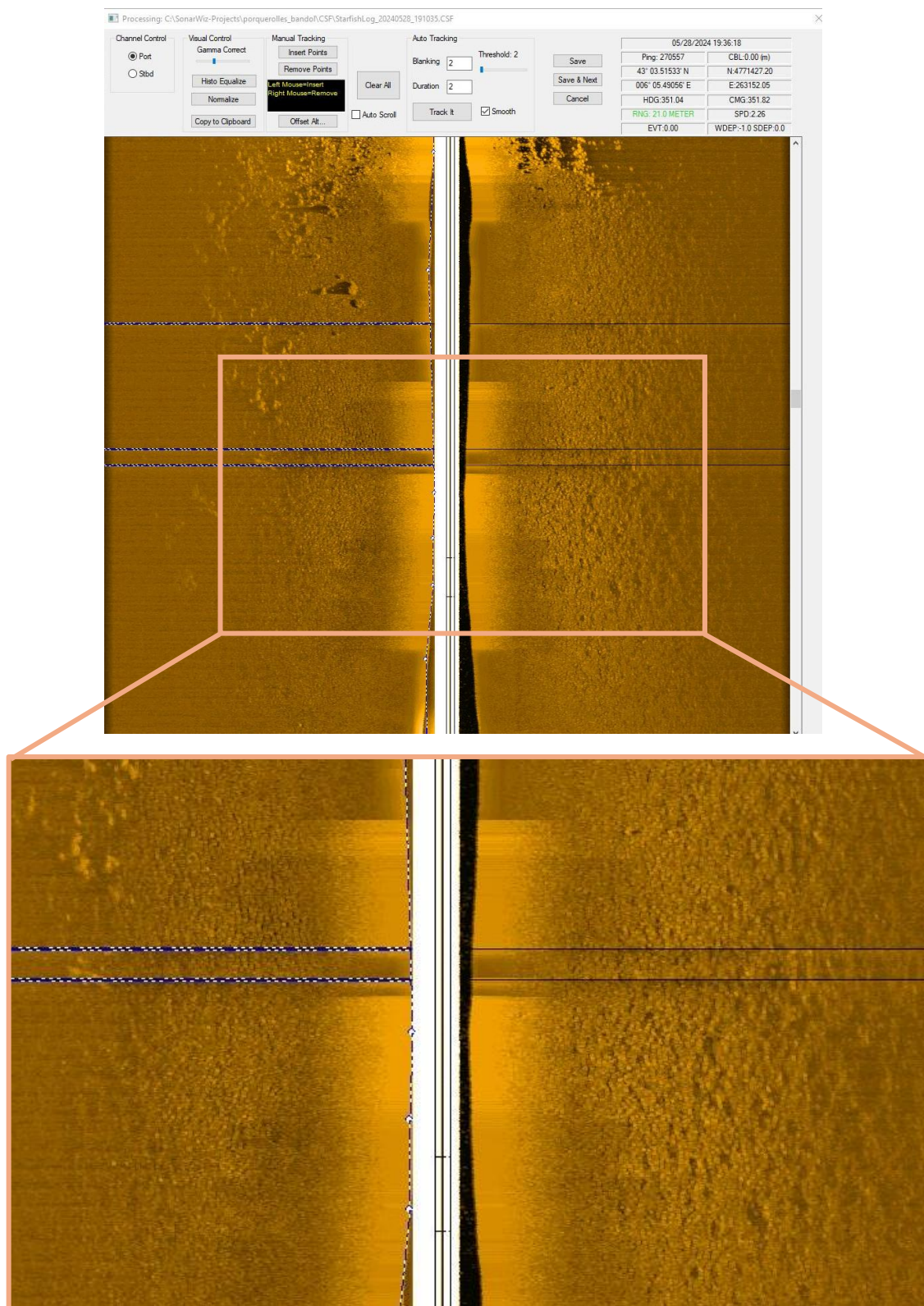


Figure 65 : Export d'une mosaïque sonar acquise fin mai 2024 lors de la campagne IPOCOM (Andromède Océanologie / Université de Montpellier) dans la rade de Giens. La signature acoustique présentée dans l'image zoomée (en bas) semblerait être celle de nids de picarels dans le sable à environ 30 mètres de profondeur.



IV. Synthèse et conclusion

IV.A. Mise à jour de la cartographie des biocénoses marines

En 2024 et 2025, le réseau SURFSTAT avait pour objectif l'actualisation de la cartographie des biocénoses marines en Occitanie et à Marseille. Pour cela, des campagnes d'acquisition de **données sonar (5200 ha)** et d'observations *in situ* par transects vidéo géoréférencés et par caméra (3709 vérités-terrain) ont été réalisées.

Grâce à cette étude, **48 ha d'herbier de posidonie ont été mis à jour en Occitanie, soit 36 % des herbiers dans cette région, et 630 ha d'herbier de posidonie dans la petite rade de Marseille.** Cette cartographie est disponible sur la plateforme MEDTRIX (projets DONIA Expert, SURFSTAT).

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, ou en mosaïque avec d'autres habitats, et donc peu « visibles ». C'est pourquoi il est nécessaire de disposer de vérités terrain et/ou de 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 difficiles à délimiter. Ainsi on considère dans cette étude que **les zones de matte morte peuvent inclure entre 0 et 10 % d'herbier à *Posidonia oceanica* (surtout pour le secteur de Marseille).**

La présente étude a permis l'actualisation de la cartographie de près de 40 % de l'herbier de posidonie en Occitanie ainsi que **l'ajout de nouvelles zones d'herbier à Cymodocées (*Cymodocea nodosa*)**, espèce protégée au même titre que la posidonie mais dont la cartographie reste encore à ce jour partielle. La cartographie de **la biocénose des algues infralittorales** a été revue au large de Canet-en-Roussillon (masse d'eau FRDC02a – Racou Plage – Embouchure de l'Aude) ; les polygones historiques datant du programme CARTHAM (2010-2012) ont été affinés et reclassés en « Biocénose du coralligène » étant donné la tranche bathymétrique dans laquelle ils se situent (au-delà de -40 mètres). Le secteur du **Roc de Brescou au large du Cap d'Agde** a également été affiné grâce aux données sonar acquises en 2024. Concernant le secteur de Marseille, la **découverte de plusieurs milliers (environ 9400) de taches de recolonisation spontanée de l'herbier de posidonie entre 5 et 25 mètres de profondeur** a fait l'objet d'une mise à jour très détaillée de la cartographie des biocénoses.

Le littoral marseillais fait partie des secteurs méditerranéens français les plus impactés par les pressions anthropiques côtières comme les aménagements côtiers (ports), la pollution par les cours d'eau et les rejets urbains, l'urbanisation et le tourisme balnéaire (Source : **IMPACT** : Modélisation des pressions anthropiques côtières et des seuils de vulnérabilité - plateforme de surveillance MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr>)). Cette nouvelle cartographie servira donc de référence pour les prochaines analyses concernant la dynamique évolutive des herbiers marseillais.

La cartographie des biocénoses marines est un outil important puisqu'il informe de l'état des herbiers de Posidonie dans plusieurs 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 Corse effectuée à l'aide du logiciel RStudio © en s'inspirant des indices disponibles dans le logiciel Fragstats v.4.2. © (McGarigal et al. 2009).

Quatre des sept masses d'eau d'Occitanie sont traitées dans cette étude. Les indices surfaciques ont été calculés avec le logiciel RStudio à une résolution de 5m x 5m sur toute la région Occitanie afin de pouvoir 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.

Les comparaisons des indices surfaciques calculés pour l'analyse du paysage entre 0 et 40 mètres et pour l'analyse de l'herbier entre 0 et 20 mètres sont présentées pages suivantes pour les quatre masses d'eau occitanes. Les trois masses d'eau non actualisées pour cette étude (FRDC02d ; FRDC02e ; FRDC02f) sont grisées dans chaque tableau.

L'étude du paysage entre 0 et 40 mètres de profondeur montre une **hétérogénéité importante entre les masses d'eau côtière en Occitanie**, tant en termes de **surface** (entre 2 591 ha – FRDC01 (Frontière espagnole – Racou Plage) et 37 187 ha –FRDC02f (Frontignan – Pointe de l'Espiguette)), **du nombre d'habitats présents** (de 5 à 9 habitats), **de densité de taches** (entre 0,6/100 ha –FRDC02d (Cap d'Agde - Sète) et 60/100 ha –FRDC01 (Frontière espagnole – Racou Plage) et **de diversité paysagère (indice d'équitabilité de Simpson)**. Globalement la **densité d'habitats est faible sur toutes les masses d'eau côtière ; seule la masse d'eau FRDC01 se démarque** par un nombre d'habitats / 100 ha bien plus élevé (0,35) que la moyenne régionale (0,09). Cela s'explique majoritairement par la prépondérance des fonds meubles (infra- et circalittoraux) dans le Golfe du Lion qui est fortement alimenté en particules fines par le Rhône situé à l'est.

La diversité paysagère est très variable : l'indice d'équitabilité de Simpson est compris entre 0,39 (FRDC02b – Embouchure de l'Aude – Cap d'Agde) et 0,74 (FRDC01 – Frontière espagnole – Racou Plage). Les masses d'eau les plus diversifiées (au-dessus de la moyenne régionale ; dans l'ordre croissant) sont FRDC01, FRDC02a et FRDC02f. Les zones actualisées dans le cadre de cette étude SURFSTAT ont été **cartographiées de manière détaillée de -5 à -40 mètres (voire jusqu'à -60 mètres)** à l'aide de quatre sources d'informations : les données sonar, les observations en plongée sous-marine, les photographies aériennes de l'IGN et des Modèles Numériques de Terrain historiques (plusieurs sources). **La diversité paysagère reste moyenne dans l'ensemble en Occitanie (moyenne de $0,51 \pm 0,12$).**

L'étude de l'herbier à Posidonie entre 0 et 20 mètres de profondeur montre une **présence de cette biocénose sur toutes les masses d'eau en Occitanie**, bien que les indicateurs ne le montrent pas forcément partout. Son pourcentage de recouvrement varie faiblement ; il occupe dans cette région entre 0,0003 % du paysage (masse d'eau FRDC02d – Limite Cap d'Agde - Sète) et 3,4 % (masse d'eau FRDC01 – Frontière espagnole – Racou Plage), la moyenne étant de 0,61 % ($\pm 1,3$ %).

Le taux de recouvrement de l'herbier varie principalement du fait de la topographie et des facteurs abiotiques tels que la salinité, la température, l'hydrodynamisme et la luminosité. La limitation de la lumière par la colonne d'eau ne permet pas à l'herbier de Posidonie de se développer généralement



après 40 mètres de profondeur. En Occitanie la répartition spatiale de cette espèce (limite inférieure en moyenne à 15 mètres de profondeur) est également fortement limitée par les apports en eau douce et particules fines des fleuves. Le plus gros apport a lieu dans le golfe du Lion où se jette le Rhône, avec un débit moyen de 1 700 m³/s, pouvant dépasser 10 000 m³/s lors de crues exceptionnelles (Ifremer, 2012). Ce panache fluvial exporte des sédiments et des nutriments en mer, avec des conséquences directes sur la turbidité, même dans les petits fonds (au-dessus de 10 mètres de profondeur).
L'hydrodynamisme

Tableau 15 : Comparaison des indices surfaciques calculés pour l'analyse du paysage pour les 7 masses d'eau en Occitanie. Les trois masses d'eau non actualisées dans le cadre de cette étude sont grisées.

Région	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende
Masse d'eau	FRDC01	FRDC02a	FRDC02b	FRDC02c	FRDC02d	FRDC02e	FRDC02f	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40	
Surface du paysage (ha)	2591	58984	22302	9469	11964	8798	37187	2591 58984 21613.57
Nombre d'habitats dans le paysage	9	8	6	8	5	7	8	5 9 7.29
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	60.25	7.34	20.47	9.73	0.61	14.11	42.64	0.61 60.25 22.16
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	24.75	49.27	79.12	75.85	76.83	78.7	64.91	24.75 79.12 64.2
Densité d'habitats dans le paysage (Nb habitats /100 ha)	0.35	0.02	0.03	0.08	0.04	0.08	0.02	0.02 0.35 0.09
Diversité des habitats (Indice d'équitabilité de Simpson)	0.74	0.56	0.39	0.46	0.45	0.4	0.57	0.39 0.74 0.51



Tableau 16 : Comparaison des indices surfaciques calculés pour l'analyse de l'herbier de posidonie pour les 7 masses d'eau en Occitanie. Les trois masses d'eau non actualisées dans le cadre de cette étude sont grisées.

Région	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	OCCITANIE	Échelle de comparaison Région OCCITANIE Légende
Masse d'eau	FRDC01	FRDC02a	FRDC02b	FRDC02c	FRDC02d	FRDC02e	FRDC02f	
Tranche bathymétrique (mètres)	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	
Proportion du paysage occupé par l'herbier (%)	3.43	0.15	0.02	0.16	0	0	0.49	0 3.43 0.61
Densité de taches (Nb taches /100 ha)	81.38	1.38	2.97	15.66	0.11	0.47	38.95	0.11 81.38 20.13
Pourcentage total du paysage compris par la tache la plus grande	0.61	0.1	0	0.04	0	0	0.05	0 0.61 0.11
Surface moyenne d'une tache d'herbier (ha)	0.04	0.11	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0 0.11 0.03
Indice de complexité des formes	1.07	1.08	1.06	1.06	1	1.03	1.05	1 1.08 1.05
Distance moyenne qui sépare deux taches d'herbier les plus proches (mètres)	7.56	9.11	6.68	7.46	7.32	8.77	6.51	6.51 9.11 7.63
Indice de fragmentation de l'herbier	0.99	0.99	1	0.99	1	1	0.99	0.99 1 0.99
Indice d'agrégation entre les taches (%)	50.75	59.88	20.24	24.36	0	20.35	29.88	0 59.88 29.35
Indice de régression de l'herbier	0.01	0	0	0.9	0	0	0.95	0 0.95 0.27

La densité de tâches d'herbier et leur taille est très variable selon les masses d'eau : de 0,11 taches /100 ha (FRDC02d – Limite Cap d'Agde – Sète) à 81,4 taches/100 ha (FRDC01 – Frontière espagnole – Racou Plage) avec une moyenne de 20,1 taches/100 ha et une taille comprise entre 25 m² et 0,1 ha. La distance séparant deux taches d'herbier les plus proches varie entre 6,5 et 9,1 mètres avec une moyenne de 7,6 mètres. Cela 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 de posidonie est connecté. A l'inverse plus l'indice est faible et plus les tâches d'herbiers sont fragmentées. Aucune des sept masses d'eau de la région Occitanie présentent un herbier dont la continuité et la compacité des pixels est forte (herbier continu, AI ≥ 90%). Trois masses d'eau dépassent cependant la moyenne régionale : FRDC01, FRDC02a et FRDC02f. Ces trois masses d'eau sont celles pour lesquelles la présence d'herbier de

posidonie en région Occitanie est la plus importante et les seuls secteurs où des herbiers continus ont pu être observés. La moyenne régionale de cet indice d'agrégation entre les taches d'herbier est de 29,4 % avec une valeur minimale de 0 % (FRDC02d – Limite Cap d'Agde – Sète) et maximale de 59,9 % (FRDC02a – Racou Plage – Embouchure de l'Aude).

Ces faibles valeurs d'agrégation sont explicables par la **configuration majoritairement en taches** des herbiers cartographiés en Occitanie. Cette configuration est probablement liée aux paramètres environnementaux décrits précédemment tels que l'hydrodynamisme, les apports en eau douce des fleuves et la luminosité. L'accès à la lumière pour la posidonie est une contrainte fondamentale pour sa croissance horizontale et verticale ; les apports en eau douce, particules fines et polluants liés aux bassins versants, ainsi que l'aménagement du littoral (modification du trait de côte), l'urbanisation, et l'eutrophisation qui en résultent entraînent des modifications physiques mais aussi chimiques de la colonne d'eau. Cette pollution peut participer localement à une surcharge en épiphytes sur les feuilles, bloquant d'autant plus le processus de photosynthèse. Les zones de régression les plus importantes observées en Occitanie se situent dans la masse d'eau FRDC02f entre Frontignan et Carnon dans l'Hérault.

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 de côté**. A l'échelle de l'Occitanie, le taux de recouvrement de la matte morte est extrêmement faible : l'habitat occupe **1 544 ha soit 0,007 % de tout le littoral de l'Occitanie** (calcul effectué à l'échelle des masses d'eau élargies entre 0 et 40 mètres de profondeur).

L'**indice de régression de l'herbier** varie de 0 (FRDC02b, 02d et 02e) à 0,95 (FRDC02f – Frontignan – Pointe de l'Espiguette) avec une moyenne de 0,27. L'herbier est considéré comme très stable ($R \leq 0,09$) pour cinq masses d'eau mais cela est principalement lié à l'absence de matte morte cartographiée pour trois d'entre elles. **L'herbier montre une régression très importante ($R \geq 0,9$) pour deux masses d'eau : FRDC02c (Cap d'Agde) et FRDC02f (Frontignan – Pointe de l'Espiguette).**

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

- **l'artificialisation du littoral** : c'est la cause la plus destructrice historiquement en volume d'herbier perdu. Cette cause de destruction directe des herbiers est liée généralement à la construction de ports, de digues et marines, au rechargement de plages et construction de plages artificielles, ou encore le remblaiement.
- **le mouillage des navires** : actuellement l'une des principales causes de régression des herbiers en Méditerranée. Cette destruction est liée à l'ancre et la chaîne des navires au mouillage qui arrachent, broient et raclent les faisceaux et les rhizomes. Certains dégâts « mineurs » (raclage de la chaîne au fond) peuvent indirectement causer de forts dégâts en créant des zones clairsemées et fragilisées face à l'érosion des courants de fond. Sur le long terme, ces courants finissent par creuser des couloirs dans l'herbier, augmentant ainsi sa fragmentation.
- **la pêche côtière** : la flotte de pêche en Occitanie en 2024 compte 534 navires de pêche professionnelle actifs. Elle comprend principalement des fileyeurs polyvalents (22 %), l'utilisation de capéchades (19 %) et divers petits métiers des étangs (19 %). Les chalutiers de fond, responsables de la majorité des dégâts sur les habitats marins benthiques, ne représentent que 4 % de la flottille occitanienne en 2024 (données SIH de l'Ifremer, 2024).



- 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).

- **la dégradation de la qualité de l'eau** liée aux travaux côtiers, rejets industriels (hydrocarbures, métaux lourds, détergents) et urbains qui participent à l'augmentation de la turbidité en chargeant la colonne d'eau de particules en suspension.

L'herbier à Posidonie est peu présent en Occitanie (133 ha au total). Sa répartition est influencée par des paramètres environnementaux structurants majeurs tels que l'hydrodynamisme et les apports en eau douce et particules en suspension des fleuves, et donc la turbidité de l'eau. Grâce à cette étude, **les principales zones d'herbier de posidonie ont été mises à jour** dans quatre des sept masses d'eau en Occitanie. **Aucune trace de pollution significative** (à part quelques macrodéchets) n'a été observée au sonar et en plongée lors des deux campagnes de terrain en 2024 et 2025. **Concernant les zones d'herbier dégradé recensé en Occitanie, les principales se situent dans les masses d'eau FRDC02c (Cap d'Agde) et FRDC02f (Frontignan – Pointe de l'Espiguette).** Les rejets d'eaux usées insuffisamment traitées à l'époque, mêlées à d'autres pressions anthropiques diverses comme l'artificialisation du littoral, l'ancrage des navires ou la pêche, en seraient les causes historiques. La réglementation nationale liée au traitement des eaux usées ayant évolué, au même titre que celle concernant le mouillage des navires (arrêté cadre 123/2019), des signaux d'amélioration de l'état de santé et de la dynamique de croissance des herbiers de posidonie ont déjà été observés (études TEMPO, Andromède/OFB, 2021). L'état de conservation de ces herbiers reste toutefois préoccupant et met l'accent sur l'importance de continuer les suivis scientifiques et les actualisations cartographiques afin de suivre au mieux leur évolution sur le long terme et de mettre en place des moyens de gestion et de conservation adaptés.

IV.B. Cartographie de l'épaisseur des mattes

Cette nouvelle méthode acoustique testée dans le cadre de cette étude montre qu'il est **possible d'utiliser un sondeur à sédiments** du type ECHOES 3500 T1, de **détecter le 1^{er} réflecteur** et de **cartographier l'épaisseur du 1^{er} horizon sédimentaire** en milieu côtier dans une mosaïque de biocénoses incluant de l'herbier de posidonie et de la matte morte. Cependant, ce type de mesures **ne permet pas de déterminer la nature de ce 1^{er} horizon**. Seuls des **prélèvements réalisés à l'aide d'une carotte** permettraient de corréliser les mesures physiques issues du sondeur à sédiments à des **observations ponctuelles** sur la nature du substrat. Il faudrait avoir en particulier des **mesures réelles de l'épaisseur de la matte morte** à partir de carottes pour voir si le 1^{er} réflecteur dessiné correspond à la base de la couche de matte morte ou bien si celle-ci est imperceptible au sondeur à sédiments.

Nos analyses ont montré qu'il existe un **effet significatif** de la **profondeur**, de la **pente** et du type de **biocénose** sur l'épaisseur : plus la profondeur est faible et la pente importante, plus l'épaisseur est importante. Ce résultat est surprenant car il serait raisonnable de supposer que **l'effet de la pente** devrait être **négativement corrélée** à l'épaisseur car elle empêche l'accumulation d'un substrat meuble. Mais en réalité, la relation avec la pente est non linéaire et les épaisseurs les plus importantes sont enregistrées sur les pentes les plus faibles. L'effet statistiquement positif correspond en réalité aux **pent**es moyennes en contrebas de pentes plus raides où il y a de l'accumulation de substrat.

Concernant l'effet de la profondeur, il peut s'expliquer par plusieurs hypothèses :

- Les petits fonds bénéficient de manière plus directe des **apports sédimentaires continentaux** par l'érosion des sols et le ruissellement ;
- Les faibles profondeurs correspondent principalement à de **l'herbier de posidonie**, de la **matte morte** et des **fonds meubles infralittoraux** (ayant eux-mêmes pu héberger un jour des herbiers). Or les herbiers protègent de l'érosion et permettent l'accumulation du sédiment dans la matte.

En ce qui concerne le **type de biocénoses**, l'effet est très probablement **lié à la profondeur**, car l'épaisseur est **globalement décroissante** avec les habitats retrouvés **de plus en plus profondément**, avec un effet moindre concernant les **algues infralittorales**. Dans ce dernier cas, l'effet « peu profond » peut être contrebalancé par **l'effet du ressac** qui tend à **limiter la sédimentation**, les algues infralittorales étant localisées sur la frange littorale.

Pour donner suite à cette étude, il serait nécessaire de réaliser des **carottes sédimentaires** à plusieurs endroits sur ces deux zones afin d'être en mesure de **voir s'il est en effet possible de mesurer l'épaisseur de matte**.

IV.C. Présence potentielle des frayères à *Spicara sp.* en Occitanie et région Sud

La synthèse réalisée dans le cadre de cette étude concernant les observations (historiques et récentes) de zones de nurseries potentielles à l'écotone posidonie/substrat meuble a permis de recenser **treize observations géoréférencées** d'arènes de reproduction potentielles de picarels en **Occitanie** (1 observation en 2025) et **région Sud** (12 observations entre 1970 et 2025).

Ce recensement s'est fait à partir de **données récentes** (suivis, observation et données acoustiques datant de **2024 et 2025**) et **historiques** (observations par J.-G. Harmelin, **entre 1970 et 2000**).

Il serait intéressant de compléter ce recensement en mettant en place une nouvelle campagne d'acquisitions acoustiques à haute fréquence et de transects vidéo dans les secteurs connus comme étant des secteurs de reproduction à *Spicara sp.* en Occitanie et région Sud. Ces nouvelles acquisitions permettraient d'initier un nouveau suivi sur les arènes de reproduction des Picarels et d'enrichir les connaissances déjà accumulées sur trois espèces (*S. smarís*, *S. maena* et *S. flexuosa*) présentes et étudiées en Corse (projets SPICARA CIRCUS et SPICAREANA, expédition GOMBESSA 2026). Un inventaire plus précis des espèces marines présentes (prédatrices par exemple) autour de ces zones de frayères participerait également à décrire le réseau trophique lié à ces frayères et à la dynamique reproductive du picarel en région Sud et en Occitanie.

V. Bibliographie

ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2023a. *Projet SPICARA CIRCUS Rôle écologiques des frayères à Spicara sp avec la qualité des habitats marins côtiers. Rapport final.* 91 pages

ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2023b. *Projet SPICARENA : étude d'une arène de reproduction de picarels au sein du Parc Naturel Marin Cap Corse Agriate. Rapport final.* 58 pages

Abadie, A., Lejeune, P., Pergent, G., & Gobert, S. 2016. From mechanical to chemical impact of anchoring in seagrasses: The premises of anthropogenic patch generation in *Posidonia oceanica* meadows. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 61–71. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.06.022

Abdo, D. A., Seager, J. W., Harvey, E. S., McDonald, J. I., Kendrick, G. A., & Shortis, M. R. (2006). Efficiently measuring complex sessile epibenthic organisms using novel photogrammetric technique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 339, 120–133. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.07.015>

Agudo-Adriani, E. A., Cappelletto, J., Cavada-Blanco, F., & Croquer, A. (2016). Colony geometry and structural complexity of the endangered species *Acropora cervicornis* partly explains the structure of their associated fish assemblage. *PeerJ*, 4, e1861. <https://doi.org/10.7717/peerj.1861>

Andromède Océanologie, 2023. *Projet RECOVERY – Etude de la recolonisation des herbiers de Posidonie (*Posidonia oceanica*) en Méditerranée française.* Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 97 pages.

Andromède Océanologie, 2019. *Surveillance de l'herbier de posidonie.* Contrat Andromède Océanologie / Communautés de communes Golfe de Saint Tropez. 56p.

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

Barroil Adèle, Auguet Jean-Christophe, Arnal Véronique, Blandin Agathe, Bockel Thomas, Delaruelle Gwenaëlle, Faure Nadia, Gasc Julien, Guellati Nacim, Holon Florian, Luzzi Pierre-Charles, Loisel Marine, Mace Bastien, Manel Stéphanie, Mauron Stephen, Meyers Eva, Pavy Thomas, Pichot Franck, Riutort Jean-jacques, Salasc Frederic, Vacchi Mateo, Velez Laure, Villéger Sébastien et Deter Julie. 2024. ANGE : Connaître et faire connaître le dernier refuge (Corse) de l'Ange de mer commun (*Squatina squatina*) en France. Rapport final financement Agence de l'eau Rhône méditerranée, Corse, Office français de la Biodiversité, Parc Naturel Marin du Cap Corse et de l'Agriate, Fondation Prince Albert II. 187 pages.

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/MNH. 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.

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

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., & Verlaque, M. (2009). *Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review.* *Botanica Marina*, 52(5), 395–418. <https://doi.org/10.1515/BOT.2009.057>



Boudouresque, C.-F. (2004). Marine biodiversity in the Mediterranean: Status of species, populations and communities. *Scientific Report of Port-Cros National Park*, 20, 97-146

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

Burns, J. H. R., Fukunaga, A., Pascoe, K. H., Runyan, A., Craig, B. K., Talbot, J., Pugh, A., & Kosaki, R. K. (2019). 3D habitat complexity of coral reefs in the Northwestern Hawaiian Islands is driven by coral assemblage structure. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W10, 61–67. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-61-2019>

Burns, J. H. R., Delporte, D., Kapon, L., Belt, M., Gates, R. D., & Takabayashi, M. (2016). Assessing the impact of acute disturbances on the structure and composition of a coral community using innovative 3D reconstruction techniques. *Methods in Oceanography*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.mio.2016.04.001>

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

Carlot, J., Rovère, A., Casella, E., Harris, D., Grellet-Muñoz, C., Chancerelle, Y., Dormy, E., Hedouin, L., & Parravicini, V. (2020). Community composition predicts photogrammetry-based structural complexity on coral reefs. *Coral Reefs*, 39(4), 967–975. <https://doi.org/10.1007/s00338-020-01916-8>

Casella, E., Collin, A., Harris, D., Ferse, S., Bejarano, S., Parravicini, V., Hench, J. L., & Rovere, A. (2017). Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques. *Coral Reefs*, 36(1), 269–275. <https://doi.org/10.1007/s00338-016-1522-0>

Coll, M., Piroddi, C., Albouy, C., Ben Rais Lasram, F., Cheung, W. W. L., Christensen, V., Karpouzi, V. S., Guilhaumon, F., Mouillot, D., Paleczny, M., Palomares, M. L., Steenbeek, J., Trujillo, P., Watson, R., & Pauly, D. (2012). The Mediterranean Sea under siege: Spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves: The Mediterranean Sea under siege. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4), 465–480. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00697.x>

Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Lasram, F.B.R., Aguzzi, J., Ballesteros, E., Bianchi, C.N., Corbera, J., Dailianis, T., Danovaro, R., Estrada, M., Frogia, C., Galil, B.S., Gasol, J.M., Gertwage, R., Gil, J., Guilhaumon, F., Kesner-Reyes, K., Kitsos, M.S., Koukouras, A., Lampadariou, N., Laxamana, E., de la Cuadra, C.M.L.F., Lotze, H.K., Martin, D., Mouillot, D., Oro, D., Raicevich, S., Rius-Barile, J., Saiz-Salinas, J.I., Vicente, C.S., Somot, S., Templado, J., Turon, X., Vafidis, D., Villanueva, R., Voultsiadou, E., 2010. The Biodiversity of the Mediterranean Sea : Estimates , Patterns , and Threats. *PLoS One* 5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011842>

Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.-P., Iglesias, A., Lange, M., Lionello, P., Carmen Llasat, M., Paz, S., Cli-, al, 2018. Nature Cli-mate Change. *nature.com* 8. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>

Darling, E. S., Graham, N. A. J., Januchowski-Hartley, F. A., Nash, K. L., Pratchett, M. S., & Wilson, S. K. (2017). Relationships between structural complexity, coral traits, and reef fish assemblages. *Coral Reefs*, 36(2), 561–575. <https://doi.org/10.1007/s00338-017-1539-z>

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

de Los Santos, C. B., Krause-Jensen, D., Alcoverro, T., Marbà, N., Duarte, C. M., Van Katwijk, M. M., ... & Santos, R. (2019). Recent trend reversal for declining European seagrass meadows. *Nature communications*, 10(1), 3356.

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.

Didierlaurent, S., & Lamare, V. (2021, April 20). *Spicara maena* (Linnaeus, 1758),. Doris. <https://doris.ffessm.fr/ref/specie/707>

Drap, P. (2012). Underwater Photogrammetry for Archaeology. In D. C. da Silva (Ed.), *Special Applications of Photogrammetry*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/33999>

Duarte, C. M. (2002). *The future of seagrass meadows*. Environmental Conservation, 29(2), 192–206. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000127>

Figueira, W., Ferrari, R., Weatherby, E., Porter, A., Hawes, S., & Byrne, M. (2015). Accuracy and precision of habitat structural complexity metrics derived from underwater photogrammetry. *Remote Sensing*, 7(12), 16883–16900. <https://doi.org/10.3390/rs71215859>

Galewski, T., Segura, L., Biquet, J., Saccon, E. & Boutry, N. (2021). *Living Mediterranean Report – Monitoring species trends to secure one of the major biodiversity hotspots*. Tour du Valat.

Guillén J E, Lizaso J L S, Jiménez S, Martínez J, Codina A, Montero M & Zubcoff J J, 2013. Evolution of *Posidonia oceanica* seagrass meadows and its implications for management. *Journal of sea research*, 83, 65-71.

Gutiérrez-Heredia, L., D'Helft, C., & Reynaud, E. G. (2015). Simple methods for interactive 3D modeling, measurements, and digital databases of coral skeletons. *Limnology and Oceanography: Methods*, 13(4), 178–193. <https://doi.org/10.1002/lom3.10017>

HAASE, D., 2007. Modelling, assessing and monitoring urban socio-ecological systems: the new challenge of shrinkage and perforating cities for urban green and nature conservation. *IALE Publication Series*, vol. 4, p. 227-228.

Holland, M., Risser, p., & Naiman, R. (1991). *Ecotones*. Chapman & Hall.

Holmes, G. (2008). Estimating three-dimensional surface areas on coral reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 365, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.045>

IUCN. (2025). *The IUCN Red List of Threatened Species* (Version 2025-2). <https://www.iucnredlist.org>

Ifremer/Système d'Informations Halieutiques, 2024. Activité des navires de pêche – Région Occitanie.

Jouvenel J.-Y., Picard-Afrah I. 2021. Etude des herbiers de *Posidonia oceanica* du parc naturel marin du golfe du lion, leur suivi surfacique et évaluation de leur état de conservation –Rapport final (177 p).

Karlou-Riga, C., Petza, D., Charitonidou, K., Anastopoulos, P., Koulmpaloglou, D.-S., & Gantias, K. (2020). Ovarian dynamics in picarel (*Spicara smaris*, L., Sparidae) and implications for batch fecundity and spawning interval estimation. *Journal of Sea Research*, 160–161.



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.

Lasanta, T., González-Hidalgo, J.C., Vicente-Serrano, S.M. & Sferi, E. (2006). *Using landscape ecology to evaluate an alternative management scenario in abandoned Mediterranean mountain areas*. *Landscape and Urban Planning*, 78(1-2), 101-114. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.06.003>

Lavy, A., Eyal, G., Neal, B., Keren, R., Loya, Y., & Ilan, M. (2015). A quick, easy and non-intrusive method for underwater volume and surface area evaluation of benthic organisms by 3D computer modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(5), 521-531. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12331>

Linder, W. (2016). *Digital Photogrammetry*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-662-50463-5. 71, 82

Marbà, N., Duarte, C. M., Díaz-Almela, E., Terrados, J., Álvarez, E., Martínez, R., ... & Grau, A. M. (2005). Direct evidence of imbalanced seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot population dynamics in the Spanish Mediterranean. *Estuaries*, 28, 53-62.

Marbà, N., Duarte, C. M., Cebrián, J., Gallegos, M. E., Olesen, B., & Sand-Jensen, K. (1996). *Growth and population dynamics of Posidonia oceanica on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline*. *Marine Ecology Progress Series*, 137, 203-213. <https://doi.org/10.3354/meps137203>

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.

McGarigal, K., & Cushman, S. A., 2002. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological applications*, 12(2), 335-345.

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.

Mizuno, K., Asada, A., Matsumoto, Y., Sugimoto, K., Fujii, T., Yamamuro, M., Fortes, M. D., Sarceda, M., & Jimenez, L. A. (2017). A simple and efficient method for making a high-resolution seagrass map and quantification of dugong feeding trail distribution: a field test at Mayo Bay, Philippines. *Ecological Informatics*, 38, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.01.004>

Noè, S., Bellavia, C., Calvo, S., Mazzola, A., Pirrotta, M., Sciandra, M., ... & Tomasello, A. (2020). Resilience of the seagrass *Posidonia oceanica* following pulse-type disturbance. *Marine environmental research*, 159, 105011.

Pergent-Martini, C., Monnier, B., Lehmann, L., Barralon, E., & Pergent, G. (2022). Major regression of *Posidonia oceanica* meadows in relation with recreational boat anchoring: A case study from Sant'Amanza bay. *Journal of Sea Research*, 188, 102258.

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-Martini C., Valette-Sansevin A., Pergent G., (2015). Cartographie continue des habitats marins en Corse / Résultats cartographiques - Programme CARTHAMED. Contrat Agence des Aires Marines Protégées et Université de Corse - Equipe Ecosystèmes Littoraux », Corte : 1-60 + annexes.

Plan Bleu, 2026. URL : <https://www.obs.planbleu.org/cartes/mer-et-littoral-cartes-illustrant-relations-entre-pressions-des-activites-humaines-etats-de-lenvironnement/>. Site consulté le 13/05/2026.

Pollio, J., *Application of underwater photogrammetry*, Naval Oceanographic Office, 1968, 46 p.

Price, D. M., Robert, K., Callaway, A., Hall, R. A., & Huvenne, V. A. I. (2019). Using 3D photogrammetry from ROV video to quantify cold-water coral reef structural complexity and investigate its influence on biodiversity and community assemblage. *Coral Reefs*, 38, 1007–1021. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01827-3>

Risser, P. (1995). The status of the science examining ecotones. *BioScience*, 45, 318–325.

Plan Bleu. (2020). *RED 2020 : Rapport d'état de l'environnement et du développement en Méditerranée*. Marseille : Plan Bleu.

Şalcioğlu, A , Gubili , Krey, G , akinan , , & ilgin, R. (2021). Molecular characterization and phylogeography of Mediterranean picarels (*Spicara flexuosa*, *S. maena* and *S. smarís*) along the coasts of Turkey and the Eastern Mediterranean. *Regional Studies in Marine Science*, 45, 101836.

SDES (Service des données et études statistiques). (2026). *La biodiversité en France — État des connaissances en 2025*. Ministère de la Transition écologique. Données sources : PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), janvier 2026. Disponible sur : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/la-biodiversite-en-france-etat-des-connaissances-en-2025>

Short, F. T., & Wyllie-Echeverria, S., 1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation*, 23(1), 17-27.

Tribot, A. S., Mouquet, N., Villéger, S., Raymond, M., Hoff, F., Boissery, P., Holon F. & Deter, J., 2016. Taxonomic and functional diversity increase the aesthetic value of coralligenous reefs. *Scientific reports*, 6, 34229. DOI: 10.1038/srep34229

Turan, C. (2011). The systematic status of the Mediterranean *Spicara* species (Centracanthidae) inferred from mitochondrial 16S rDNA sequence and morphological data. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 17(1), 4-21.

VanDerWal, J., Falconi, L., Januchowski, S., Shoo, L. & Storlie, C. (2014). *SDMTools: Species Distribution Modelling Tools: Tools for processing data associated with species distribution modelling exercises*. R package version 1.1-221. Disponible sur CRAN : <https://CRAN.R-project.org/package=SDMTools>

Wacquart, C., & Lamare, V. (2021, April 20). *Spicara smarís* (Linnaeus, 1758),. Doris. <https://doris.ffessm.fr/ref/specie/3117>

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



Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., ... & Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 106(30), 12377-12381.

Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). '*Structure-from-Motion*' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

Contact

7, place Cassan – Carnon Plage

34130 Manguio - France

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

www.andromede-ocean.com

