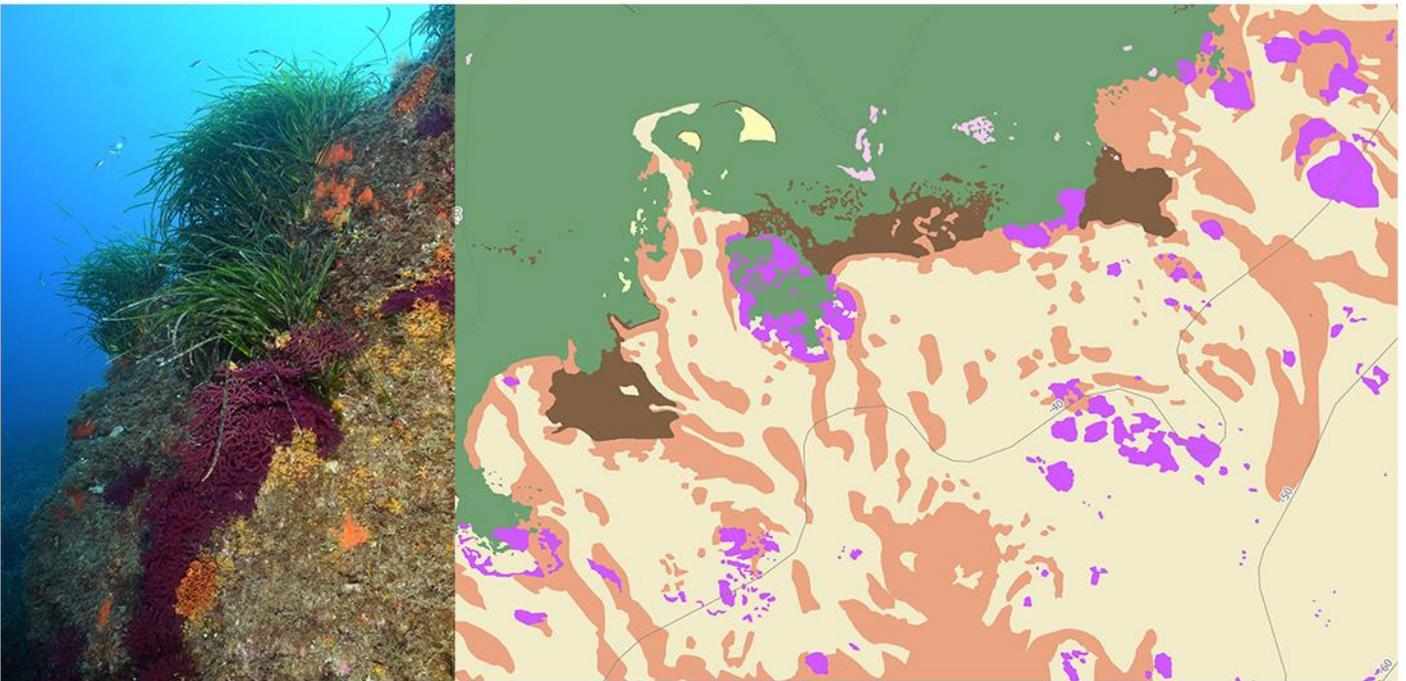
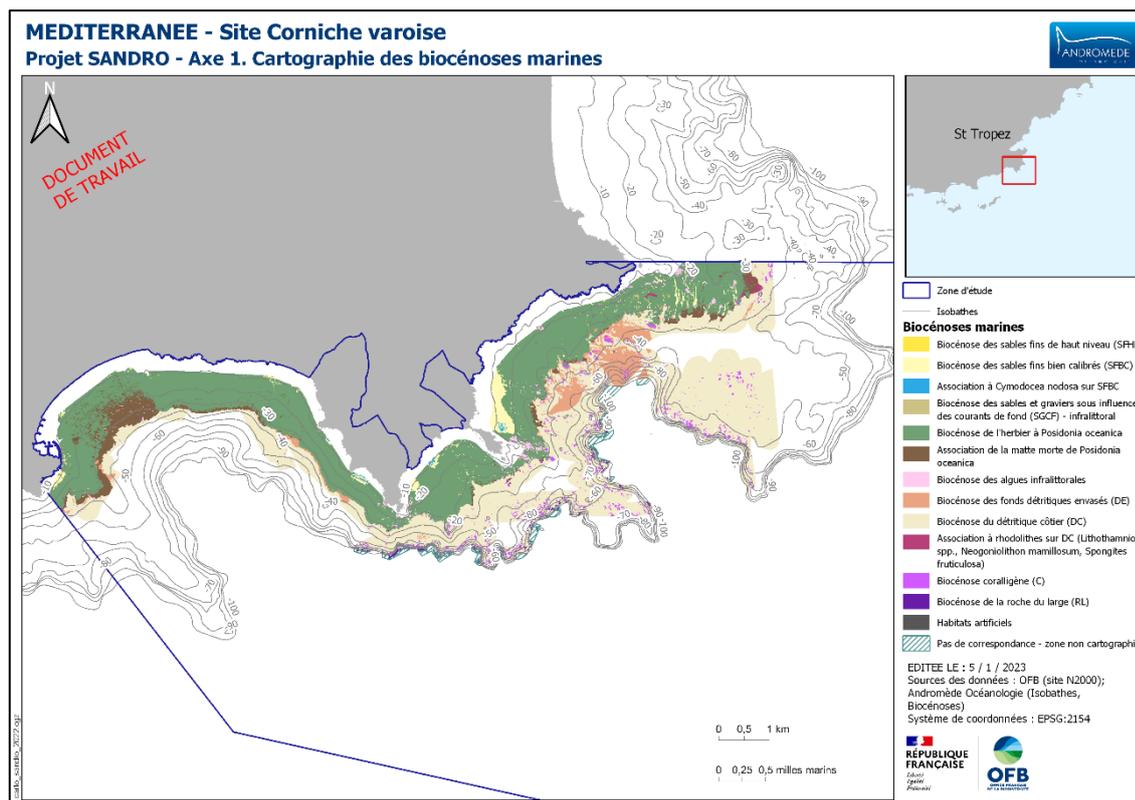


SANDRO : Réinterprétation d'images sonars existantes et acquisition de données photogrammétriques afin d'identifier les habitats marins et d'évaluer les impacts du mouillage et de la plongée

Axe 1 : CARTOGRAPHIE DES BIOCENOSES





Coordination Andromède :

DELARUELLE Gwénaëlle (gwenaelle.delaruelle@andromede-ocean.com)

HOLON Florian (florian.holon@andromede-ocean.com)

Coordination OFB :

DAMIER Elodie (elodie.damier@ofb.gouv.fr)

VILLERS Frédéric (frederic.villers@ofb.gouv.fr)

Traitement des données et rédaction :

BLANDIN Agathe, DELARUELLE Gwénaëlle, DAMIER Elodie

Mise en page des cartographies, et structuration du SIG:

BLANDIN Agathe, DELARUELLE Gwénaëlle, DAMIER Elodie

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

ANDROMEDE / OFB, 2023. SANDRO : Réinterprétation d'images sonars existantes et acquisition de données photogrammétriques afin d'identifier les habitats marins et d'évaluer les impacts du mouillage et de la plongée – Axe 1 : Cartographie des biocénoses. Contrat Andromède Océanologie / OFB. 48 pages.



SOMMAIRE

AXE 1 : CARTOGRAPHIE DES BIOCENOSSES	1
I. CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
II. MATERIEL ET METHODES	1
II.A. <i>La typologie nationale des biocénoses benthiques de Méditerranée</i>	1
II.B. <i>Sites d'étude et données cartographiques existantes</i>	2
II.B.1. Cap Martin	3
II.B.2. Corniche varoise	5
II.C. <i>Supports utilisés pour la cartographie des biocénoses : avantages et inconvénients</i>	11
II.C.1. Méthodes de réalisation des cartographies d'habitats marins benthiques	11
II.C.2. Sonar latéral	11
II.C.3. Sondeur multifaisceaux	15
II.C.4. Vérités terrain	16
II.C.5. Synthèse	17
II.D. <i>Méthode d'évaluation de la fiabilité de la cartographie des biocénoses marines</i>	19
II.D.1. Définition des critères d'évaluation	19
II.D.2. Table attributaire	23
III. RESULTATS	24
III.A. <i>Cap Martin</i>	24
III.A.1. Cartographie des biocénoses marines	24
III.A.2. Fiabilité cartographique	28
III.A. <i>Corniche varoise</i>	32
III.A.1. Cartographie des biocénoses marines	32
III.A.2. Fiabilité cartographique	42
IV. BIBLIOGRAPHIE	45



Axe 1 : Cartographie des biocénoses

I. Contexte et objectifs

Le projet **SANDRO**, tests de réinterprétation d'images sonars existantes et acquisition de données photogrammétriques afin d'identifier les habitats marins et d'évaluer les impacts du mouillage et de la plongée sur ces habitats, est porté par Andromède Océanologie et l'Office français de la biodiversité (OFB). Ce projet, initié en 2021, permet de poursuivre différents objectifs de l'OFB : 1/ Appui à la conception, la mise en œuvre, et l'évaluation des politiques aux niveaux national et international ; 2/ Gestion et appui à la gestion des espaces protégés ; 3/ Production de données, coordination technique des systèmes d'information et information des acteurs.

SANDRO s'inscrit dans le périmètre de la recherche appliquée. Les trois axes qui le composent ont pour objectif de tester des méthodes, à reproduire ultérieurement si probantes, et à apporter des connaissances et des représentations nouvelles des données dans une perspective possible d'amélioration de gestion des Aires Marines Protégées (AMP) et de mise en œuvre du Document Stratégique de Façade (DSF), de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM - [directive 2008/56/CE](#)) et des directives Natura 2000.

Les trois axes de travail du projet SANDRO sont les suivants :

1/ Tester une méthode de réinterprétation des données existantes (images sonars, vérités-terrain), acquises entre 2010 et 2021, au regard de la typologie nationale INPN des biocénoses benthiques de Méditerranée, avec un essai méthodologique sur deux sites.

2/ Analyser les impacts de la petite plaisance sur les herbiers de posidonie sur onze zones en région Sud identifiées par des gestionnaires d'Aires Marines Protégées et la stratégie mouillage.

3/ Analyser l'impact de la plongée par photogrammétrie sur les habitats rocheux sur un site test.

Ce rapport présente l'**axe 1 du projet SANDRO** dont la principale question à l'origine de ce travail est la suivante : **Est-il possible de produire, sur la base des données existantes (sonar et vérités terrain), une cartographie d'habitats selon le niveau 3 de la typologie nationale des biocénoses benthiques, et de certains faciès / associations de niveau 4 ?** Les principaux objectifs sous-jacents de cet axe 1 sont les suivants :

- Identifier les besoins supplémentaires en termes d'acquisition sonar et/ou vérités terrain et rédiger un plan d'échantillonnage complémentaire.
- Selon les besoins supplémentaires identifiés et les coûts associés, convenir d'un plan d'échantillonnage sur une des deux zones et exécuter les acquisitions.
- Réaliser une carte des sources des données et une carte de fiabilité avec proposition de méthodologie sur les critères à considérer pour évaluer la fiabilité.

II. Matériel et méthodes

II.A. La typologie nationale des biocénoses benthiques de Méditerranée

L'objectif de cet axe 1 du projet SANDRO est de tester une méthode de réinterprétation des données existantes au regard de **la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée**. Cette liste de référence française des biocénoses, faciès et associations présents en Méditerranée est issue d'un travail de référencement, homogénéisation et harmonisation des typologies d'habitats existantes. La première version de la typologie a été établie en 2011 puis elle a été mise à jour en 2014 suite à de nouvelles acquisitions de connaissances. La dernière version date de novembre 2019 (Michez et al.¹).

1 Michez N., Aish A., Amouroux J.-M., Bellan G., Bellan-Santini D., Chevaldonné P., Dirberg G., Fabri M.-C., Fernez T., Fourt M., Francour P., Frisoni G.-F., Goujard A., Harmelin J.-G., Jordana E., Kleczewski M., Labrune C., Mouronval J.-B., Palomba L., Pérez T., Pergent G., Pergent Martini C., Sartoretto S., Thibaut T., Vacelet J., Verlaque M., 2019. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat / INPN, mars 2019.



Cette typologie est structurée en quatre niveaux. Le premier niveau correspond à l'étagement et le deuxième aux substrats et/ou le régime de salinité. Le troisième niveau fait apparaître les biocénoses, et le niveau quatre les faciès et associations de ces biocénoses. Le terme **biocénose** fait référence à un groupement d'organismes vivants, liés par des relations d'interdépendance dans un biotope dont les caractéristiques dominantes sont relativement homogènes ; chaque biocénose comprend notamment la phytocénose, limitée aux végétaux, et la zoocénose, limitée aux animaux. Sans être vraiment superposables à la notion de biocénose, celles de communauté et d'association au sens phytosociologique en sont très proches (définition d'après PNUE, PAM, CAR/ASP, 2006 in Michez *et al.*, 2011). Une **association** correspond à un aspect permanent d'une biocénose avec une dominance physiologique végétale dans laquelle les espèces sont liées par une compatibilité écologique et une affinité chorologique. Un faciès est un aspect présenté par une biocénose lorsque la prédominance locale de certains facteurs entraîne l'exubérance d'une ou d'un très petit nombre d'espèces notamment animales.

La typologie nationale peut être utilisée pour l'ensemble des programmes et outils qui concernent la façade méditerranéenne. Elle facilite la mise en œuvre des politiques publiques de conservation à l'échelle nationale et permet d'inventorier les habitats présents en France métropolitaine. Le niveau 3 est généralement adapté aux problématiques de gestion et de conservation en permettant de nommer les habitats, notamment dans le cadre de travaux cartographiques. Le niveau des associations et des faciès est plus difficilement cartographiable à une certaine échelle (car nécessitant *a priori* des efforts d'échantillonnage élevés), mais reste néanmoins important pour la connaissance et leur prise en compte dans les études et inventaires.

II.B. Sites d'étude et données cartographiques existantes

L'axe 1 porte sur l'actualisation de la cartographie des biocénoses marines de deux sites :

1/ Le site Natura 2000 « Cap Martin » (FR 9301995)

2/ Une partie du site Natura 2000 « Corniche varoise » (FR 9301624) allant de la commune de Cavalaire-sur-Mer à Cap Camarat

Les données cartographiques récentes disponibles sur ces deux sites Natura 2000 proviennent du **réseau d'analyse surfacique des habitats marins SURFSTAT** mis en place en 2013 à l'initiative de l'Agence de l'eau RMC et d'Andromède Océanologie. Ainsi, en 2014, Andromède Océanologie a réalisé dans le cadre de ce réseau la première cartographie continue des habitats marins méditerranéens français² en compilant 30 années de travaux (uniquement les données les plus précises et les plus récentes ont été conservées). Depuis, plusieurs campagnes d'acquisitions de données ont été menées dans le cadre de SURFSTAT afin d'actualiser cette cartographie continue. Ainsi, une mise à jour des cartographies a été effectuée en 2014 (Delaruelle *et al.*, 2014³) et 2018 (Andromède, 2019) au niveau de 25 masses d'eau côtière de la région Sud. En 2020-2021, ce travail s'est poursuivi par l'acquisition de 30 000 ha de données sonar en région Sud. La région Corse a également fait l'objet de deux études similaires en 2015 (Delaruelle *et al.*, 2015⁴) et 2017 (Andromède, 2018⁵) et une nouvelle actualisation des biocénoses marines de Corse est en cours et sera disponible courant 2023.

La bancarisation de ces données cartographiques est réalisée sur la plateforme **MEDTRIX** dans le projet DONIA Expert.

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

3 Delaruelle G., Deter J., Descamp P., Boissery P., Holon F. 2014. SURFSTAT, réseau d'analyse surfacique des habitats marins. Cartographie et développement d'indicateurs macro-surfaciques en région Provence-Alpes-Côte d'Azur – Application à l'habitat Herbier à Posidonie. Convention Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 233p.

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

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



II.B.1. Cap Martin

La proposition du site n° FR 9301995 – CAP MARTIN a été transmise à l'Europe en avril 2009. Ce site, entièrement marin, couvre une superficie de 2090 ha. Il est présent sur les communes de Roquebrune - Cap Martin et de Menton sur 17 057 mètres de côte, du littoral à 100 mètres de profondeur.

 Localisation du site

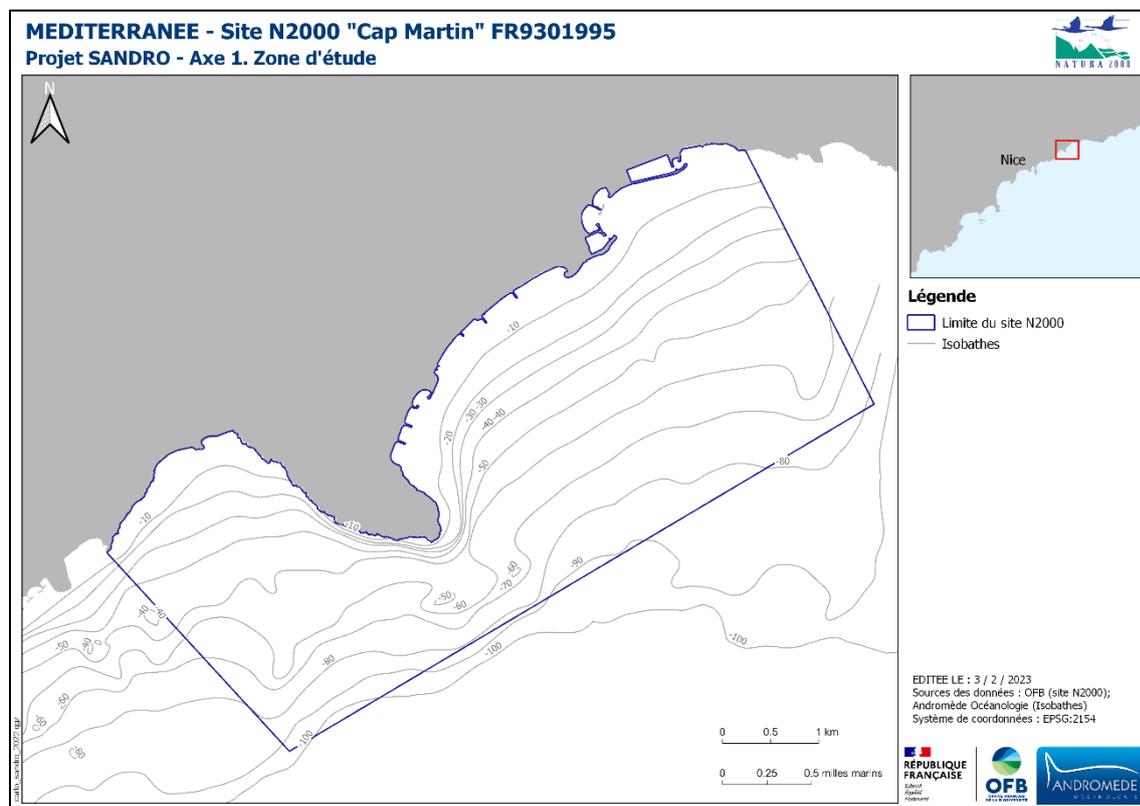


Figure 1 : Vue générale du site Cap Martin.

 Sources des données

Différentes données acquises par Andromède Océanologie ont été utilisées pour réinterpréter la cartographie des biocénoses marines sur ce site dans le cadre de SANDRO :

- **Mosaïque sonar acquise en 2010** – programme CARTHAM (Agence des Aires Marines Protégées, 2010-2012). Ces acquisitions au Klein 3900 ont été réalisées de manière continue d'une dizaine de mètres à une quarantaine de mètres environ, et dans un secteur profond entre 50 et 70 m.
- **Vérités terrain effectuées en 2010** – programme CARTHAM. Elles se répartissent entre des plongées ponctuelles, des transects en plongeur audio, et des observations dans les petits fonds à la lunette de Calpha.

Ces données ont permis la réalisation de la cartographie des biocénoses marines sur le site Natura 2000 Cap Martin et son intégration dans le diagnostic écologique du site (Andromède Océanologie, 2011).

- **Mosaïque sonar acquise en 2020** – réseau SURFSTAT (Agence de l'eau & Andromède Océanologie). Ces acquisitions au Klein 3900 ont été réalisées de manière continue d'une dizaine de mètres à une quarantaine de mètres environ.
- **Vérités terrain effectuées en 2021** – réseau SURFSTAT. Observations réalisées lors de transects en plongeur audio.

Près de **1100 ha de données sonar** et **600 vérités terrain** sont disponibles sur la zone d'étude.



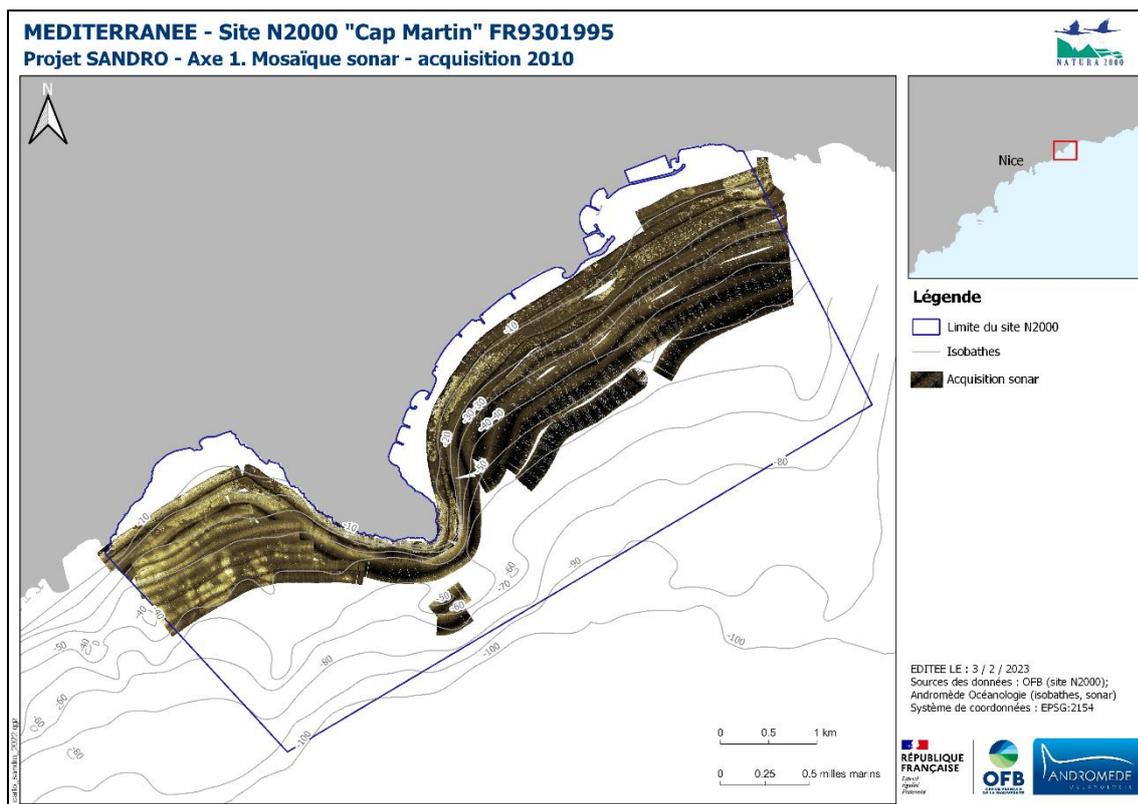


Figure 2 : Données sonar historique - site Cap Martin.

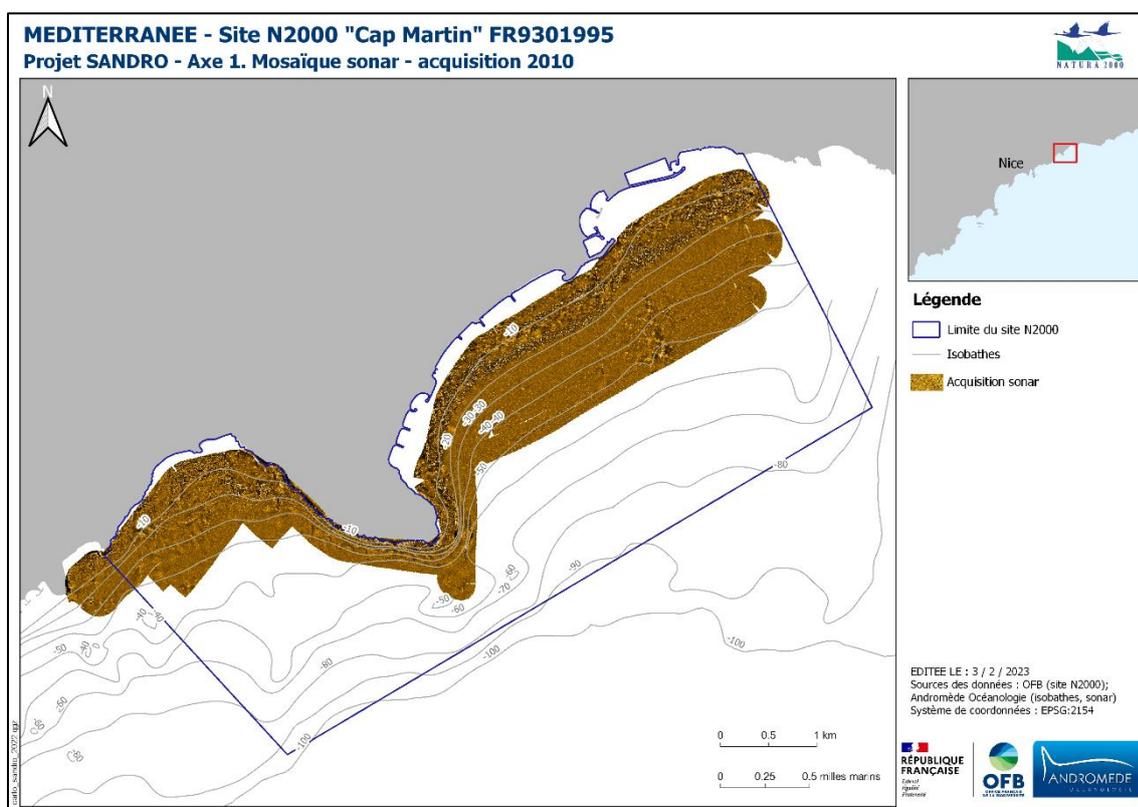


Figure 3 : Données sonar SURFSTAT - site Cap Martin.



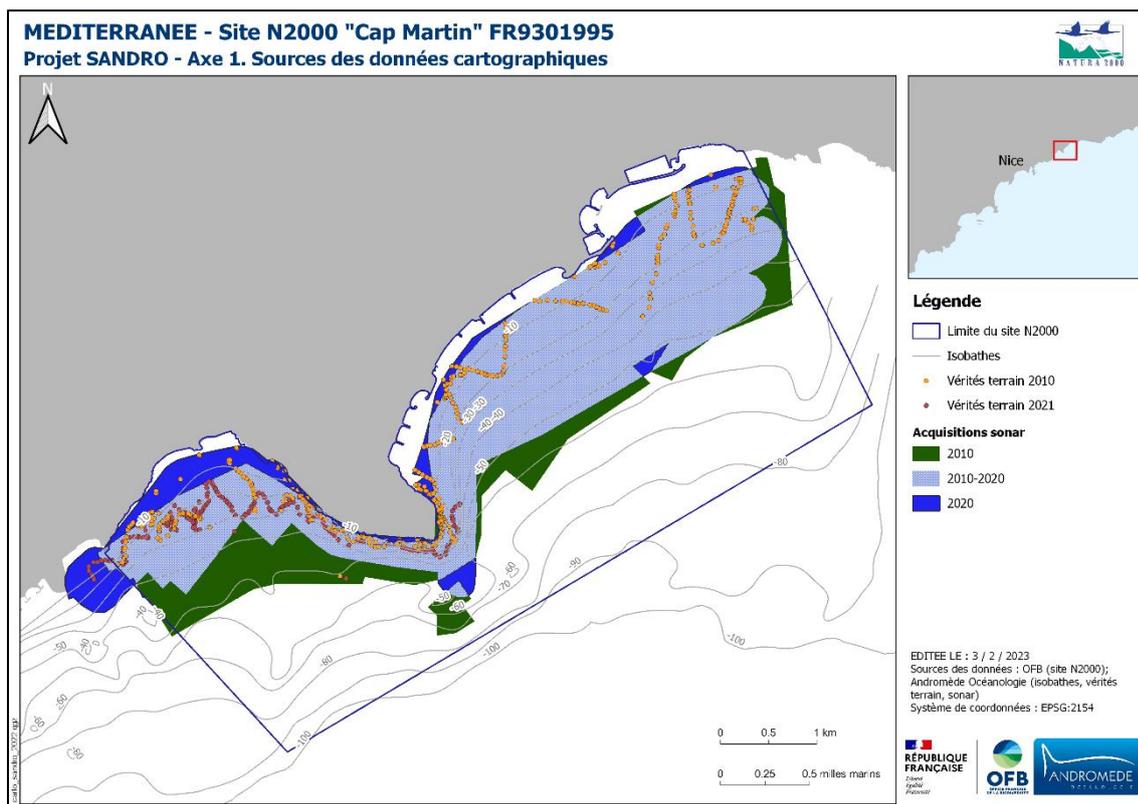


Figure 4 : Sources des données cartographiques utilisées - site Cap Martin.

II.B.2. Corniche varoise

La proposition du site des Trois caps, n° FR 9301624 cap Lardier, cap Taillat, cap Camarat, a été transmise à l'Europe en juillet 2003. Ce site couvrait une superficie totale de 1274 ha et englobait une surface marine d'environ 781 ha, située de la côte jusqu'à l'isobathe des -30 mètres. Par la suite, les services de l'état ont étendu le site sur sa partie marine dénommé alors CORNICHE VAROISE (n° FR 9301624). Ce site couvre une superficie actuelle de 29061 ha, soit environ 23 fois la surface de l'ancien site Natura 2000 des Trois caps. Le site Natura 2000 de la Corniche varoise est situé dans le département du Var sur les communes de Saint-Tropez, Ramatuelle, la Croix-Valmer, Cavalaire sur Mer et le Rayol Canadel.

Localisation du site

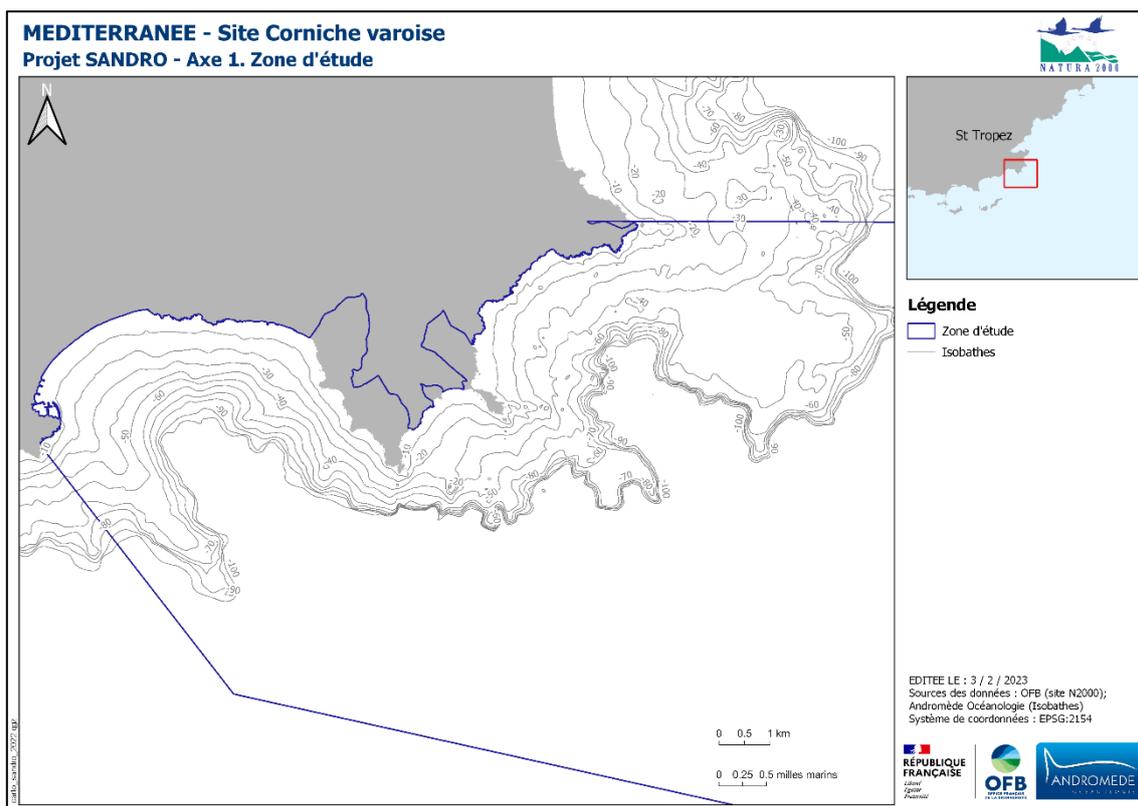


Figure 5 : Vue générale du site Corniche varoise.

Sources des données

Différentes données acquises par Andromède Océanologie ont été utilisées pour réinterpréter la cartographie des biocénoses marines sur ce site dans le cadre de SANDRO :

- **Mosaïque sonar acquise en 2012** – programme CARTHAM (Agence des Aires Marines Protégées, 2010-2012). Ces acquisitions au Klein 3900 ont été réalisées en limite inférieure de l’herbier et dans des secteurs profonds.
- **Vérités terrain effectuées en 2012** – programme CARTHAM. Elles se répartissent entre des plongées ponctuelles, des transects en plongeur audio, et des observations dans les petits fonds à la lunette de Calpha.

Ces données ont permis la réalisation de la cartographie des biocénoses marines sur le site Natura 2000 Corniche varoise et son intégration dans le diagnostic écologique du site (Andromède Océanologie, 2012).

- **Mosaïque sonar acquise en 2019** (SIVOM & Andromède Océanologie). Acquisitions dans la baie de Cavalaire entre 20 et 38 mètres autour de l’émissaire en mer du Pardigon.
- **Mosaïque sonar acquise en 2020** – réseau SURFSTAT (Agence de l’eau & Andromède Océanologie).
- **Vérités terrain effectuées en 2021**– réseau SURFSTAT. Observations réalisées lors de transects en plongeur audio.
- **Modèle Numérique de Terrain acquise en 2022** (Semantic TS – CCGST). Acquisitions bathymétriques au niveau du Moyen sec.
- **Mosaïques sonar et vérités-terrain acquises en 2022** – projet SANDRO. Observations réalisées lors de transects en plongeur audio.

Près de **3 000 ha de données sonar et plus de 730 vérités terrain** sont disponibles sur la zone d’étude.



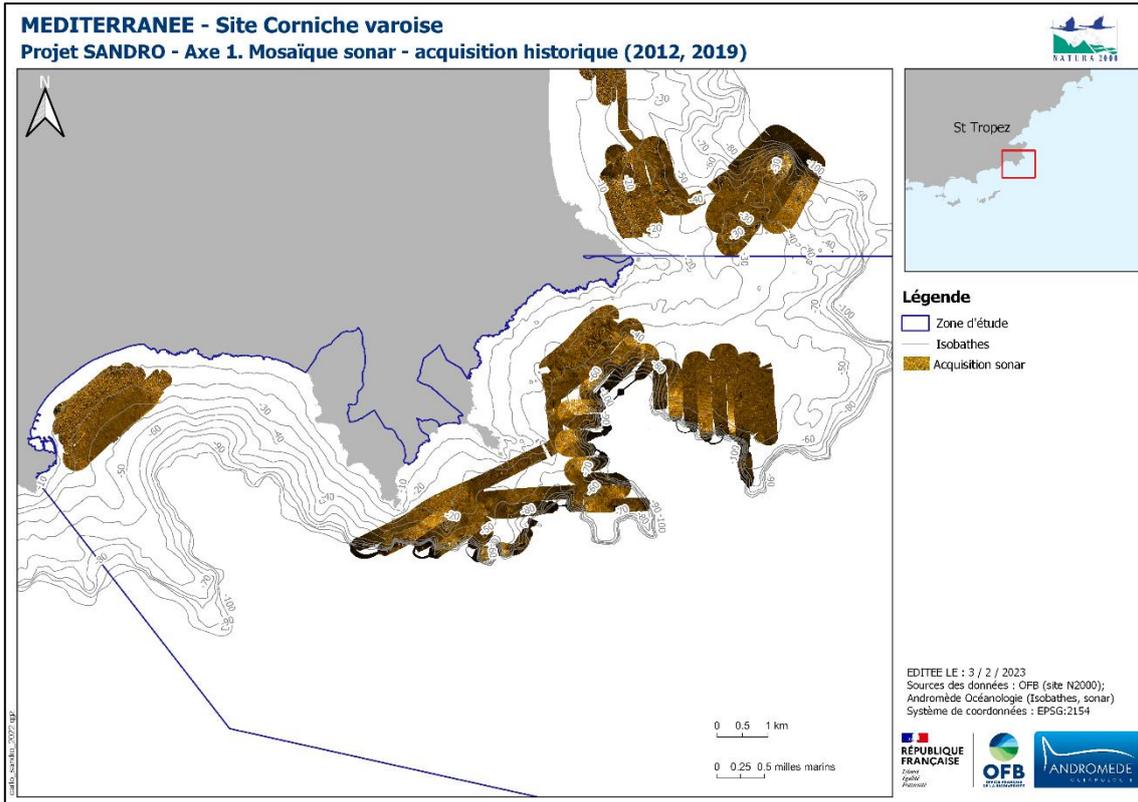


Figure 6 : Données sonar historique - site Corniche varoise.

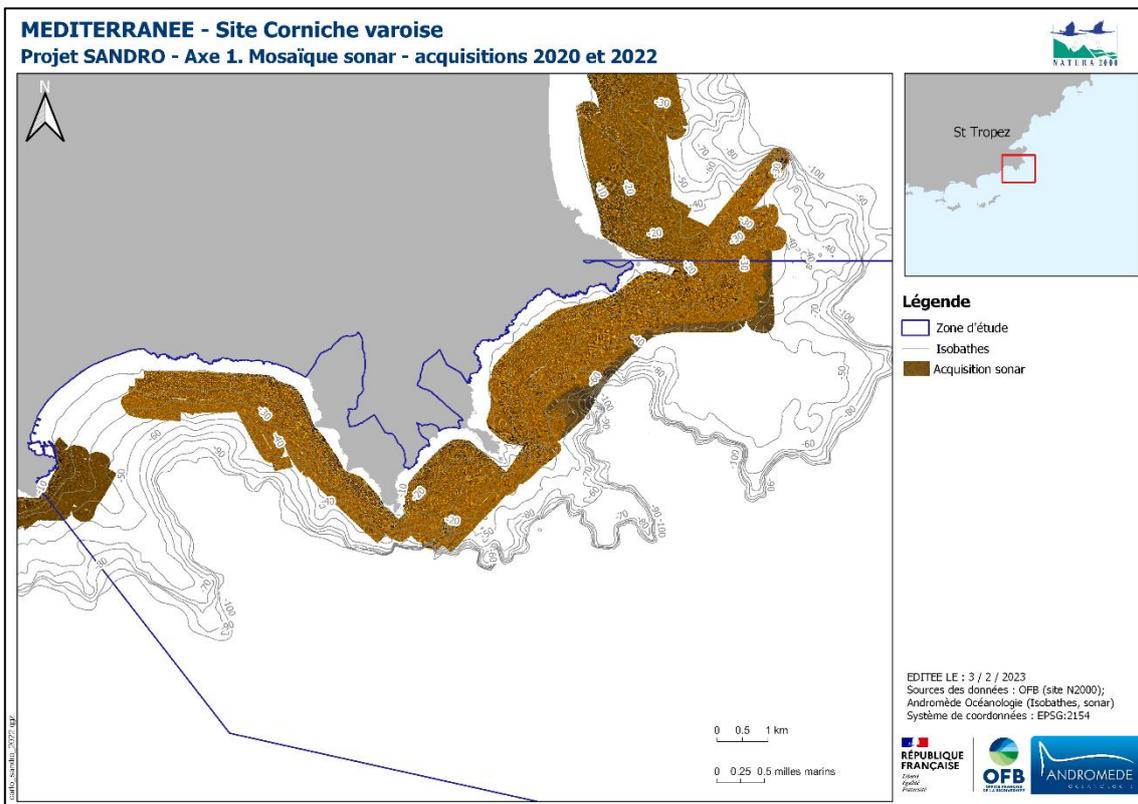


Figure 7 : Données sonar SURFSTAT 2020 et SANDRO 2022 - site Corniche varoise



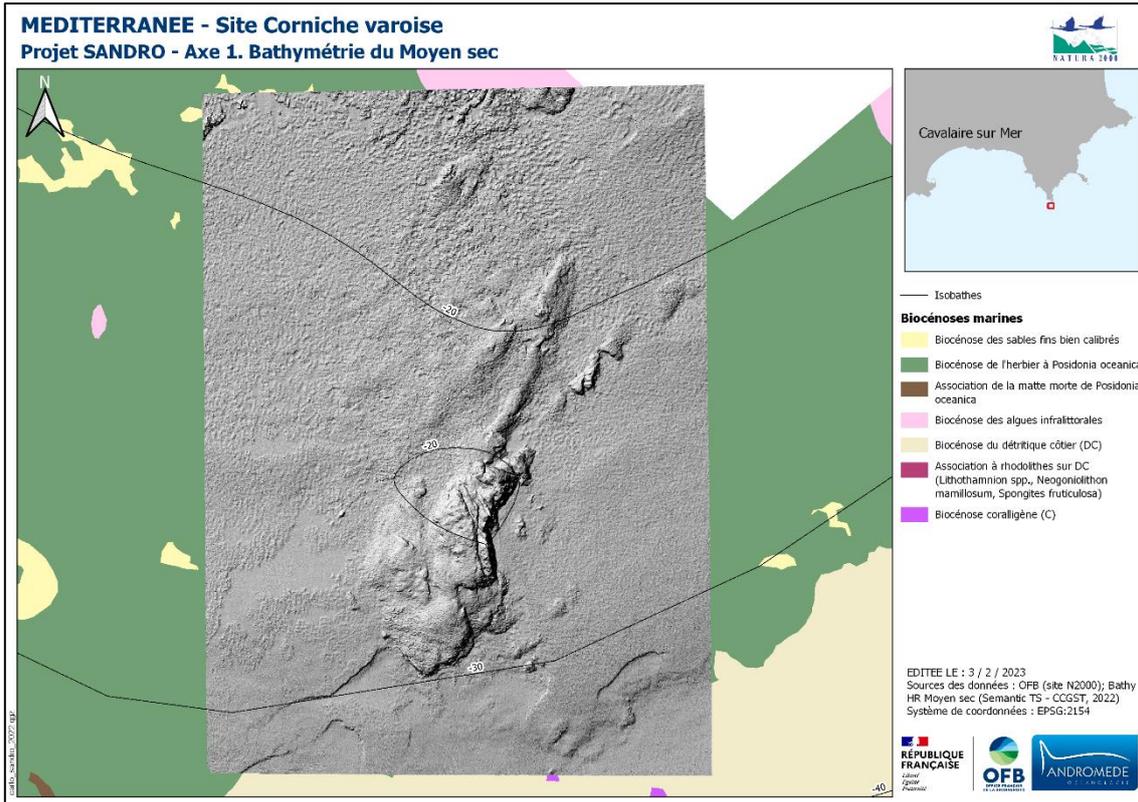


Figure 8 : Bathymétrie du moyen sec (Semantic TS – CCGST, 2022).

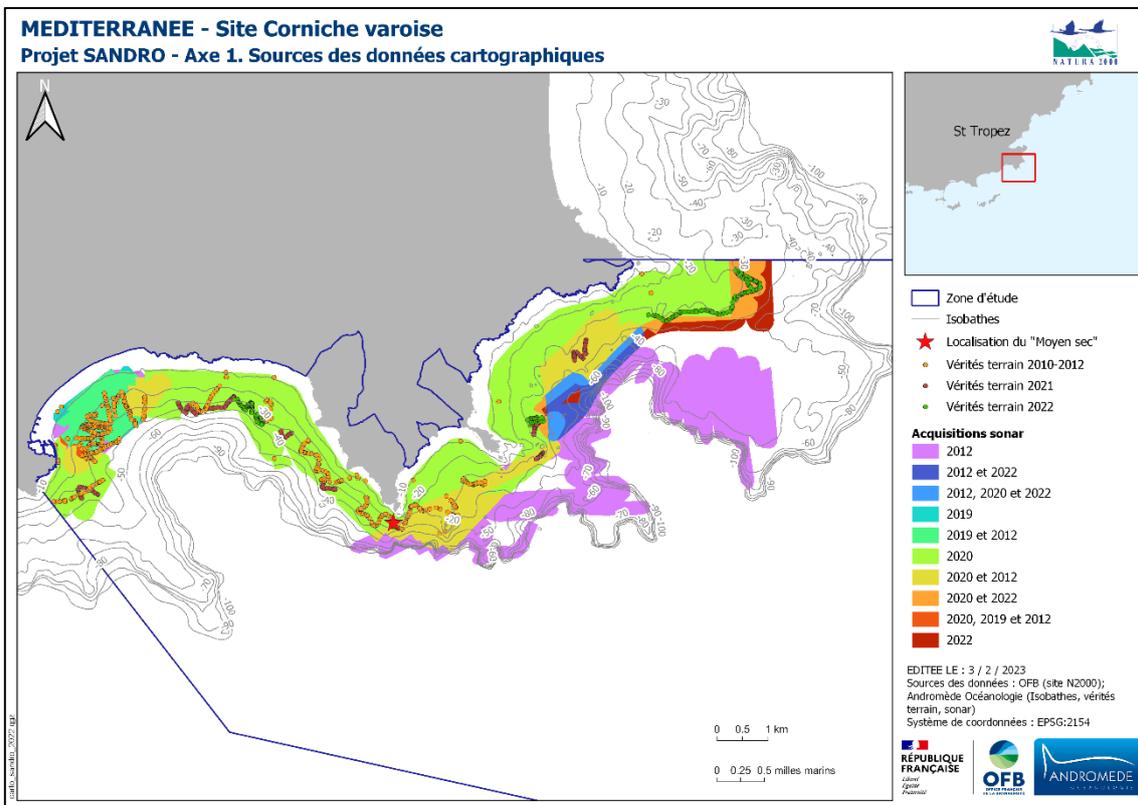


Figure 9 : Sources des données cartographiques utilisées - site Corniche varoise.



Plan d'échantillonnage complémentaire

Le travail de pré-cartographie pour ce secteur a permis d'identifier les besoins supplémentaires en termes d'acquisitions au sonar latéral et de vérités terrain. Un plan d'échantillonnage complémentaire a été proposé par Andromède Océanologie à l'OFB et au gestionnaire du site (Communauté de communes du golfe de St Tropez) lors d'une réunion en Avril 2022. Le plan d'échantillonnage convenu par les trois parties comprenait les acquisitions complémentaires suivantes :

- Une **zone d'acquisitions au sonar latéral** d'une surface d'environ 40 ha (en vert - Figure 10) située au Sud de la Baie de Bonporteau (entre le Cap Taillat et le Cap Camarat).

Cette zone, non couverte par des acquisitions récentes ou historiques au sonar, pourrait être une zone de report de mouillages des bateaux >24 mètres. Le gestionnaire du site souhaite une cartographie précise des récifs coralligènes et de la limite inférieure de l'herbier afin de suivre les effets de la nouvelle réglementation des grandes unités (arrêté cadre n°123/2019) sur les habitats sensibles.

- Une **zone à échantillonner au niveau du Moyen sec** (rectangle bleu - Figure 10) située au large du Cap Lardier.

Couverte par des acquisitions bathymétriques très récentes (source : Semantic TS – CCGST, juin 2022 - voir

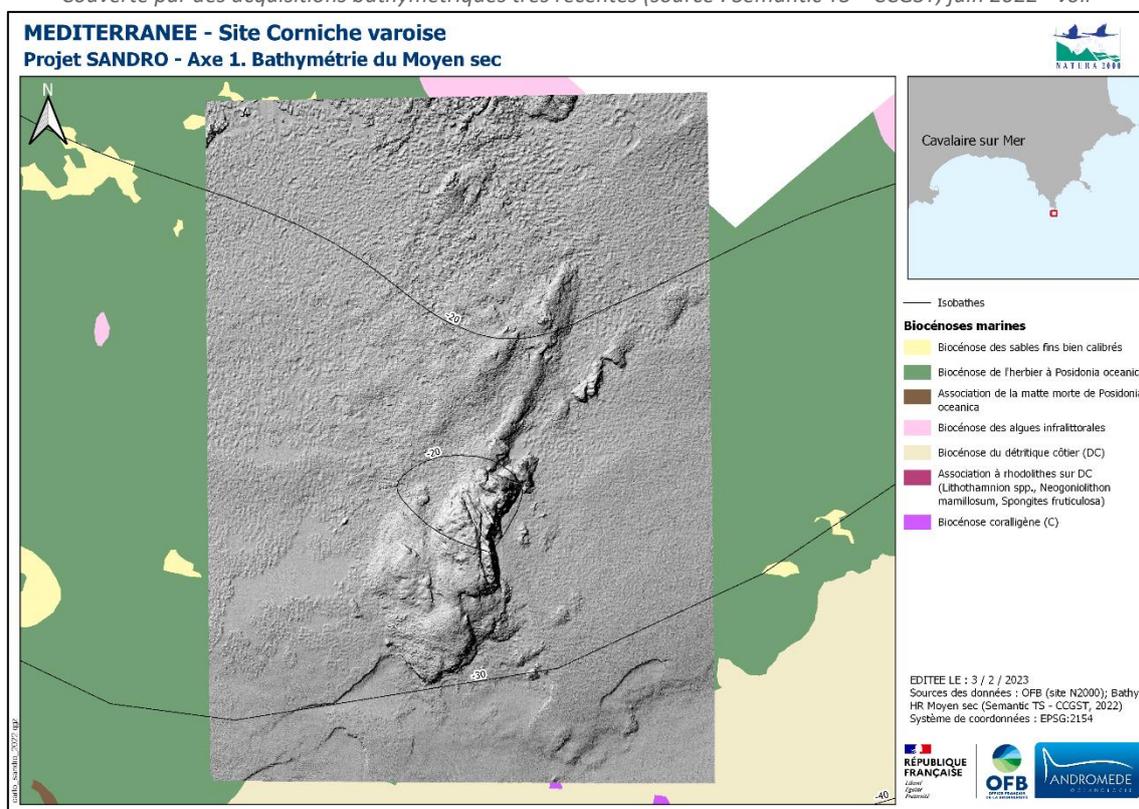


Figure 8), cette zone comprend une mosaïque d'habitats (herbier sur roche / sur coralligène / sur sable, nombreux faciès et associations des roches, différentes typologies de limites de l'herbier, ...) qu'il convient de mieux cartographier grâce à des vérités terrain en plongée tractée.

- **Quatre zones à échantillonner afin de lever des incertitudes cartographiques.** Elles sont localisées dans la Baie de Cavalaire, à l'Est du Cap Taillat, et au large du Cap Camarat (rectangles rouges - Figure 10)

Même si la mosaïque sonar acquise en 2020 dans le cadre de SURFSTAT était d'excellente qualité en raison de conditions météorologiques optimales et de l'absence de perturbations, quatre zones d'incertitudes cartographiques concernant la limite inférieure de l'herbier ont été mises en évidence lors de la réalisation de la pré-cartographie des biocénoses. En raison de la diminution de la densité de faisceaux d'herbier en limite inférieure, certains types de limite observés au sonar sur le site Corniche varoise présentent une signature acoustique localement moins marquée (cas des limites régressives où la différence entre matte morte « nue » et présence de patchs isolés d'herbier sur matte morte est difficile à cartographier, ou de limites très clairsemées, ou encore de matte morte ensablée). L'objectif est d'échantillonner en plongée tractée ces quatre zones afin d'affiner la cartographie de la limite inférieure de l'herbier.

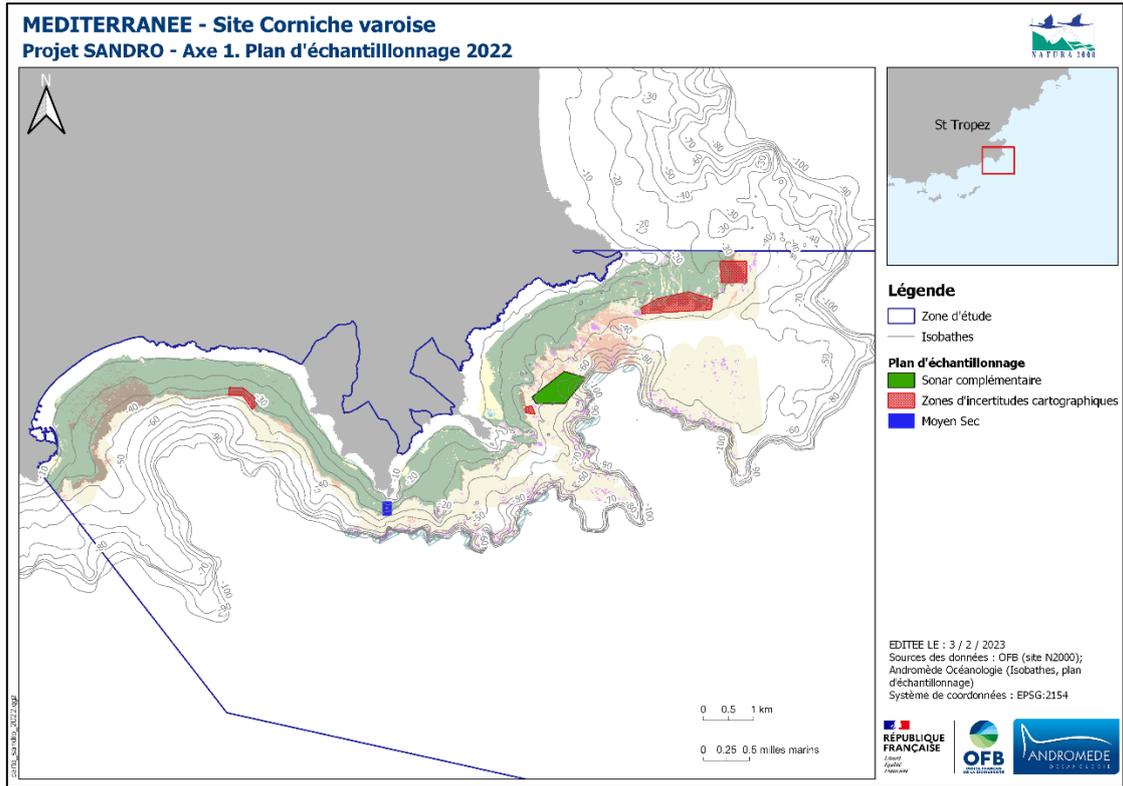


Figure 10 : Plan d'échantillonnage proposé - site Corniche varoise



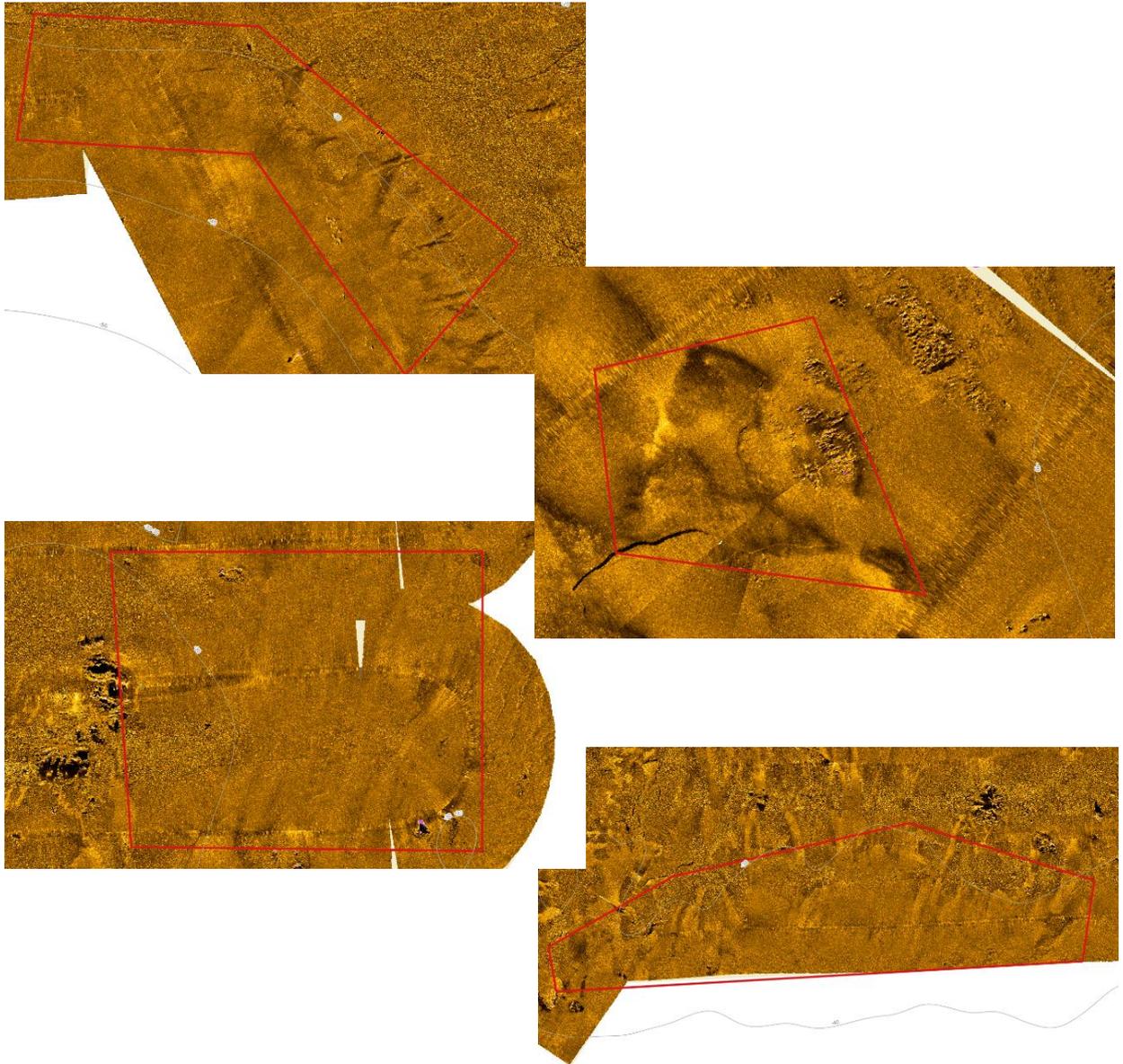


Figure 11 : Extrait de la mosaïque sonar (SURFSTAT, 2020) montrant les quatre zones d'incertitude cartographiques.



II.C. Supports utilisés pour la cartographie des biocénoses : avantages et inconvénients

II.C.1. Méthodes de réalisation des cartographies d'habitats marins benthiques

En Europe, la cartographie des habitats benthiques a été étudiée dans les eaux danoises dès les années 1900 (Brown et al., 2001) puis par différents auteurs en Manche orientale et sur les côtes françaises. En Méditerranée, il existe une importante tradition de la cartographie marine principalement en raison de l'œuvre de scientifiques français tels que Molinier et Picard (1952) (Bianchi et al., 2004).

Les techniques utilisées dans les premières études de cartographie étaient essentiellement des méthodes de dragage et de sondage. Ils informaient sur la structure et la répartition spatiale des assemblages benthiques. Celles-ci restaient ponctuelles et éloignées géographiquement. Récemment, la production de cartes continues des habitats marins a été rendue possible avec le développement de techniques acoustiques abordables et de bonne résolution, et dont l'utilisation est croissante depuis les années 1900 (Brown et al., 2001). Les techniques acoustiques sont appropriées pour cartographier les habitats marins, là où l'identification visuelle directe est limitée par la transparence de l'eau.

Concernant la cartographie des habitats dans la zone subtidale, de nombreux outils acoustiques sont disponibles et utilisées dans le domaine marin depuis quelques décennies (Anderson et al., 2008 ; Brown et al., 2011). Ces méthodes produisent des « images » des fonds marins par la transmission d'ultrasons dans l'eau. Les principaux outils acoustiques sont les échosondeur mono ou multifaisceaux, les sonars à balayage latéral, et les systèmes acoustiques de classification automatique des fonds. Chaque méthode acoustique est caractérisée par son champ d'action (quelques centaines de m² jusqu'à plusieurs milliers de m²), sa résolution, et son coût d'utilisation. Seule la combinaison de plusieurs systèmes permet d'accéder à un niveau de confiance suffisant pour définir, au final, les délimitations des peuplements benthiques et obtenir une cartographie pertinente des habitats (Holon, 2015). Les combinaisons des systèmes d'extrapolation peuvent être multiples mais demandent toutes, pour valider les données, le couplage à un système d'observation (=vérité-terrain). Ces observations doivent utiliser des techniques d'échantillonnage adaptées à la nature du fond. Les méthodes d'échantillonnage indirect (prélèvement à la benne, à la drague, ...) sont plus adaptées aux fonds meubles, alors que pour les fonds durs les vérités terrain peuvent être réalisées directement dans le milieu.

II.C.2. Sonar latéral

Les données sonar font parties des données brutes les plus utilisées par Andromède Océanologie pour la cartographie des biocénoses marines car elles permettent d'appréhender assez précisément les différentes typologies d'habitats benthiques présents principalement du fait du caractère très visuel de ce type de donnée (comparable à une « photographie » du fond, en nuances de jaune/doré ici).

Cependant, même si ces données peuvent facilement suffire à elles-mêmes, elles ne sont pas pour autant parfaites en termes de géoréférencement et de qualité visuelle dans certains cas (Figure 12, Figure 13). L'existence de ces artefacts dans l'acquisition de données au sonar latéral montre qu'il est important de se baser sur plusieurs sources et types de données brutes. **La multiplication de sources de données pour ce type d'étude cartographique participe également à augmenter la fiabilité des résultats obtenus.**



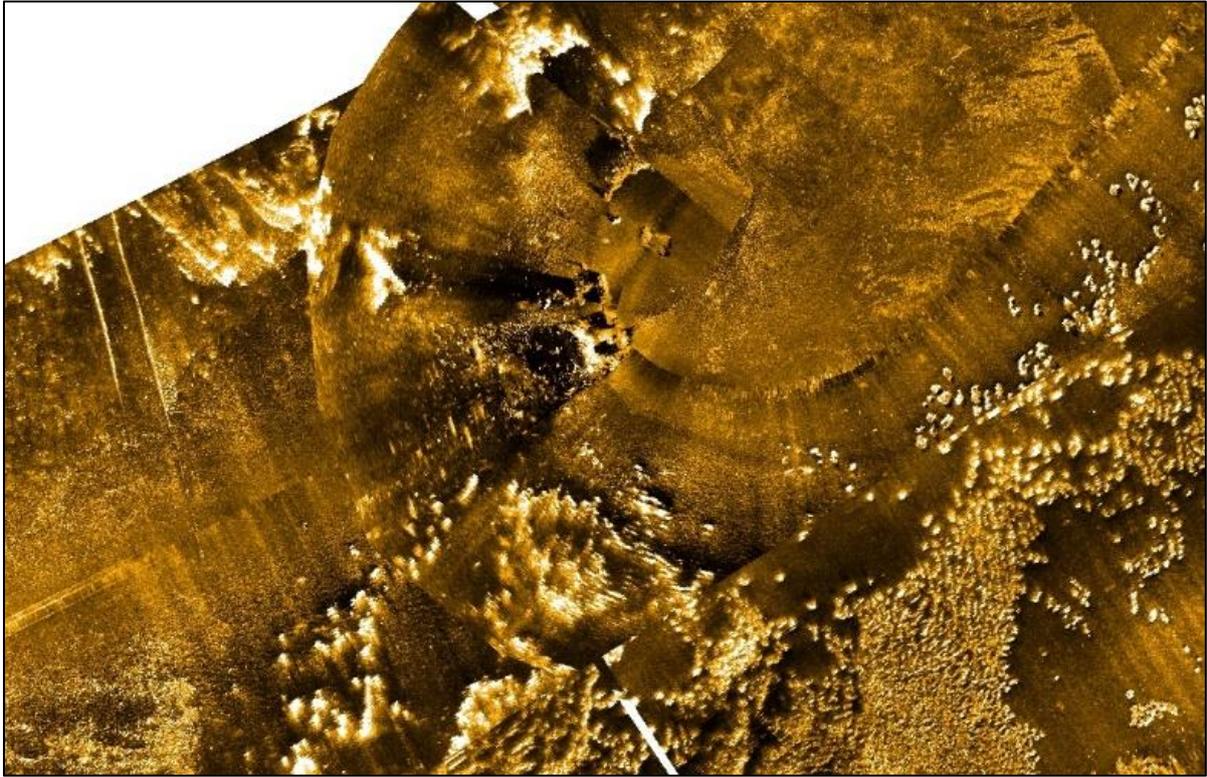


Figure 12 : Zooms sur des bandes sonar déformées par le virage du navire en pleine acquisition.

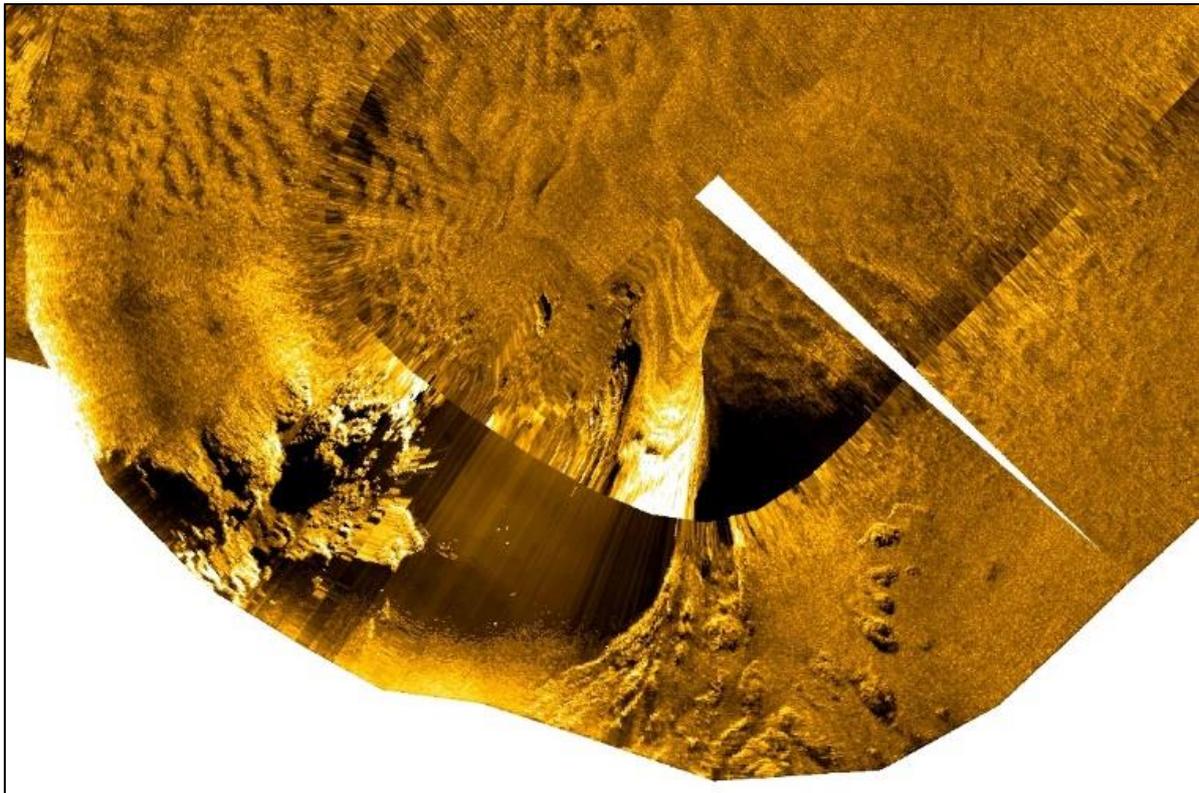


Figure 13 : Zooms sur des bandes sonar déformées par le virage du navire en pleine acquisition. Ces virages causent des déformations visuelles et des décalages des habitats visibles rendant l'interprétation difficile et la cartographie possiblement erronée. Ces virages sont généralement effectués hors des zones d'intérêt quand cela est possible (Données SURFSTAT 2020, Andromède Océanologie/AERMC).



Une des trois difficultés majeures rencontrées lors de l'interprétation d'images sonar se situe surtout en limite inférieure d'herbier de posidonie, là où la luminosité est plus faible. Ce paramètre abiotique impacte fortement la distribution spatiale de *Posidonia oceanica* ce qui se traduit principalement par une diminution de la densité de faisceaux et/ou la présence de feuilles plus courtes et moins nombreuses par faisceau. Ce type de limite inférieure possède ainsi une signature acoustique beaucoup moins marquée (cas des limites fortement régressives où la différence entre matte morte « nue » et présence de patches isolés d'herbier sur matte morte est difficile à cartographier, ou de limites inférieures d'herbier très clairsemées). Il est donc parfois difficile de différencier certaines typologies de limite inférieure d'herbier d'une zone de matte morte ensablée ou d'une zone de sable, d'où l'intérêt de procéder à des vérifications *in situ* (plongée ponctuelle ou tractée, caméra tractée). Cette incertitude est double lorsque la limite inférieure se situe au centre d'une bande sonar car il s'agit d'une zone où les ondes acoustiques sont les plus perpendiculaires au fond et donc où les habitats sont les plus « aplatis » et donc moins reconnaissables par rapport aux habitats aux trois-quarts ou en bordure de bande (effet d'ombre portée plus important sur les bords qu'au centre).

La seconde difficulté correspond à la différenciation des substrats meubles. Deux biocénoses sont très facilement interprétables au sonar comme les biocénoses des sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (qui présentent des ripplemarks bien visibles au sonar) et des substrats meubles envasés comme le détritique envasé (plus c'est envasé plus cela ressort en noir au sonar), ainsi que l'Association à *Cymodocea nodosa* sur SFBC. En ce qui concerne les autres biocénoses des fonds meubles de la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée (Biocénose des sables fins bien calibrés, Biocénose des sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues, Détritique côtier, Biocénose des fonds détritiques du large, ...) et surtout les différents faciès associés, la méthode la plus efficace pour les discriminer est le prélèvement de sédiments afin de faire une analyse sédimentaire (granulométrie, benthos, ...). Cependant, des observations effectuées par un plongeur biologiste peuvent aider à déterminer la nature du fond meuble en estimant rapidement la composition et la taille des sédiments (sable fin uniforme, sable grossier coquillé, zone sablo-vaseuse, etc.) ainsi que certains faciès comme l'Association à rhodolithes sur DC ou sur SGCF, l'Association à *Osmundaria volubilis* sur DC, les faciès à grands bryozoaires sur DC, etc.

Enfin, la troisième difficulté concerne les herbiers de posidonie sur roche. La rugosité des fonds rocheux étant très élevée (paramètre analysé par les ondes acoustiques du sonar latéral), il est compliqué de déterminer avec certitude la présence ou l'absence d'une tache d'herbier et surtout son recouvrement sur un fond rocheux, principalement dans des zones avec un fort relief. Il est donc nécessaire d'effectuer des vérités-terrain afin d'estimer le recouvrement de l'herbier sur la roche et la profondeur de la limite inférieure. Cependant, même avec de nombreuses vérités-terrain, l'herbier de posidonie sur roche reste un habitat difficile à cartographier étant donné l'incertitude liée aux forts reliefs rocheux et à la forte variabilité spatiale qui en découle (herbier souvent en patches isolés surtout en limite inférieure).

Page suivante, deux exports d'images sonar sont présentés afin d'illustrer les difficultés d'interprétation que l'on peut rencontrer.



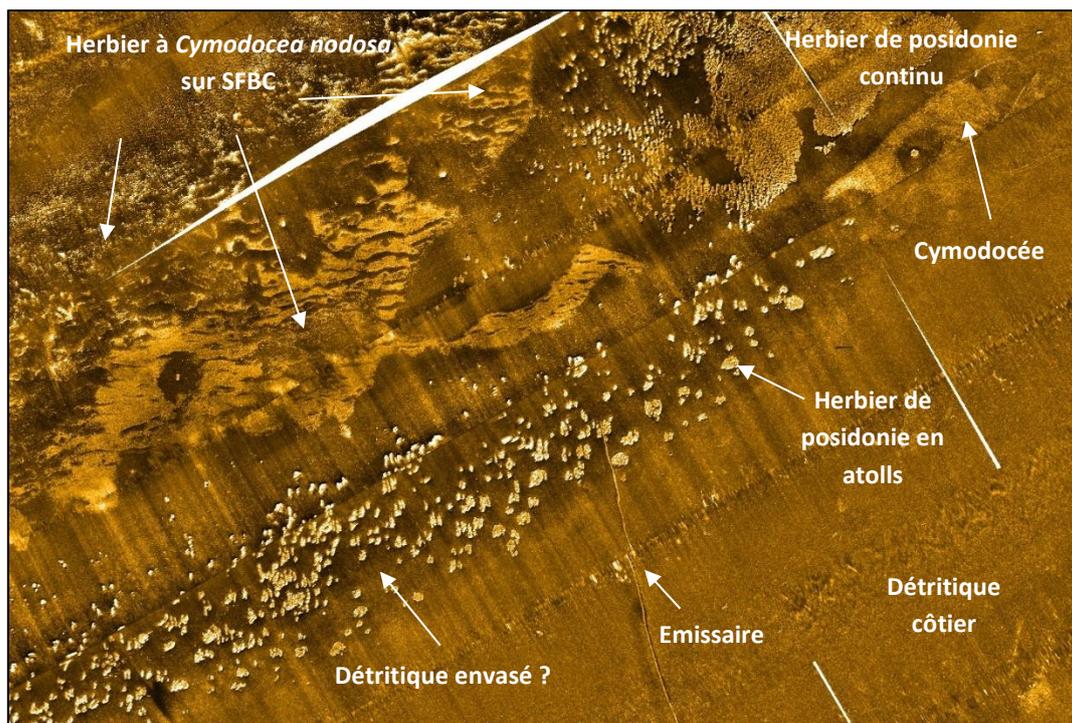


Figure 14 : Image sonar des fonds au sud du Vieux port de Menton provenant de la campagne de terrain SURFSTAT effectuée en mars/avril 2020 (Andromède Océanologie/AERMC). Les signatures des herbiers à *Cymodocea nodosa* et des herbiers à *Posidonia oceanica* sont facilement différenciables au sonar. Cependant il peut être parfois compliqué de reconnaître de la *Cymodocée* en cas de faible densité de faisceaux ou de faible vitalité comme c'est peut-être le cas en haut à droite de l'image.

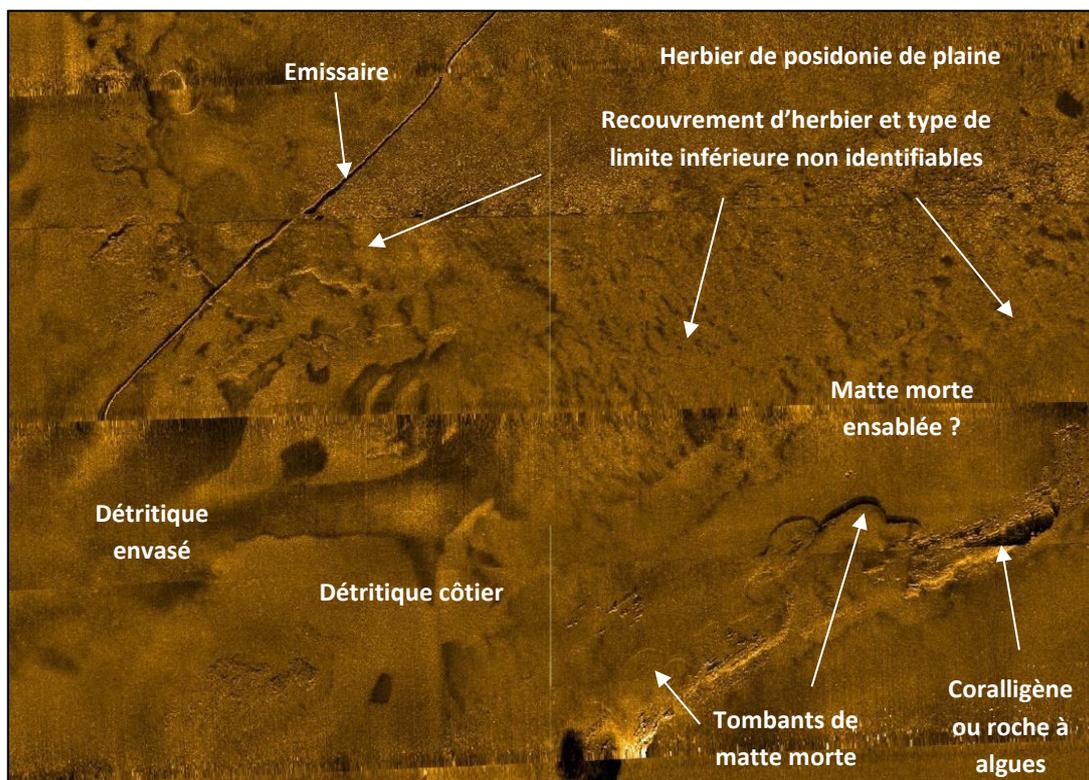


Figure 15 : Image sonar des fonds à l'ouest de la Baie de Sanary-sur-Mer provenant de la campagne de terrain SURFSTAT effectuée en mars/avril 2020. Cet export montre une limite inférieure d'herbier difficilement cartographiable possiblement du fait de la faible densité de faisceaux de *posidonie* ; cela signifierait que cette limite inférieure d'herbier est régressive dans ce secteur. Des observations en plongée sont nécessaires afin de valider ces suppositions et de cartographier le plus réellement possible ce secteur.



II.C.3. Sondeur multifaisceaux

Les acquisitions au sondeur multifaisceaux sont également utilisées en tant que support à la cartographie des biocénoses et sont complémentaires des données sonar 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, ...), 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 (figures ci-dessous).

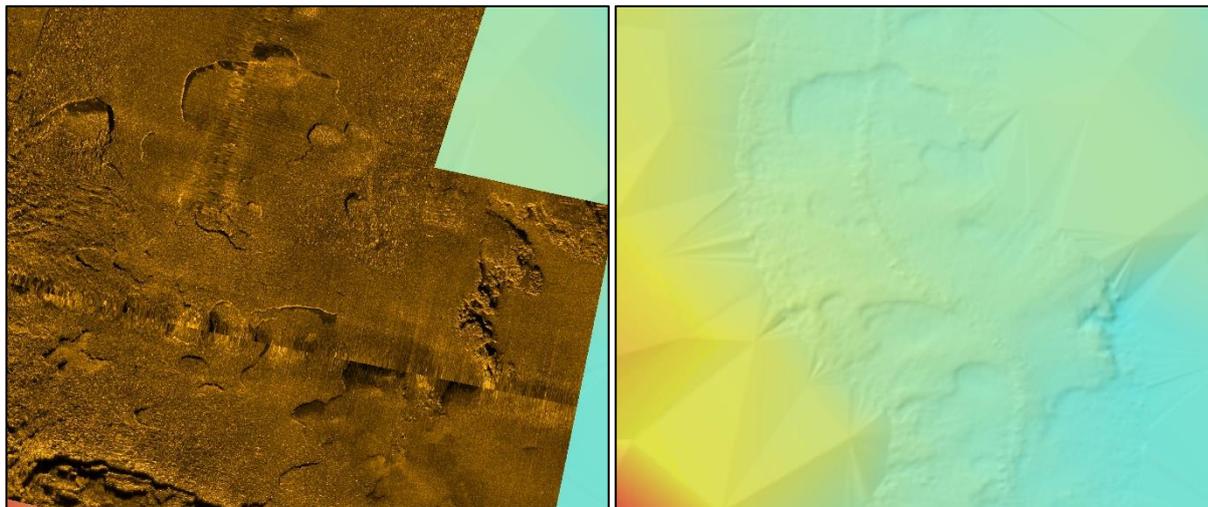


Figure 16a : Exports d'une image sonar et d'un modèle numérique de terrain acquis au large du Cap Lardier en région Sud (Andromède Océanologie). Sur l'image de gauche on observe des massifs rocheux pouvant correspondre à du coralligène. Ces structures étant situées dans un virage, on peut s'apercevoir dans l'image de droite que leur position est décalée par rapport au MNT (image sonar en transparence) dont le géoréférencement est plus proche de la réalité.

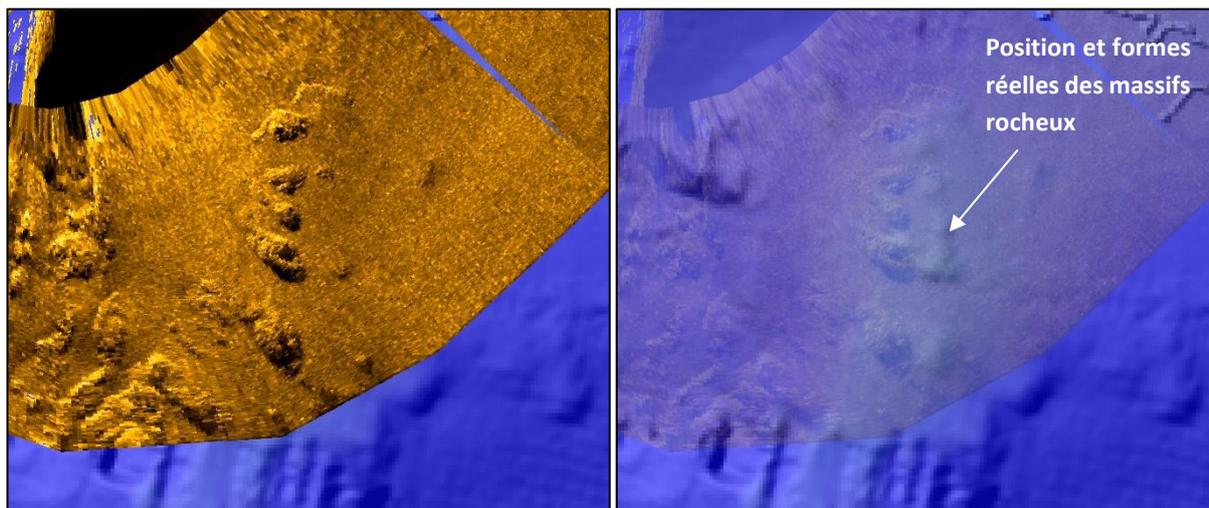


Figure 16b : Exports d'une image sonar et d'un modèle numérique de terrain acquis au nord du Cap Bénat en région Sud (Andromède Océanologie). Dans l'image de gauche on peut observer un herbier de posidonie continu entrecoupé d'intermattes déferlantes (taches de sable formées par les courants creusant l'herbier) qui sont visibles dans le MNT sur l'image de droite.



II.C.4. Vérités terrain

La nécessité de disposer de vérités-terrain (i.e. d'observations directes des fonds en plongée ou avec une caméra, ou de prélèvement de sédiments par exemple) est **extrêmement importante voire fondamentale** lors de la création ou de l'actualisation d'une cartographie biocénotique. Ces données terrain permettent de **valider la pré-cartographie** (version intermédiaire de la cartographie) en soulevant les incertitudes liées à l'interprétation des images sonar (déformation, décalage, habitats ayant une signature acoustique très proche, etc.) ou du MNT (artefacts). Elles permettent donc **d'augmenter la confiance** que l'on peut accorder à toute cartographie biocénotique générée à partir de plusieurs types de données brutes comme les données bathymétriques, les données sonar, les photographies aériennes (notamment pour les fonds compris entre la surface et 15 mètres de profondeur lorsque l'eau est claire) ou la cartographie historique.

Cependant, une **part d'erreur** peut également être présente dans l'acquisition de vérités-terrain et notamment des observations en plongée ou par caméra. Ces erreurs peuvent principalement s'expliquer par trois paramètres :

***L'observateur** : chaque observateur possède son propre jugement ce qui implique que les observations effectuées en plongée ou en visionnant une vidéo peuvent contenir des biais si plusieurs observateurs sont impliqués (ce qui est souvent le cas pour la prise d'observation en plongée sous-marine). Les observations sensibles à ces biais correspondent généralement aux paramètres de recouvrement (% de surface recouverte par un habitat), aux comptages (densité de faisceaux de posidonie par exemple), à l'estimation des tailles ou des distances. Ainsi, lorsqu'une analyse de l'évolution du recouvrement d'herbier de posidonie pour un site est prévue, le changement d'observateur d'une année à l'autre peut ajouter un biais aux observations effectuées.

***La visibilité sous l'eau** : ce paramètre peut facilement varier en fonction des secteurs (exemple : Golfe du Lion vs Calanques de Marseille) et peut conditionner la qualité des observations relevées. Ainsi, si la visibilité est mauvaise, l'estimation des distances, des tailles et du recouvrement des habitats (notamment des herbiers de posidonie) peut être fortement altérée et fausser en partie la cartographie. Il est également difficile d'extrapoler les observations de recouvrement lorsque la visibilité est amoindrie surtout dans les secteurs où la diversité d'habitats et la variabilité spatiale intra-habitat sont élevées (comme sur le site N2000 « Posidonies de la côte palavasienne » en Occitanie par exemple). Dans ce cas, il est préférable d'adapter à la hausse le nombre d'observations à produire, ce qui peut fortement rallonger le temps passé sur le terrain et augmenter les coûts (rallongement des distances parcourues en plongée tractée par exemple donc augmentation de la consommation de carburant par le navire).

***Les saisons** : le rythme biologique de certaines espèces marines (ex : la classe des poissons) ou des caractéristiques biologiques de certaines biocénoses marines (ex : les herbiers à *Posidonia oceanica* ou à *Cymodocea nodosa*) étant fortement conditionnés par les saisons (température, salinité, luminosité, nutriments, etc.), les vérités-terrain peuvent varier. Par exemple, si l'on souhaite effectuer une étude approfondie de l'état de santé d'un herbier à Magnoliophytes comme la posidonie ou la cymodocée, la densité des faisceaux, la longueur des feuilles et les réserves accumulées dans les rhizomes changent en fonction des saisons de l'année. Les observations relevées peuvent donc être différentes si elles ne sont pas faites à la même saison d'une année à l'autre, et sont donc moins comparables. Cela peut être la même chose pour les études de biomasse en poissons par exemple, l'activité biologique et donc la présence ou l'absence de certaines espèces et d'individus au sein d'une espèce évolue fortement, biaisant ainsi les analyses qui pourraient être faites ensuite. Concernant l'étude des herbiers de phanérogames marines (cymodocées, zostères, posidonie), il sera plus logique d'effectuer les acquisitions sonar et/ou vérités-terrain entre la fin du printemps et l'été. C'est en effet à cette période que les feuilles sont les plus longues et donc plus visibles sur les bandes sonar, ce qui facilite grandement l'interprétation du recouvrement et de la cartographie des surfaces végétalisées. De la même manière, lors de la prise d'images en caméra tractée (pour les vérités-terrain par exemple), le recouvrement d'un herbier sera plus facilement interprétable lorsque les feuilles sont les plus longues.

Malgré ces sources d'erreur, les données de vérités-terrain restent, avec le sonar latéral, une des sources de données les plus fiables pour la réalisation d'une cartographie biocénotique. La difficulté majeure pour prendre en compte les vérités-terrain dans l'évaluation de la fiabilité de la cartographie se situe dans le choix des paramètres que l'on veut intégrer pour évaluer le critère « vérités-terrain ». Il est logique d'admettre que plus on effectue d'observations ou de prélèvements sur la globalité du site d'étude, plus la cartographie sera fiable. Mais comment peut-on évaluer correctement cette fiabilité ?

La **densité de vérités-terrain** (nb d'obs./km²) et leur **répartition sur l'ensemble du site** (% du site couvert) semblent être les meilleurs candidats pour cela, mais quels seuils d'évaluation faut-il choisir ? Faut-il ramener cela à l'ensemble du site ou pondérer en fonction du nombre d'entités concernées par ces vérités-terrain (problème d'échelle) ? Quel niveau d'extrapolation peut-on accepter ? Devons-nous intégrer de nouveaux paramètres, comme la visibilité par exemple, et pondérer les valeurs obtenues en fonction de ces paramètres-là ?



La répartition spatiale des vérités terrain est également un critère complexe à évaluer dont la méthode peut paraître arbitraire dans le sens où son évaluation est subjective car elle se fait « visuellement » en analysant la couverture des données (% du site couvert par les données). L'évaluation se fait en visualisant si les données sont réparties sur toutes les tranches bathymétriques et si elles comprennent toutes les biocénoses présentes sur le site d'étude. Il n'y a donc ici pas de méthode de calcul ou d'analyse spatiale précise pour définir une couverture chiffrée des vérités-terrain, le résultat dépend en partie de la personne qui évalue le critère. Il serait peut-être intéressant de tester les différentes méthodes citées précédemment (extrapolation ou non, pondération en fonction de paramètres abiotiques ou non, utilisation d'une zone tampon (buffer) en fonction de la visibilité, etc.) pour évaluer ce critère et de comparer la rapidité et ou la facilité d'exécution de chacune d'elles.

II.C.5. Synthèse

Le tableau ci-dessous détaille, pour les biocénoses des étages infralittoral et circalittoral en mer ouverte de la « Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée », celles dont la signature acoustique est facilement identifiable au sonar latéral et celles dont il est nécessaire d'effectuer des vérités-terrain.

Tableau 1 : Liste des biocénoses marines de la « Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée » identifiables au sonar latéral et celles nécessitant des vérités-terrain.

BIOCENOSSES ET FACIES / ASSOCIATIONS _ CODE	BIOCENOSSES ET FACIES / ASSOCIATIONS _ LIBELLE	SONAR LATERAL	VERITES TERRAIN, PRELEVEMENTS ou AUTRES SUPPORTS
III.2.1.	Biocénose des sables fins de haut niveau (SFHN)	Biocénose non identifiable au sonar (répartition bathymétrique de 1 m à quelques mètres)	Observation directe et analyse de la granulométrie
III.2.1.a.	Facies à <i>Lentidium mediterraneum</i>	Biocénose non identifiable au sonar (extension bathymétrique de 1 à 5m)	Observation directe et analyse sédimentaire
III.2.2.	Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)	Biocénose identifiable mais limite inférieure arbitraire autour de -25m selon la Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée du MNHN)	Observation directe et/ou analyse de la granulométrie
III.2.2.a.	Association à <i>Cymodocea nodosa</i> sur SFBC	Association identifiable	Observation directe pour avoir des informations sur le recouvrement
III.2.3.	Biocénose des sables vaseux superficiels de mode calme (SVMC)	Association non identifiable au sonar (profondeur entre 1 et 3m)	Observation directe et/ou photographie aérienne
III.2.3.a.	Association à <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Zostera noltei</i> , <i>Caulerpa prolifera</i> et <i>Caulerpa ollivieri</i>	Association non identifiable au sonar (profondeur entre 1 et 3m)	Observation directe et/ou photographie aérienne
III.3.1.	Biocénose des sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (SGBV)	Biocénose non identifiable au sonar (profondeur n'excède pas 1m)	Observation directe et/ou analyse de la granulométrie
III.3.1.a.	Association à rhodolithes sur SGBV (<i>Lithophyllum dentatum</i> , <i>Lithophyllum racemus</i> , <i>Lithophyllum incrustans</i>)	Association non identifiable au sonar (profondeur n'excède pas 1m)	Observation directe
III.3.2.	Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond (SGCF) (présence en position infralittorale et circalittorale)	Biocénose identifiable au sonar	
III.3.2.a.	Association du maërl sur SGCF (<i>Lithothamnion corallioides</i> et <i>Phymatolithon calcareum</i>)	Association non identifiable au sonar	Observation directe
III.3.2.b.	Association à rhodolithes sur SGCF (<i>Lithophyllum racemus</i> et <i>Lithothamnion spp.</i>)	Association non identifiable au sonar	Observation directe
III.4.1.	Biocénose des galets infralittoraux (GI)	Association non identifiable au sonar (extension bathymétrique : quelques décimètres)	Observation directe et/ou photographie aérienne
III.5.1.	Biocénose de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	*Biocénose identifiable (plaine continue) *Biocénose difficilement identifiable (limite régressive et/ou vitalité faible)	Observation directe (information sur le recouvrement, le substrat et le type de limite inférieure)



		*Biocénose non identifiable (herbier sur roche)	
III.5.1.a.	Récif barrière, herbier tigré, atoll	Biocénose non identifiable au sonar (limite arbitraire autour de -3m)	Observation directe et photographie aérienne
III.5.1.b.	Association de la matre morte de <i>Posidonia oceanica</i>	Association difficilement identifiable en fonction de la typologie de l'herbier et de la topographie.	Observation directe. En limite inférieure d'herbier il est souvent nécessaire au plongeur de vérifier la présence de matre morte en « creusant » sous le substrat pour voir si c'est de la matre ensablée, de la matre ou du substrat meuble.
III.5.1.c.	Association de la matre morte de <i>Posidonia oceanica</i> à <i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Penicillus capitatus</i>	Association non identifiable au sonar	Observation directe
III.6.1.	Biocénose des algues infralittorales	Biocénose identifiable au sonar	Non nécessaire
III.6.1.a. à III.6.1.e.	Différentes associations à <i>Cystoseira sp.</i> de la biocénose des algues infralittorales	Associations non identifiables au sonar	Observation directe et/ou prélèvements
III.6.1.f. à III.6.1.z.	Associations diverses de la biocénose des algues infralittorales	Associations non identifiables au sonar	Observation directe
IV.2.1.	Biocénose des fonds détritiques envasés (DE)	Biocénose identifiable mais confusion possible avec la Biocénose du détritique côtier. Le sonar permet de distinguer si ces fonds sont envasés ou non par la couleur de la mosaïque mais pas le niveau d'envasement.	Observation directe complétée par une analyse granulométrique qui permet de vérifier que la vase est dominante par rapport au gravier et sable.
IV.2.1.a.	Faciès à <i>Ophiothrix quinquemaculata</i>	Association non identifiable au sonar	Observation directe
IV.2.2.	Biocénose du détritique côtier (DC)	Biocénose identifiable mais confusion possible avec la Biocénose des fonds détritiques envasés. Le sonar permet de distinguer si ces fonds sont envasés ou non par la couleur de la mosaïque sonar mais pas le niveau d'envasement.	Observation directe complétée par une analyse granulométrique qui permet de vérifier que la fraction vaseuse est inférieure à 20 %.
IV.2.2.a.	Association du maërl sur DC (<i>Lithothamnion corallioides</i> et <i>Phymatolithon calcareum</i>)	Association non identifiable au sonar	Observation directe et/ou prélèvement
IV.2.2.b.	Association à rhodolithes sur DC (<i>Lithothamnion spp.</i> , <i>Neogoniolithon mamillosum</i> , <i>Spongites fruticulosa</i>)	Association non identifiable au sonar	Observation directe et/ou prélèvement
IV.2.2.c. à IV.2.2.j.	Associations diverses de la biocénose du détritique côtier	Associations non identifiables au sonar	Observation directe
IV.2.3.	Biocénose des fonds détritiques du large (DL)	Biocénose difficilement identifiable au sonar. La limite inférieure de cette biocénose correspond à la rupture de pente du talus continental.	Données bathymétriques et granulométrie (la fraction grossière du substrat de la biocénose DL est constituée d'un mélange de petits graviers et de gros débris coquillers).
IV.2.3.a.	Faciès à <i>Neolampas rostellata</i>	Association non identifiable au sonar	Observation directe
IV.2.3.b.	Faciès à <i>Leptometra phalangium</i>	Association non identifiable au sonar	Observation directe
IV.3.1.	Biocénose coralligène (C)	Biocénose identifiable au sonar mais confusion possible avec la roche du large ou la roche infralittorale	Observation directe et données bathymétriques
IV.3.1.a. à IV.3.1.l.	Associations diverses de la biocénose Coralligène	Association non identifiable au sonar	Observation directe
IV.3.3.	Biocénose des grottes semi-obscurées (GSO)	Biocénose non identifiable au sonar	Observation directe
IV.3.3.a.	Faciès à <i>Parazoanthus axinellae</i>	Biocénose non identifiable au sonar	Observation directe
IV.3.3.b.	Faciès à <i>Corallium rubrum</i>	Biocénose non identifiable au sonar	Observation directe
IV.3.4.	Biocénose des grottes et boyaux à obscurité totale (GO)	Biocénose non identifiable au sonar	Observation directe



IV.3.5.	Biocénose de la roche du large (RL)	Biocénose identifiable au sonar mais confusion possible avec la biocénose coralligène	Observation directe et données bathymétriques
---------	--	---	---

A noter que la catégorie « Habitat artificiel » n'a pas de correspondance avec la typologie nationale mais sa cartographie est intégrée au travail global en raison de son importance. En effet, cartographier les habitats artificiels permet de quantifier et d'analyser *a fortiori* les impacts anthropiques sur l'environnement marin et surtout les herbiers de posidonie (perte d'habitats naturels à cause de l'urbanisation des côtes, émissaires en mer, épaves de bateau, etc.).

II.D. Méthode d'évaluation de la fiabilité de la cartographie des biocénoses marines

Cette partie expose la méthode et les différentes étapes suivies pour l'évaluation de la **fiabilité de la cartographie des biocénoses marines**. Cette évaluation sert principalement à visualiser et à analyser la confiance que l'on peut accorder aux résultats cartographiques en fonction des données utilisées pour la création de la cartographie.

II.D.1. Définition des critères d'évaluation

La méthode utilisée est celle présentée en annexe de l'étude CARBONSINK de Pergent et al. (2020)⁶. **Onze critères d'évaluation** ont été utilisés pour l'évaluation de la fiabilité de la cartographie pour chaque entité cartographiée :

Tableau 2 : Échelle d'évaluation de la fiabilité pour l'acquisition des données brutes (bleu) ; des données terrain (vert) et pour l'interprétation (gris) (d'après Pergent et al., 2020).

Critères d'évaluation	3 POINTS	2 POINTS	1 POINT	0 POINT
Couverture des données brutes	100 %	75 à 99 %	50 à 74 %	≤ 50 %
Positionnement/géoréférencement	GPS différentiel	GPS (non différentiel) ou autre système électronique non satellitaire de navigation	Carte marine ou alignement remarquable	Estime ou pas de relevé géographique
Nature des peuplements	Très différente	Différente	Proche	Très proche
Topographie : pente	Faible et constante	Faible et irrégulière	Forte et constante	Forte et irrégulière
Exploitation de la donnée brute (Effet de surface ; Présence d'artefacts)	100 % de la donnée brute	100 % > de la donnée brute ≥ 75 %	75 % > de la donnée brute ≥ 50 %	50 % de la donnée brute >
Taille du Pixel, Echelle	Pixel ≤ 0.5 m Echelle ≤ 1/2 000 ≤ 10 % de la portée	0,5 m < Pixel ≤ 2 m 1/2 000 < Echelle ≤ 1/10 000 10 % < de la portée ≤ 20%	2 m < Pixel ≤ 5 m ; 1/10 000 < Echelle ≤ 1/25 000 20% < de la portée ≤ 50 %	Pixel > 5 m Echelle > 1/25 000 > 50 % de la portée
Répartition des données terrain / Surface d'étude	Couverture ≥ 50 %	50 % > C > 25 %	25 % > C ≥ 5 %	5 % > C
Densité	VT / km ² ≥ 50	50 > VT / km ² > 25	25 > VT / km ² ≥ 5	5 > VT / km ²
Niveau de détail	Classes définies sur la base d'une analyse biologique détaillée	Classes définies sur la base des principales espèces ou formes de vie caractéristiques	Classes définies sur la base de données physiques ou de zones biologiques générales	Classes définies à partir de données historiques
Limite des habitats	Qualification certaine et limites certaines	Qualification certaine mais limites incertaines	Qualification douteuse	Information non fournie
Méthode utilisée	Logiciel de SIG et logiciel de traitement d'image	Logiciel de SIG et logiciel de retouche d'image ou logiciel de traitement d'image	Logiciel de retouche d'image	Levé manuel

Le score de chaque entité cartographique est calculé en additionnant les notes des onze critères. La valeur de fiabilité est ensuite obtenue en exprimant le score en pourcentage par rapport à la note maximale pouvant être obtenue, **33** dans notre cas. Des seuils sont finalement choisis afin de diviser la fiabilité en cinq classes (cf. tableau ci-dessous).

⁶ Pergent-Martini C., Lehmann L., Monnier B., Barralon E., Pergent G., 2020. Inventaire, caractérisation et conservation des puits de carbone bleu du littoral oriental de la Corse – Rapport final CARBONSINK. Programme CARBONSINK, Université de Corse Pascal Paoli - Equipe Ecosystèmes Littoraux – Office Français de la Biodiversité & Office de l'Environnement de la Corse, Corte : 1-71.



Tableau 3 : Limites des classes de fiabilité (en pourcentage ; d'après Pergent et al., 2020).

Limites	$x > 80 \%$	$80 \geq x > 70$	$70 \geq x > 60$	$60 \geq x > 40$	$x \leq 40$
Qualification	Très bonne	Bonne	Acceptable	Médiocre	Mauvaise
Code couleur					

Ci-dessous, un descriptif détaillé de la méthode appliquée pour l'évaluation de certains critères :

Couverture des données brutes

Ce critère correspond au **pourcentage de couverture surfacique de la ou des donnée(s) brute(s)** utilisées pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses sur **l'ensemble des entités biocénotiques**. La valeur de couverture obtenue est attribuée à l'ensemble des entités pour chaque source de données brutes utilisée afin de simplifier la méthode. Par exemple, si deux sources de données sont utilisées pour actualiser la cartographie et qu'elles ont une emprise différente, les entités actualisées à partir de la donnée brute 1 auront la valeur de couverture X pour le champ « couverture des données brutes », et celles actualisées à partir de la donnée brute 2 auront la valeur de couverture Y pour le même champ. Si des entités biocénotiques ont été actualisées à partir des deux données brutes, la valeur de couverture de la donnée brute dominante est choisie pour les entités concernées.

Les données brutes utilisées pour l'axe 1 du projet SANDRO sont les mosaïques sonar acquises lors de trois campagnes distinctes effectuées en 2010, 2020 et 2022. Une quatrième campagne, effectuée dans le cadre du réseau SURFSTAT en 2014 à partir cette fois-ci d'un sondeur multifaisceaux, a permis de cartographier la biocénose du coralligène au large à l'Ouest du Cap Martin ainsi qu'au large des caps Lardier et Taillat. La bathymétrie fine a été acquise en 2014 sur la même emprise que la mosaïque sonar de 2010 et les données cartographiées sont identiques. Ainsi, nous gardons le sonar historique de 2010 comme étant la donnée brute utilisée pour la cartographie de ces récifs coralligènes. Une cinquième campagne a été effectuée en 2019 dans le cadre de la mission [5](#) durant laquelle de la bathymétrie fine (résolution de 1 mètre) a été acquise au large de la zone « Corniche varoise ». Cette donnée a permis de compléter la cartographie des récifs coralligènes et de la roche du large pour laquelle nous n'avions pas de mosaïques sonar ou une mosaïque avec artefacts.

Afin d'obtenir une note pour ce critère, un polygone d'emprise de la donnée brute est créé sous SIG et la surface totale de cette emprise est calculée automatiquement (outil SIG de calcul de surface). La surface totale des entités actualisées, donc la zone d'étude, est également calculée. Le pourcentage de la couverture de la donnée brute utilisée est donc obtenu en divisant la surface totale de celle-ci par la surface totale de la zone d'étude, multiplié par 100. La note du critère (0, 1, 2 ou 3) est ensuite choisie en fonction de la classe dans laquelle la valeur de couverture se situe (voir Tableau 2, page précédente).

Nature des peuplements

L'interprétation de **la signature d'une biocénose** dépend fortement du type de donnée brute employée et des biocénoses présentes à proximité. Exemple : en interprétant les bandes sonar, les zones de sable à ripplemarks sont beaucoup mieux différenciables qu'une zone de matte morte; ainsi la note maximale de 3 sera attribuée à l'habitat « Biocénose des sables et graviers sous influence des courants de fond » alors que la note de 1 sera attribuée à l'« Association de la matte morte de *Posidonia oceanica* » dont la signature acoustique est « proche » de celle des autres substrats meubles, ou de 2 (signature « différente ») dans certains cas (impact de bombe reconnaissable dans l'herbier de posidonie proche de la Plage du Rocher dans la Baie de Roquebrune par exemple).

Cependant, cette différenciation varie également en fonction des biocénoses présentes autour de l'entité en question. Alors que la biocénose du coralligène est indifférenciable de la biocénose des algues infralittorales sur une mosaïque sonar et sur un modèle numérique de terrain (MNT), elle l'est complètement d'une biocénose de type substrat meuble comme c'est le cas pour les entités présentes au large des deux baies entre 30 et 55 mètres de profondeur sur la zone « Cap Martin ». Ainsi, la note maximale de 3 sera attribuée à ces entités. Pour la biocénose du détritique côtier, bien que très différenciable des herbiers de posidonie, la note sera minorée de 1 car elle partage les limites d'autres habitats comme l'association de la matte morte de *Posidonia oceanica* dont la différenciation n'est pas forcément aisée. Cela est la même chose pour les biocénoses des sables fins bien calibrés et du détritique côtier dans la Baie de Menton ; ces biocénoses sont très différenciables des herbiers de posidonie et de cymodocée, mais elles ne le sont pas entre elles (limites invisibles), ainsi la note passe de 3 à 2.

Un autre cas particulier concerne le tombant du Cap Martin et les tombants au large des caps Lardier et Taillat. La topographie de ces secteurs étant constituée de très forts reliefs, les biocénoses présentes sont plus difficiles à différencier entre elles (notamment la biocénose des algues infralittorales, le coralligène, la roche du large et l'herbier de posidonie sur roche infralittorale).



Ainsi une note de 1 a été attribuée aux biocénoses présentes tout autour du tombant du Cap Martin entre la surface et -40 mètres, sauf pour la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* dont le substrat est la biocénose des sables fins bien calibrés (topographie plutôt plane, note de 2) et la biocénose des fonds détritiques envasés dont la signature acoustique est très différente (note de 3).

Concernant le secteur « Corniche Varoise », les récifs coralligènes au large ont obtenu la note de 2 (signature différente) car elles sont facilement différenciables des fonds meubles environnants. Cependant, la note de 1 (signature proche) a été attribuée aux polygones classés comme « Biocénose de la roche du large » car cette classe est indifférenciable du coralligène en ne se basant que sur un MNT et la limite bathymétrique entre les deux habitats peut se chevaucher en fonction des conditions hydrodynamiques.

L'évaluation de ce critère est donc assez complexe et subjective car, comme expliqué précédemment, l'interprétation de la nature d'un peuplement dépend de nombreux paramètres comme la topographie des fonds, la localisation sur les bandes sonar (extérieur ou centre de la bande) de la biocénose à évaluer/interpréter, ou encore la nature des biocénoses environnantes (distinction plus ou moins facile de la nature de l'entité concernée en fonction des biocénoses présentes autour de cette dernière, comme expliqué plus haut). Il est donc nécessaire de procéder à une notation des entités au cas par cas pour le critère « nature des peuplements » ce qui rend le travail fastidieux, mais plus précis.

Topographie (pente du fond)

Ce critère correspond à la pente du fond sur lequel se situe la biocénose cartographiée. Il n'y a pas de valeur chiffrée pour ce critère car il est aussi évalué visuellement à partir des isobathes. Une pente sera évaluée comme « faible et constante » lorsque les isobathes sont espacées de plusieurs dizaines voire centaines de mètres et qu'ils sont à peu près rectilignes. A l'inverse, une pente sera classée comme « forte et irrégulière » si les isobathes sont très rapprochées (quelques mètres voire moins) et qu'ils contiennent beaucoup de courbes (indication de la présence de forts reliefs rocheux ; par exemple au large du site Corniche Varoise au niveau de la rupture de pente du plateau continental). Une pente forte et irrégulière est un paramètre qui baisse la fiabilité des données car l'interprétation des données sonar est rendue difficile voire impossible dans certains cas (déformations et ombres portées causées par l'irrégularité du fond et/ou l'angle de frappe et de réflexion des ondes acoustiques).

Exploitation de la donnée brute

Ce critère correspond au **pourcentage de la couverture de la donnée brute exploitable** pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses.

Afin de calculer cette valeur, les surfaces des parties non exploitables de la ou des donnée(s) brute(s), c'est-à-dire qui ne peuvent être utilisées à cause de la présence d'artefacts (réflexion du soleil pour une photographie aérienne ou déformation d'une image sonar par exemple), sont calculées. La surface de donnée non exploitable est ensuite soustraite à celle de la couverture totale de la donnée brute concernée, ce qui permet d'obtenir la surface réellement utilisée de la donnée pour l'actualisation de la cartographie des biocénoses. Comme pour le critère « couverture des données brutes », le pourcentage de la couverture de la donnée brute exploitable est obtenu en divisant la surface réelle exploitable par la surface totale des entités actualisées, multiplié par 100.

La note du critère (0, 1, 2 ou 3) est ensuite choisie en fonction de la classe dans laquelle la valeur finale se situe (voir Tableau 2). Cette note est aussi ramenée à l'ensemble des entités couvertes par la donnée brute en question pour une question de simplification de la méthode. Si les entités biocénotiques ont pu être actualisées à partir de deux supports différents, la valeur (et donc la note) du support dominant est choisie.

Taille du pixel

Une note a été attribuée à chaque entité en fonction de la donnée brute (sonar ou MNT) qui a été utilisée comme support d'interprétation (résolutions différentes ; voir Tableau 2). Si les entités biocénotiques ont été actualisées à partir de deux supports différents, la valeur et donc la note du support avec la meilleure résolution est choisie.

Répartition des données terrain

L'estimation de la **répartition spatiale des données terrain** est faite visuellement sous SIG en évaluant si les observations prennent en compte tous les habitats et toutes les tranches bathymétriques. Ainsi, plus la répartition est homogène sur l'ensemble du site, plus la note attribuée est haute. Deux méthodes différentes ont été utilisées entre les deux sites.

Pour le site « Cap Martin », dont la source de donnée est unique, cette évaluation s'est faite en séparant les biocénoses présentes entre 0 et 30 mètres de profondeur, là où les observations en plongée sont les plus nombreuses, et les biocénoses



cartographiées entre 30 et 70 mètres (détritique côtier et coralligène majoritairement) et non uniquement pour les entités à proximité des observations terrain. La biocénose des fonds détritiques envasés, bien que présente dans les deux tranches bathymétriques, a été classée avec les biocénoses présentes entre 0 et 30 mètres du fait du nombre non négligeable de points d'observations présents sur cette biocénose et des petites surfaces cartographiées (en comparaison au détritique côtier). La valeur de répartition obtenue a donc été attribuée à toutes les entités biocénétiques d'une même tranche bathymétrique (il y a donc deux valeurs de répartition dans ce site).

Pour le site « Corniche varoise », l'évaluation s'est aussi faite visuellement mais en fonction de la source des données (cinq différentes pour ce site). Etant donné la grande variabilité spatiale des observations et de l'effort fourni sur le terrain pour chacune des cinq campagnes (sources), l'évaluation de ce critère n'a pu être réalisée en une fois. Elle s'est donc faite à l'échelle de l'emprise des entités correspondant à chacune des sources et non à l'ensemble du site d'étude. La note du critère a été attribuée à toutes les entités de la source correspondante. Cette étape est répétée pour chaque source de données.

La note du critère (0, 1, 2 ou 3) est ensuite choisie en fonction de la classe dans laquelle la valeur de répartition se situe (voir Tableau 2).

Densité

Ce critère correspond au **nombre d'observations directes effectuées en plongée** pour valider la nature des biocénoses interprétées au sonar latéral ou à partir d'un MNT **par km²**. Deux méthodes différentes ont été utilisées entre les deux sites.

De la même manière que le critère précédent, pour le site « Cap Martin », une note a été attribuée pour les biocénoses présentes entre 0 et 30 mètres (tranche bathymétrique préférentiellement choisie pour effectuer des observations en plongée) et celles présentes entre 30 et 70 mètres. Une moyenne du nombre de vérités-terrain par km² a ensuite été calculée et attribuée à l'ensemble des entités biocénétiques pour chaque tranche bathymétrique (il y a donc deux valeurs de densité pour ce secteur).

Pour le site « Corniche Varoise », une note a été attribuée en fonction de la source des données et de la localisation des vérités-terrain comme pour le critère précédent. Pour chaque source de données, les vérités-terrain sont sélectionnées automatiquement sous SIG à partir de l'emprise spatiale des entités correspondantes ; on obtient donc un nombre précis d'observations pour une surface donnée, ce qui nous permet de ramener ce nombre précis à un nombre moyen de vérités-terrain au km². Cette étape est répétée pour chaque source de données.

La note du critère (0, 1, 2 ou 3) est ensuite choisie en fonction de la classe dans laquelle la valeur de densité se situe (voir Tableau 2).

Niveau de détail

Pour cette étude, les classes ont été définies sur la base des **principales espèces ou formes de vie caractéristiques**, le niveau 3 de la typologie faisant apparaître les biocénoses et le niveau 4 les faciès et associations de ces biocénoses, ainsi que sur la base de **données physiques ou de zones biologiques générales**, qui concerne les différentes classes de fonds meubles et la classe « Habitats artificiels » dont la différenciation au sonar ne peut se faire qu'en fonction de la « rugosité » et du contraste des données sonar et non grâce à la reconnaissance de formes de vie caractéristiques comme c'est le cas pour les herbiers à *Posidonia oceanica* ou à *Cymodocea nodosa* et l'association à rhodolithes sur détritique côtier.

Pour certaines biocénoses et surtout pour des faciès (aspect présenté par une biocénose lié à l'exubérance d'une ou d'un très petit nombre d'espèces) / associations (aspect permanent d'une biocénose), il est impossible de les distinguer uniquement à partir de données sonar (cf. Tableau 1). Pour les identifier, il serait nécessaire d'effectuer une « analyse biologique détaillée », à savoir des observations directes sous l'eau (caméra, plongée sous-marine) et/ou des prélèvements avec identification d'un expert en laboratoire (expertise taxonomique, granulométrie, mesure de la concentration en matière organique, etc.).

Limite des habitats

La qualification des biocénoses et leur délimitation dépend de plusieurs paramètres : du support employé (type (mosaïque sonar, MNT, image aérienne, ...), et résolution), de la présence de vérités terrain, de la tranche bathymétrique, et de la nature des biocénoses environnantes. La qualification d'une biocénose dépend principalement du support employé et de la signature acoustique de cette biocénose ; la délimitation d'une biocénose dépend elle aussi du support d'interprétation mais également de sa résolution.

La qualification de la biocénose et ses limites sont qualifiées comme « certaines » lorsqu'une biocénose est facilement identifiable sur un support présentant une bonne résolution, par exemple l'identification d'un herbier de posidonie dense ou



d'une tache de sable grossier sous influence des courants de fond à partir d'une mosaïque sonar HD. Cela est aussi le cas pour les entités biocénotiques qui ont été validées par une vérité-terrain.

La classe « qualification certaine mais avec des limites incertaines » correspond aux biocénoses dont la signature est claire mais dont les limites restent floues à certains endroits. Par exemple une limite inférieure d'herbier de posidonie clairsemée sur sable ou matre morte présente une signature acoustique caractéristique au sonar mais sa limite géographique reste incertaine ; autre exemple une limite d'herbier de posidonie identifiée sur une photographie aérienne dans les petits fonds (entre la surface et une dizaine de mètres de profondeur) présente une signature caractéristique mais sa délimitation reste floue quand la photographie aérienne servant de support est de moyenne résolution et/ou que la transparence de l'eau n'est pas suffisante pour délimiter proprement deux habitats. La multiplication des observations *in situ* peuvent rendre les limites certaines (ex : pour définir la limite inférieure d'un plateau de matre morte et donc le passage à une zone de détritique côtier).

Une « qualification douteuse » est attribuée aux biocénoses dont la signature acoustique est proche de celle d'une autre biocénose et pour lesquelles aucune vérité terrain ne permet de les distinguer de manière fiable, par exemple les biocénoses « Roches infralittorales » et « Coralligène » cartographiées uniquement à partir des données sonar ou les biocénoses « Coralligène » et « Roche du large » dans la tranche bathymétrique de chevauchement entre les deux biocénoses. Seules des vérités-terrain peuvent alors rendre la qualification de ces entités biocénotiques certaine.

II.D.2. Table attributaire

Le tableau ci-dessous décrit les champs créés dans la couche finale des biocénoses pour l'évaluation de la fiabilité de la cartographie :

Tableau 4 : Noms et descriptions des champs intégrés dans la couche SIG des biocénoses marines pour l'évaluation de la fiabilité de la cartographie (données brutes (bleu) ; des données terrain (orange) et pour l'interprétation (vert) ; d'après Pergent et al., 2020). Les deux dernières lignes (en rose) correspondent aux champs contenant le score et la fiabilité.

CRITERES	NOMS DES CHAMPS	DESCRIPTION
Couverture des données brutes	cov_sonar / cov_s_pt cov_bathy / cov_b_pt cov_pt	% de couverture des données sonar / note attribuée % de couverture du MNT/ note attribuée Note finale attribuée (celle de la donnée principale)
Géoréférencement	georef / georef_pt	Méthode de géoréférencement / note attribuée
Nature des peuplements	peupl_s / peupl_s_pt	Type de signature des habitats pour le sonar/ note attribuée
Topographie	topo / topo_pt	Type de pente / note attribuée
Exploitation de la donnée brute	exploit / exploit_pt	% d'exploitation des données sonar / note attribuée
Taille du pixel	pixel / pixel_pt	Résolution des données sonar / note attribuée
Répartition des données terrain	cov_vt / cov_vt_pt	% de couverture de la cartographie des données terrain / note attribuée
Densité	dens_vt / dens_vt_pt	Nb d'obs. par km ² / note attribuée
Niveau de détail	detail / detail_pt	Méthode de définition des classes d'habitat / note attribuée
Limite des habitats	limite / lim_pt	Niveau de certitude de la qualification et des limites des habitats / note attribuée
Méthode utilisée	methode / methode_pt	Méthode de traitement et d'interprétation / note attribuée
Score	score	Score obtenu après addition des onze notes
Fiabilité	fiabilite	Valeur finale de la fiabilité (%)



III. Résultats

III.A. Cap Martin

III.A.1. Cartographie des biocénoses marines

La cartographie de **huit biocénoses de niveau 3** de la typologie nationale et de **deux associations de niveau 4** de cette typologie (Figure 17) a été effectuée à partir de l'analyse des **1100 ha de données sonar** et des **600 vérités terrain**.

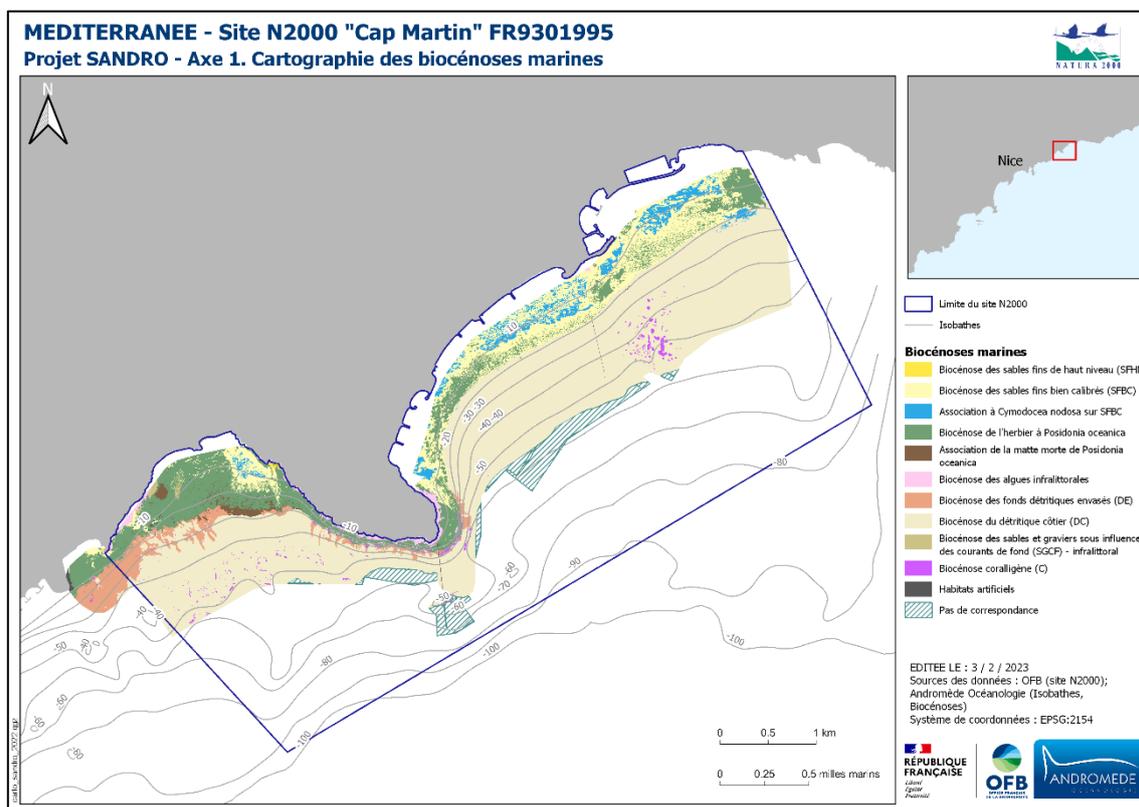


Figure 17 : Cartographie des biocénoses marines selon la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée - site Cap Martin.

Cette actualisation a permis de détailler la cartographie existante en incluant une nouvelle biocénose, très visible au sonar : la **biocénose des sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (SGCF)**. Elle a également permis d'**affiner la limite inférieure d'herbier de posidonie**, notamment dans la Baie de Roquebrune où sont maintenant visibles de **nombreuses traces de mouillage dans l'herbier** (Figure 19). La cartographie des **herbiers à Cymodocées** de part et d'autre du cap Martin a également pu être mise à jour et affinée grâce à la très bonne qualité des bandes sonar (Figure 18, page suivante). Le gestionnaire du site N2000, disposant de données cartographiques récentes (2018-2020) de la cymodocée sur un petit secteur localisé à Menton, a montré que cette espèce présentait des variations importantes selon la période des investigations. Rappelons que la Cymodocée (*Cymodocea nodosa*) est la seconde espèce, après *Posidonia oceanica*, en termes de surfaces occupées en Méditerranée. Cette espèce semble plutôt influencée par des fluctuations naturelles à long terme comme les variations de salinité, l'action des herbivores ou les changements climatiques. A affinité chaude, la cymodocée semble plutôt favorisée par le réchauffement global du milieu. Dans plusieurs secteurs de Méditerranée, il a été montré que *Cymodocea nodosa* a profité de la régression de *Posidonia oceanica* pour se développer (Montefalcone et al., 2007) et qu'après une régression importante, *Cymodocea nodosa* présente la capacité de reconstituer rapidement ses populations du fait notamment de l'importante réserve de graines disponibles dans le sédiment.

La nature des **fonds meubles de l'étage circalittoral** a également été revue ; les nouvelles bandes sonar acquises lors du programme SURFSTAT présentaient un contraste beaucoup moins marqué entre la biocénose du détritique côtier et la biocénose des fonds détritiques envasés que les bandes sonar de 2010. Même si des zones de détritique envasé sont présentes tout le long de la limite inférieure d'herbier de la Baie de Roquebrune au Cap Martin, zones validées par de nouvelles observations en plongée, la biocénose des fonds détritiques envasés a été majoritairement remplacée par celle du détritique côtier. D'un commun accord avec l'OFB et le gestionnaire du site N2000 « Cap Martin », la nature des fonds



meubles envasés au large datant de CARTHAM et non actualisés en 2020 a également été remplacée par la classe du détritique côtier. Ce choix a été fait en partie pour une raison d'esthétisme du rendu cartographique, mais aussi pour une question d'incertitude sur ces entités. Les données sonar de 2020 étant de meilleure qualité et plus récentes, une extrapolation de l'actualisation des fonds meubles du large a donc été faite. De plus, une observation en plongée avec photographie à l'appui a été réalisée en juin 2022 au sud-ouest du Cap Martin dans le cadre du réseau de surveillance RECOR (site Cap Martin Ouest b) et valide la présence de détritique côtier dans le secteur présentant des activités de frayères, sous forme de criques, des picarels. Seuls des prélèvements et une analyse de la granulométrie de ces fonds sableux permettraient de faire la distinction entre ces deux habitats. La zone constituée de **roches coralligènes dans la Baie de Menton** à l'est de l'émissaire a été aussi modifiée se traduisant par une plus grande surface de coralligène cartographiée.

Des exports de la cartographie des biocénoses avant et après actualisation sont visibles dans la Figure 20 afin d'illustrer son évolution.

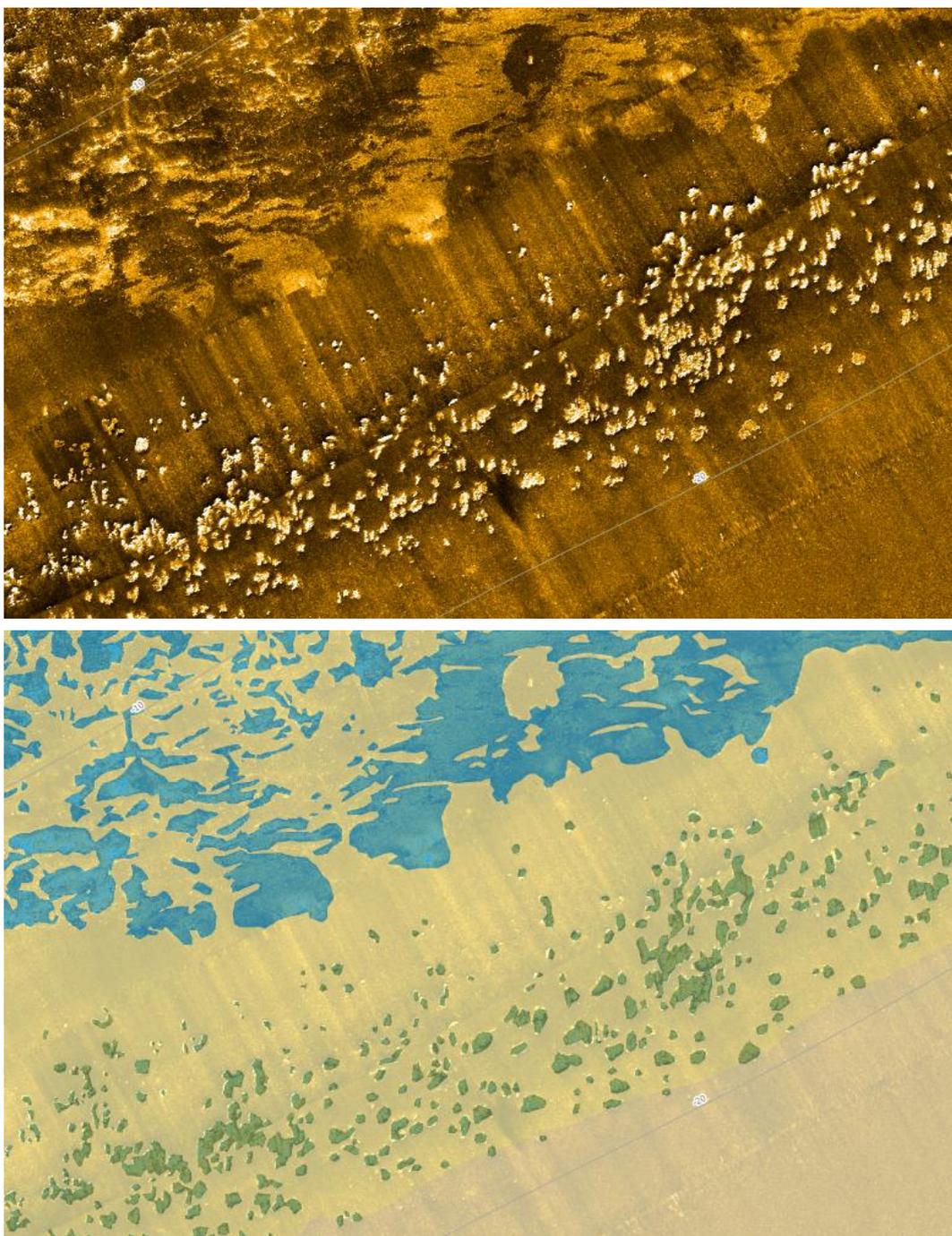


Figure 18 : Mosaïque sonar de 2020 et cartographie des biocénoses associées montrant la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* et l'association à *Cymodocea nodosa* sur SFBC.



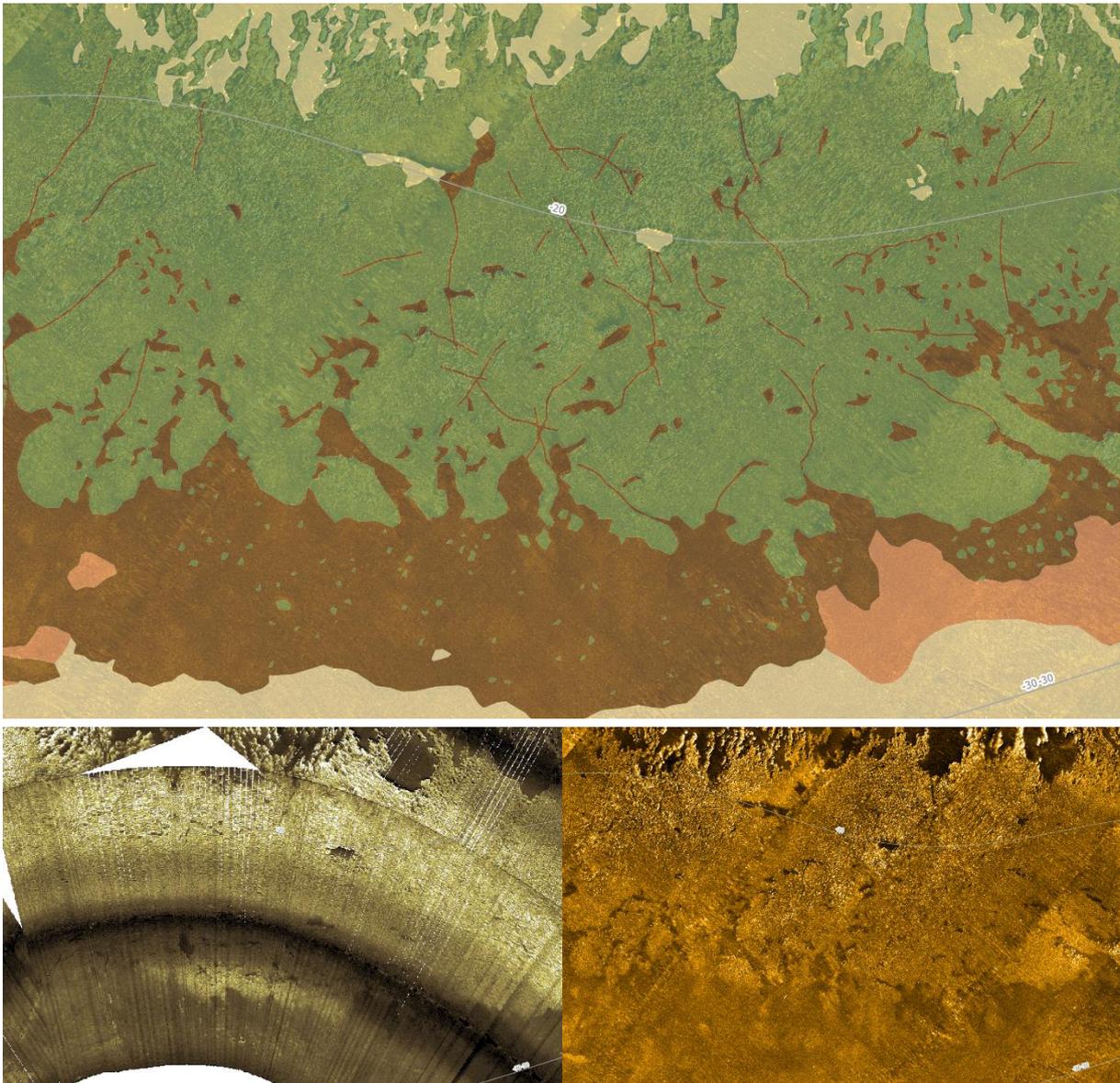


Figure 19 : Cartographie des biocénoses dans la baie de Roquebrune montrant la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* très impactée par l'ancrage (herbier lacéré par des traces de mouillages et des trous). Cette dégradation s'est déroulée en une dizaine d'années puisqu'en 2010 l'herbier était quasi continu (mosaïque en bas à gauche) et qu'en 2020 (mosaïque en bas à droite) ces traces étaient visibles.



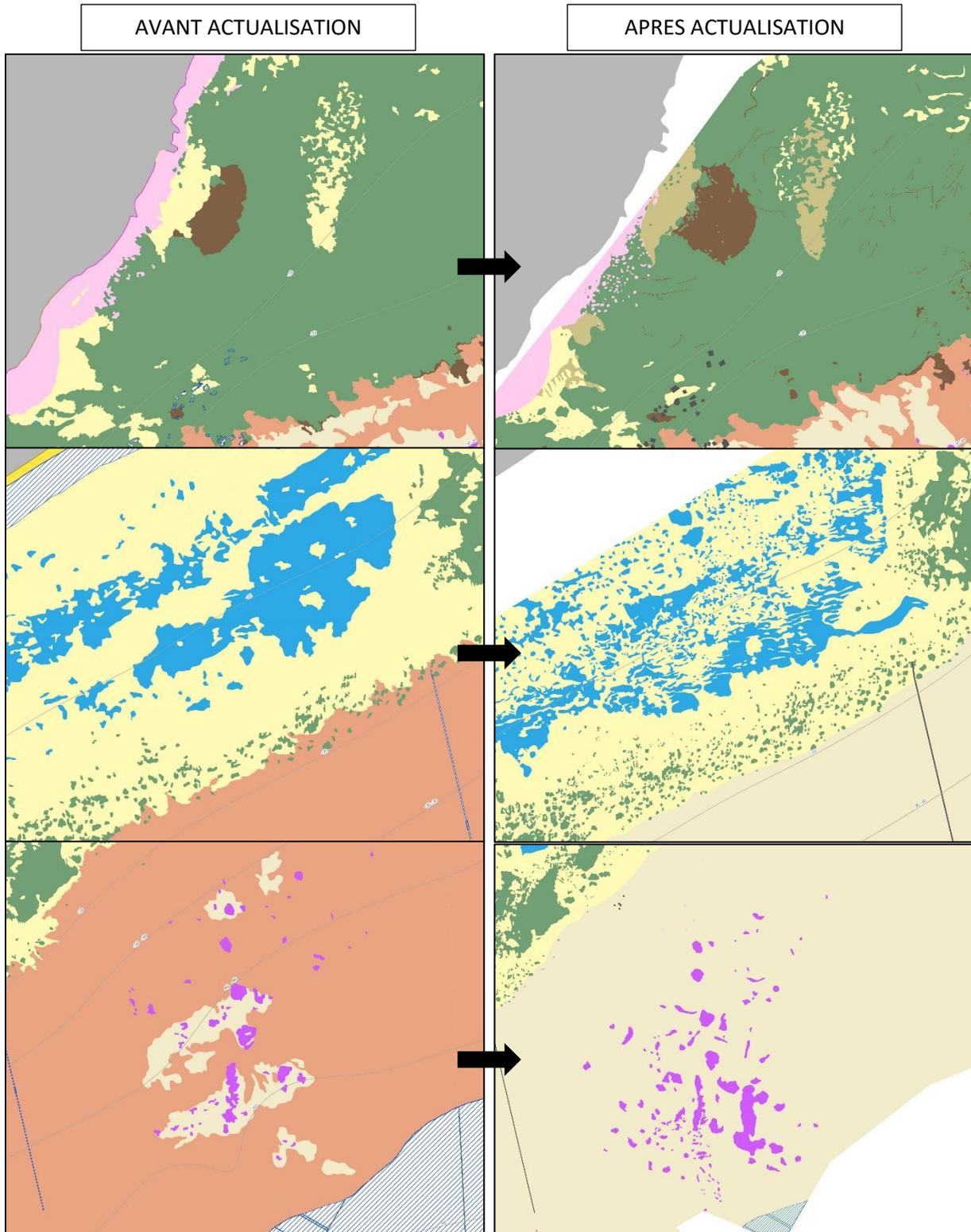


Figure 20 : Exports de la cartographie des biocénoses du site Cap Martin avant (colonne de gauche) et après (colonne de droite) actualisation. Symbologie des biocénoses : herbier de posidonie en vert ; matte morte de posidonie en marron ; herbier de cymodocées en bleu, coralligène en violet ; biocénose des sables et graviers des courants de fond en beige foncé (image du coin droit en haut) ; détritique côtier en beige clair ; détritique envasé en orange ; roches infralittorales en rose ; habitats artificiels en gris foncé.



Sur le site de Cap Martin, l'amélioration de la cartographie des biocénoses marines pourrait être effectuée en complétant la zone par des **acquisitions au sonar jusqu'à -70 mètres** (400 ha de zones sans couverture sonar) afin de cartographier des biocénoses de niveau 3 : Biocénose des fonds détritiques envasés (DE), Biocénose du détritique côtier (DC), Biocénose coralligène (C), Biocénose de la roche du large (RL) en particulier.

Par ailleurs, des **vérités-terrain complémentaires** (bennes sédimentaires, vidéos tractées, vérités-terrain ponctuelles) permettraient **d'affiner la cartographie du niveau 4 de certaines biocénoses** (biocénose coralligène, biocénose des algues infralittorales, biocénoses des sables et graviers sous influence des courants de fond), **de cartographier les zones de substrat vaseux** (maintenant catégorisées comme « Biocénose du détritique côtier ») présentes au large, et de **confirmer celle du détritique côtier (DC) et des fonds détritiques envasés (DE) (ainsi que de leurs associations/faciès)** pour lesquelles une confusion est possible si seules des données sonar sont utilisées. Rappelons en effet qu'en l'absence d'observations visuelles, seule une analyse granulométrique mettant en évidence la dominance de la vase par rapport aux graviers et sables permet d'affirmer avec certitude la présence de fonds envasés par rapport aux fonds de détritique côtier.

Cependant, dans la mesure où **aucune zone d'incertitude cartographique** n'a été mise en évidence lors de la réalisation de la cartographie des biocénoses (la mosaïque sonar acquise en 2020 dans le cadre de SURFSTAT était d'excellente résolution en raison de conditions météorologiques optimales et de l'absence de perturbations), que **la fiabilité de la cartographie est très bonne** (cf. paragraphe suivant) et qu'**aucun faciès / association particulier** n'a été relevé lors des vérités terrain, il a été décidé de ne pas mener d'acquisitions supplémentaires sur ce site en 2022 dans le cadre de SANDRO.

III.A.2. Fiabilité cartographique

Les résultats de l'évaluation de la fiabilité de la cartographie des biocénoses marines (Figure 21) montrent des **valeurs moyennes à très élevées de fiabilité (entre 54,5 % et 90,9 %) sur l'ensemble du site**, avec **une moyenne de 84,9 % ± 7,1%**, ce qui signifie une **très bonne fiabilité** de la cartographie d'après le Tableau 3. Les valeurs de surface obtenues pour chaque classe de fiabilité sont visibles dans le Tableau 5 page suivante.

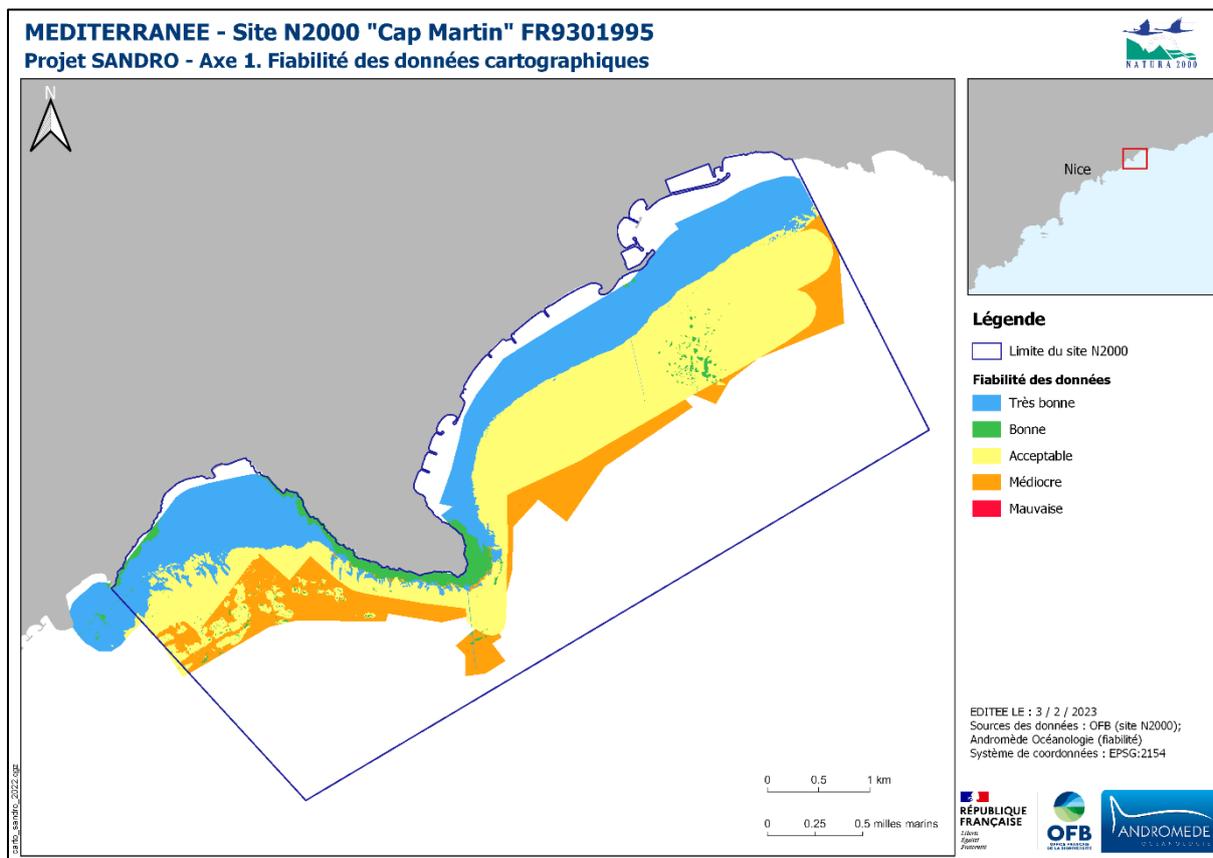


Figure 21 : Carte de fiabilité de la cartographie des biocénoses marines – site Cap Martin.

Ci-dessous, les surfaces en hectares correspondant à chaque classe de fiabilité obtenue pour cette cartographie et leur proportion (%) à l'échelle du site :

Tableau 5 : Surfaces (hectares) correspondant à chaque classe de fiabilité pour la cartographie des biocénoses marines du site N2000 « Cap Martin » et leur proportion respective (%) à l'échelle du site.

Fiabilité	Très bonne	Bonne	Acceptable	Médiocre	Mauvaise
Surface (ha) du site concerné	364,1	41	474,7	180,3	0
Pourcentage par rapport à la surface totale cartographiée (%)	34,3	3,9	44,8	17	0

La fiabilité globale de la cartographie des biocénoses marines pour le site N2000 « Cap Martin » est **très bonne** avec une **moyenne de 84,9 % ± 7,1 %**. Les classes de fiabilité obtenues sont « **Médiocre** », « **Acceptable** », « **Bonne** » et « **Très bonne** ». Certaines entités ont des valeurs de fiabilité bien en-dessous de la moyenne (valeur minimale de 54,5 %, classe de fiabilité « médiocre ») mais ne représentent qu'un pourcentage assez faible du site (voir Tableau 5). Ces écarts de fiabilité sont aussi présents entre les biocénoses qu'au sein d'une même classe biocénotique ; plusieurs explications sont données ci-dessous pour chacune des quatre classes de fiabilité obtenues.

Fiabilité « médiocre » : cas des entités « Biocénose coralligène » au pied du tombant du Cap Martin et des entités « Biocénose du détritique côtier » au large du site (anciennement classées en tant que « fonds détritiques envasés » ; source CARTHAM).

- Topographie très irrégulière avec une pente forte (note minimale de 0).
- Nature des peuplements « proche » (note basse de 1) : les signatures acoustiques sont difficilement différenciables à cause de la topographie et de la présence d'herbier sur roche infralittorale ; les signatures sont très proches entre les herbiers de posidonie et la roche infralittorale ainsi qu'entre les roches infralittorales et le coralligène mais restent différenciables de celle des substrats meubles au pied du tombant, d'où une note différente de 0. Concernant les fonds meubles au large, ces entités ont été cartographiées suite à l'interprétation de mosaïques sonar, d'une extrapolation à partir de données bathymétriques et extraites d'une ancienne cartographie effectuée en 2000 (Belsher et Houlgatte) ; la différenciation de ces fonds meubles reste cependant très difficile par rapport aux autres entités de type fonds meubles qui ont pu être vérifiées en plongée sous-marine, ainsi la note de 0 a été attribuée (Très proche).
- Entités situées dans la tranche bathymétrique des 30- 70 mètres avec très peu de vérités-terrain (note de 1) et une répartition faible.
- La qualification de la nature de ces substrats rocheux en « coralligène » reste « douteuse » (note de 1) car il est impossible de savoir si ces entités appartiennent à la classe des roches infralittorales ou du coralligène ou si elles sont constituées d'une mosaïque spatiale entre ces deux classes biocénotiques. La classe « coralligène » a tout de même été choisie car des observations en plongée effectuées à proximité valident la présence de coralligène le long du tombant, et la faible luminosité ambiante, probablement favorisée par la forte pente du tombant, combinée aux profondeurs qui se situent entre 25 et 40 mètres sont des paramètres abiotiques qui favorisent la présence de récifs coralligènes. Concernant les entités « détritique côtier » au large, la qualification reste « douteuse » ; comme expliqué précédemment, la quasi-absence de vérités-terrain et la différence de contraste observée au niveau des données sonar de 2010 et de 2020 nous laisse dans l'incertitude quant à la nature réelle de ces fonds meubles ; au vu de l'ancienneté et de la qualité des données sonar historiques, une extrapolation de la classification de ces entités en « Biocénose du détritique côtier » a été préférentiellement choisie. La note de 1 a donc été attribuée pour ce critère.
- La méthode de classification pour les entités « détritique côtier » est basée sur les données physiques ou de zones biologiques générales (note de 1).



- Les autres critères propres aux données brutes, au système de géoréférencement et à la méthode de cartographie permettent d'obtenir des notes élevées (entre 2 et 3) ce qui compense les notes basses obtenues pour les raisons précédentes et permet d'obtenir une valeur de fiabilité au-dessus de 50 %.

↳ **Fiabilité « acceptable »** : concerne principalement les entités classées en « Biocénose du détritique côtier » actualisées en 2010 et 2020 et certaines entités de la classe « Biocénose coralligène » autour du tombant du Cap Martin :

1. « Biocénose du détritique côtier » actualisée en 2010 (source CARTHAM)

- Très peu de vérités-terrain sont disponibles car cette biocénose est répartie sur une très grande surface et des profondeurs plus importantes (30 à 70 mètres), facteurs assez limitants pour la plongée à l'air. Ces zones étant souvent très homogènes, avec une topographie constante et une pente faible, donc facilement interprétables au sonar latéral, le besoin d'y effectuer des transects en plongée-tractée se fait moins ressentir et la typologie Natura 2000 utilisée en 2010 'cahier habitats' ne compte pas les fonds détritiques et détritiques envasés comme habitats éléments donc un effort moindre a été fourni pour leur cartographie.
- La couverture des données sonar est moins élevée (96,6 %) que pour les entités dans l'emprise du sonar de 2020 (100 % de couverture).
- Quelques artefacts sur les données sonar de 2010 sont présents ce qui baisse le pourcentage de surface exploitable de ces données et par conséquent la note attribuée à ce critère (2 au lieu de 3).
- La méthode de classification est basée sur les données physiques ou de zones biologiques générales (note de 1).
- Bonnes notes (2 à 3) pour le reste des critères.

2. « Biocénose du détritique côtier » actualisée en 2020

- Mêmes raisons que pour les entités « Biocénose du détritique côtier » datant de 2010 avec cependant une couverture des données brutes plus importante et une meilleure résolution ce qui donne une note de fiabilité un peu plus élevée que les autres entités (fiabilité de 69,7 %, très proche du seuil fixé à 70 % de la classe « Bonne fiabilité »).

3. « Biocénose coralligène » autour du tombant du Cap Martin :

- La vérification de ces entités en plongée sous-marine permet d'augmenter le degré de certitude de qualification de la classe biocénotique ce qui permet donc de passer d'une « qualification douteuse » à une « qualification certaine mais limites incertaines » ; cela augmente donc légèrement le score final et par conséquent la valeur de fiabilité de ces entités.

↳ **« Bonne » fiabilité** : concerne principalement une partie des entités actualisées avec le sonar de 2020 (SURFSTAT) :

- « Biocénose du détritique côtier » : meilleure couverture et résolution des données sonar (notes maximales de 3) que pour les entités actualisées avec le sonar de 2010 (CARTHAM) ; peu de vérités-terrain (densité et répartition) car les entités sont situées dans la tranche bathymétrique des 30-70 mètres ; bonnes notes attribuées pour le reste des critères (2 à 3).
- « Biocénose coralligène » : les entités appartenant à cette classe biocénotique situées au large des deux baies et au sud du Cap Martin ont un score final plus élevé que les autres entités de la même classe principalement pour les deux raisons suivantes : une topographie faible et constante (la note passe de 0 à 3) et une différenciation de la signature acoustique plus aisée du fait de la présence de fonds meubles aux alentours (signatures très différentes donc on obtient une note de 3 au lieu de 1).
- « Biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* » sur « Biocénose des algues infralittorales » : malgré une différenciation des signatures acoustiques des herbiers de posidonie et de la biocénose des algues infralittorales (note de 1) rendue difficile par la topographie très irrégulière et une pente forte, notamment autour du Cap Martin, le score final de ces entités reste assez élevé pour les raisons suivantes : une très grande densité et une très bonne



répartition des vérités-terrain dans la tranche bathymétrique des 0-30 mètres ce qui rend donc la qualification des biocénoses « certaine » car de nombreuses observations faites sur la zone ont relevé la présence d'un herbier sur roche plus ou moins dense, et enfin le secteur est complètement recouvert par la mosaïque sonar de 2020. Seules les limites restent incertaines du fait du caractère hétérogène de la répartition spatiale entre les roches infralittorales et la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* (mosaïque spatiale) et la difficulté à interpréter ces limites à partir des données sonar.

☞ **« Très bonne » fiabilité** : concerne les entités actualisées avec le sonar de 2020 (SURFSTAT) :

- De nombreux critères comme ceux concernant les données brutes (couverture, résolution), les vérités-terrain (densité et répartition), la topographie du secteur et la méthode de géoréférencement se voient attribuer la note maximale de 3 pour l'ensemble des entités de cette classe de fiabilité, sauf la « Biocénose des fonds détritiques envasés » qui se situe entre les deux tranches bathymétriques là où la densité et la répartition en vérités-terrain est moins élevée (note de 2 au lieu de 3).
- Il faut tout de même noter que, pour les entités classées comme « Association de la matre morte de *Posidonia oceanica* », bien que situées dans la classe « très bonne » fiabilité pour les raisons précédemment décrites, la signature acoustique de cette biocénose au sonar latéral est « proche » de celle de la « Biocénose du détritique côtier » et de la « Biocénose des sables fins bien calibrés » ce qui baisse donc la note du critère « nature des peuplements » (passe de 3 à 1). Une exception est cependant faite pour l'entité circulaire proche de la côte en face de la « Plage du Rocher » dans la Baie de Roquebrune ; cette zone de matre morte a probablement été créée par l'impact d'une bombe dans l'herbier durant la Seconde Guerre Mondiale (nombreux cas déjà rencontrés le long du littoral varois et visibles sur la plateforme MEDTRIX dans le projet DONIA EXPERT : <https://plateforme.medtrix.fr/> ; pers. com. A. Blandin) ce qui rend la classification de cette biocénose plus aisée et donc augmente d'un point la note des critères « Nature des peuplements » et « Limite des habitats ».
- Certaines entités de la « Biocénose des sables fins bien calibrés » présentes en limite inférieure d'herbier ont une note de 1 par rapport aux autres entités de la même classe biocénotique pour le critère « Nature des peuplements » car il est difficile de différencier avec certitude la nature réelle de ces biocénoses de type « substrats meubles ». A *contrario*, quelques grandes étendues de « sables fins bien calibrés » en limite supérieure d'herbier dans la Baie de Roquebrune ont une signature acoustique très différente des biocénoses environnantes (herbiers de posidonie et de cymodocées, roches infralittorales), c'est pourquoi la note maximale de 3 leur est attribuée pour le critère « Nature des peuplements ». La limitation de cette biocénose reste cependant incertaine à cause de la présence d'artefacts dans les données sonar de 2020 (virages dans la trajectoire du navire ce qui crée localement des déformations et/ou décalage dans les bandes sonar). Toutes les autres entités de cette classe ont reçu la note de 2 (« Différente ») car leur signature acoustique peut être tout de même confondue avec celle de « l'association de la matre morte de *Posidonia oceanica* » ou celle du « détritique côtier » comme c'est le cas dans la Baie de Menton.

Le résultat de l'analyse de la fiabilité de la cartographie des biocénoses pour le site N2000 « Cap Martin » correspond bien aux attentes et au travail d'interprétation fourni puisque les supports utilisés pour cette actualisation (notamment les données sonar de 2020 et les vérités-terrain de 2021) sont de très bonne qualité (pour les données sonar, nous avons très peu d'artefacts grâce à des conditions météorologiques parfaites et à une résolution des bandes sonar très élevée de 20 cm par pixel). De plus, ces supports sont assez bien répartis sur la zone d'intérêt principal qui correspond à la tranche bathymétrique de la répartition naturelle de l'herbier de posidonie et des herbiers à Cymodocées (0-40 mètres de profondeur). De même, la fiabilité plus faible attribuée aux biocénoses plus au large et autour du tombant du Cap Martin est logique et explicable par les forts reliefs (bandes sonar moins facilement interprétables), la moins bonne qualité et l'ancienneté des données sonar (2010) ainsi qu'une quasi-absence d'observations directes en plongée (problème logistique lié aux profondeurs plus élevées et aux forts reliefs rendant la plongée tractée plus compliquée et moins adaptée).

En ce qui concerne les entités de la biocénose du détritique côtier dans les deux baies au-delà des 30 mètres de profondeur et ayant obtenu la note « bonne » fiabilité, des réserves peuvent être émises. L'absence d'un nombre conséquent d'observations directes en plongée dans cette tranche bathymétrique devrait suffire à baisser la classe de fiabilité pour ces entités. Même s'il est facile de différencier la biocénose du détritique côtier de celle du coralligène, la nature exacte des peuplements des fonds sableux au large est plus difficile à interpréter au sonar latéral (homogénéité de l'habitat et contraste des bandes sonar) et nécessite tout de même des analyses plus poussées comme une analyse de la granulométrie afin de connaître la proportion réelle de vase contenue dans ces substrats meubles. En fonction de ces données supplémentaires, la nature de la biocénose interprétée au sonar latéral pourrait changer.



III.A. Corniche varoise

III.A.1. Cartographie des biocénoses marines

L'analyse des 3 000 ha de données sonar et de 730 vérités terrain sur la zone d'étude de Corniche varoise a permis de cartographier **dix biocénoses de niveau 3 de la typologie nationale et deux associations de niveau 4** de cette typologie (carte suivante).

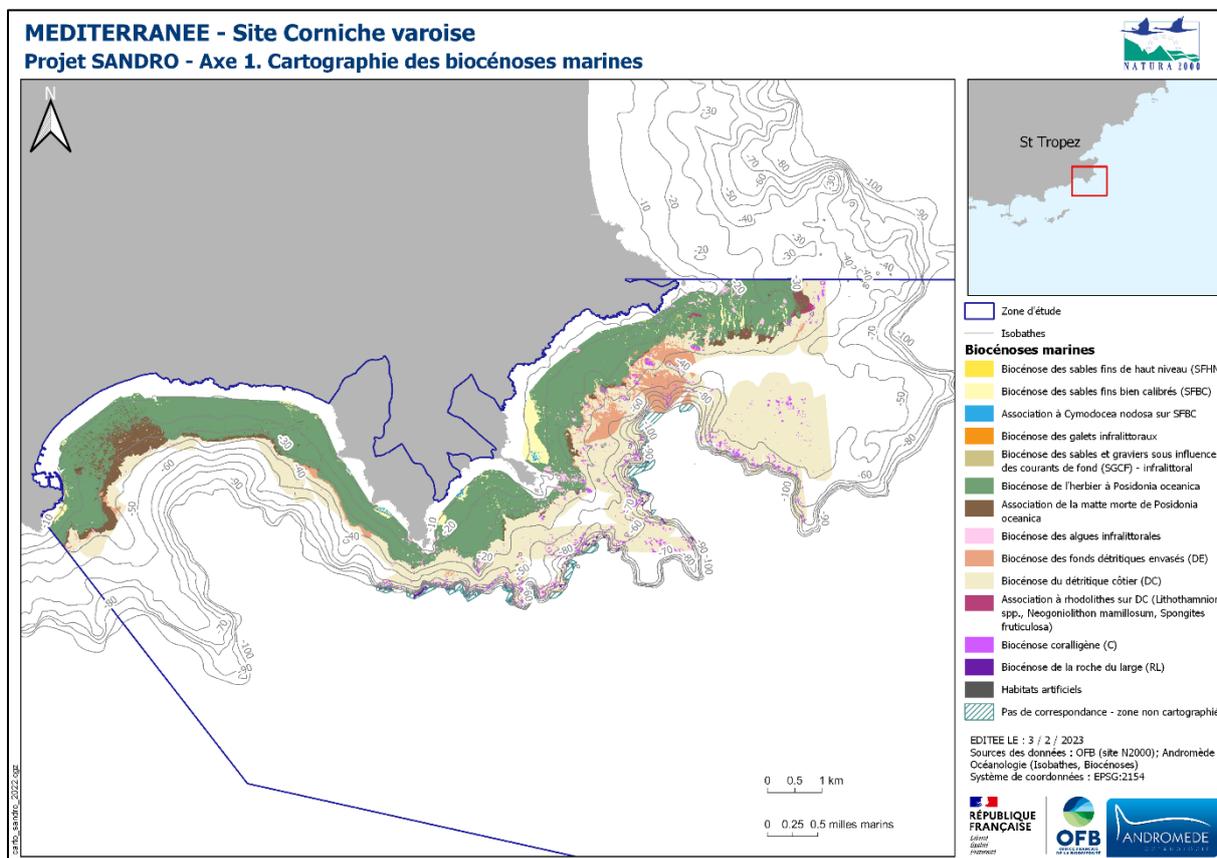


Figure 22 : Cartographie des biocénoses marines selon la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée - site Corniche varoise.

Cette actualisation a permis de détailler la cartographie existante en incluant une nouvelle biocénose, très visible au sonar : la **biocénose des sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (SGCF)**. Elle a également permis d'affiner la limite inférieure d'herbier de posidonie tout le long du littoral inclus dans ce secteur. **Une nouvelle zone d'herbier de posidonie impacté par la pression d'ancrage** de la plaisance a été découverte et se situe à l'est de la Baie de Cavalaire (en face de la Plage de Gigaro ; voir Figure 23). Les traces de labourage des chaînes sur le fond (tache de matre morte de forme triangulaire) Des **signes de reprise de l'herbier** dans certaines taches triangulaires prouvent que ces dégradations datent de **plusieurs années voire décennies**. La limite inférieure d'herbier de ce secteur est fortement **régressive** avec un recouvrement d'herbier assez faible (de 0 à 30 %). Globalement, **la limite inférieure d'herbier de posidonie de la Baie de Cavalaire est régressive du Cap Cavalaire à l'ouest jusqu'à la Pointe du Brouis à l'est**.

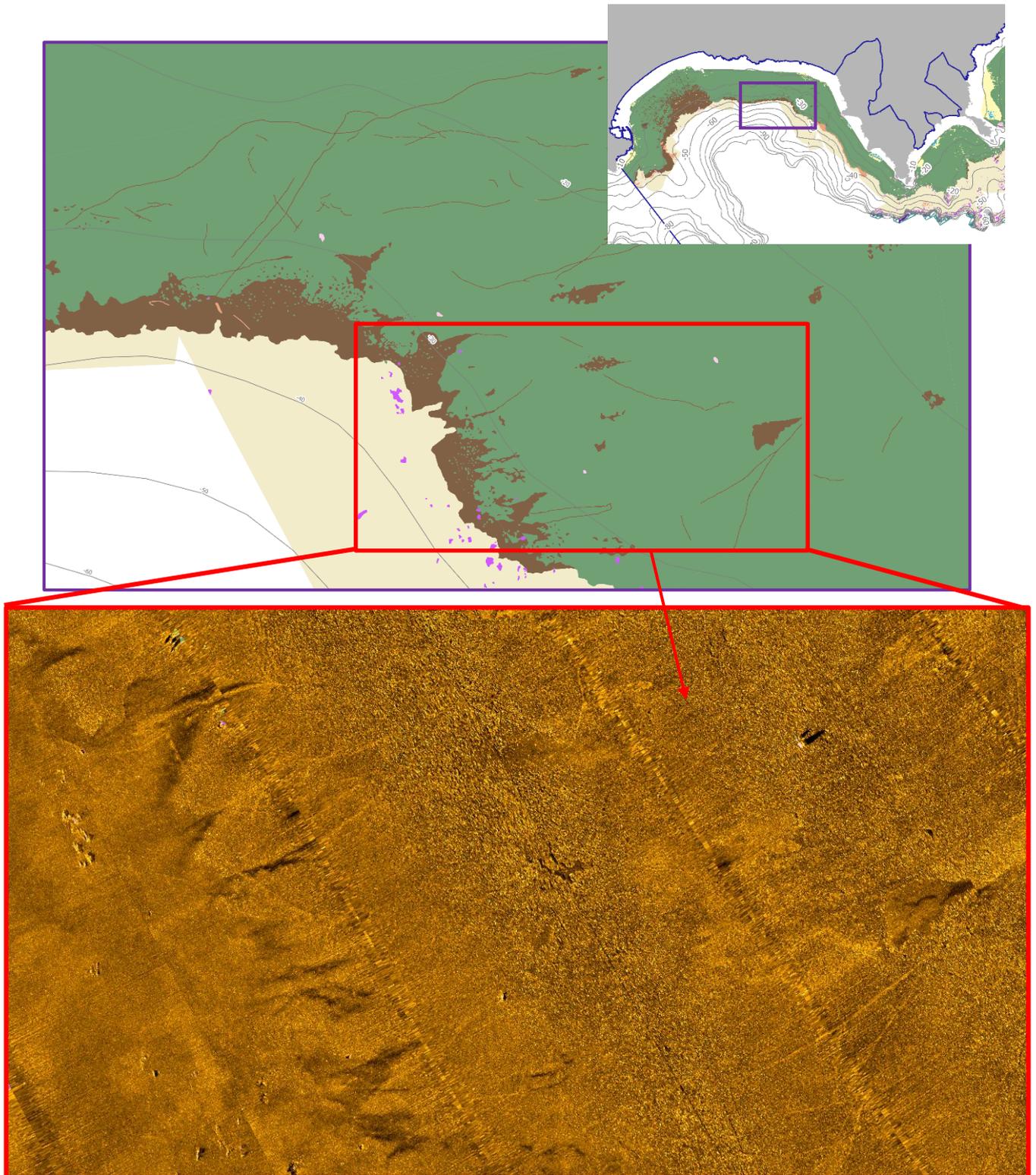


Figure 23 : Cartographie de la zone d'herbier de posidonie abîmée par l'ancrage des bateaux en face de la Plage de Gigaro à l'est de la Baie de Cavalaire (en haut) et extrait des mosaïques sonar correspondantes (en bas) – données SURFSTAT 2020 et SANDRO 2022. En vert : herbier à *Posidonia oceanica* ; en marron : matte morte ; en beige : détritique côtier ; en rose : roche infralittorale ; en violet : coralligène.



Dans le secteur du Cap Lardier - Cap Taillat, la limite inférieure d'herbier de posidonie a pu être actualisée et affinée. Aucune dégradation n'a été remarquée dans l'herbier. L'actualisation cartographique majeure concerne les substrats durs au large entre 60 et 100 mètres de profondeur, à savoir les récifs coralligènes et la roche du large. La très haute qualité du MNT (source : Andromède Océanologie / Agence de l'eau, 2019 - Expédition GOMBESSA 5) a permis de cartographier précisément les limites des reliefs rocheux dans ce secteur et plus à l'est (Figure 24). L'incertitude réside seulement dans la limite bathymétrique entre le coralligène et la roche du large puisque nous ne disposons pas de vérités-terrain (seulement deux plongées ponctuelles réalisées en 2019 dans le cadre de l'expédition [GOMBESSA 5](#)) pour confirmer la nature réelle des roches cartographiées.

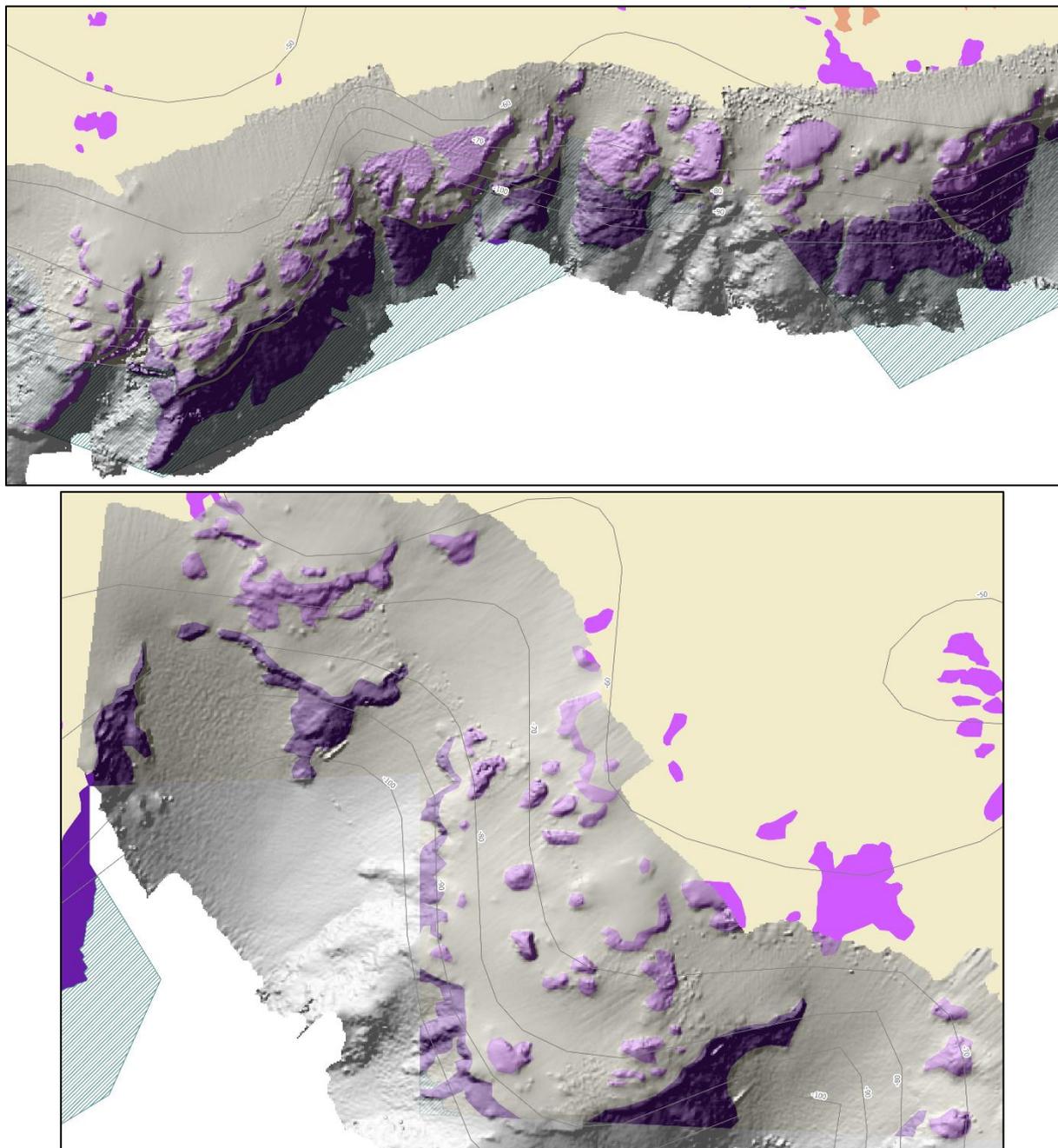


Figure 24 : Cartographie des biocénoses du coralligène et de la roche du large au large des caps Lardier et Taillat avec le Modèle Numérique de Terrain en transparence (source : Andromède Océanologie / Agence de l'eau, 2019 - Expédition GOMBESSA 5). En violet clair : coralligène ; en violet foncé : roche du large ; en beige : détritiques côtiers.



Concernant le secteur du moyen sec au large du Cap Lardier, des prospections en plongée tractée (une quarantaine de points de vérités terrain) ont été faites afin d'illustrer la zone (figures suivantes) et d'obtenir des informations sur le recouvrement d'herbier sur roche, la limite bathymétrique entre les biocénoses des algues infralittorales et le coralligène, ainsi qu'une différenciation des faciès et associations.

Le début du transect de plongée a débuté au sud du Moyen sec. La **limite inférieure de l'herbier se situe à -30,5 m**, elle est qualifiée de **franche** et le substrat est composé de détritique côtier présentant localement une **association à rhodolithes sur détritique côtier** et de petites zones de **matte morte**. Quelques gorgones blanches (*Eunicella singularis*) sont présentes sur le détritique côtier, couvertes d'algues filamenteuses. Le **recouvrement de l'herbier est évalué à 100 %** sur les fonds meubles dans la partie Sud du Moyen sec.



Figure 25 : Sud du Moyen Sec (Andromède Océanologie, 2022). Limite inférieure franche de l'herbier de posidonie située à -30,5 mètres sur du détritique côtier présentant localement une association à rhodolithes. Quelques gorgones blanches (*Eunicella singularis*) sont présentes sur le détritique côtier, couvertes d'algues filamenteuses.



Dans la partie Sud, le **sec rocheux trouve sa limite inférieure à environ 30 mètres**. Des **filets de pêche abandonnés** ont été observés sur celui-ci. L'herbier, présent de manière continue autour du sec (voir photos précédentes), est également observé en mosaïque avec la biocénose coralligène et la biocénose des algues infralittorales avec un recouvrement évalué à environ **50 %** (localement 80 %).



Figure 26 : Sud du Moyen Sec (Andromède Océanologie, 2022). L'herbier est continu autour du sec, avec un recouvrement estimé à 100 % sur les fonds meubles, et s'étend jusqu'à environ -30,5 mètres. Le sec trouve sa limite inférieure à -30 mètres, et l'herbier est présent sur l'ensemble du sec rocheux avec un recouvrement variant entre 50 et 80 %.

Le plongeur s'est ensuite dirigé vers le Nord-Ouest. La **biocénose coralligène est observée entre -30 et -24 mètres** de profondeur, dans la partie Sud du sec, et l'herbier est observé en mosaïque sur le coralligène. La **biocénose des algues infralittorales débute à -24 mètres** et sa biodiversité est élevée. Citons la présence de faciès à anémones *Parazoanthus axinella*, à grands bryozoaires *Pentapora fascialis* et à gorgones jaunes (*Eunicella cavolinii*).



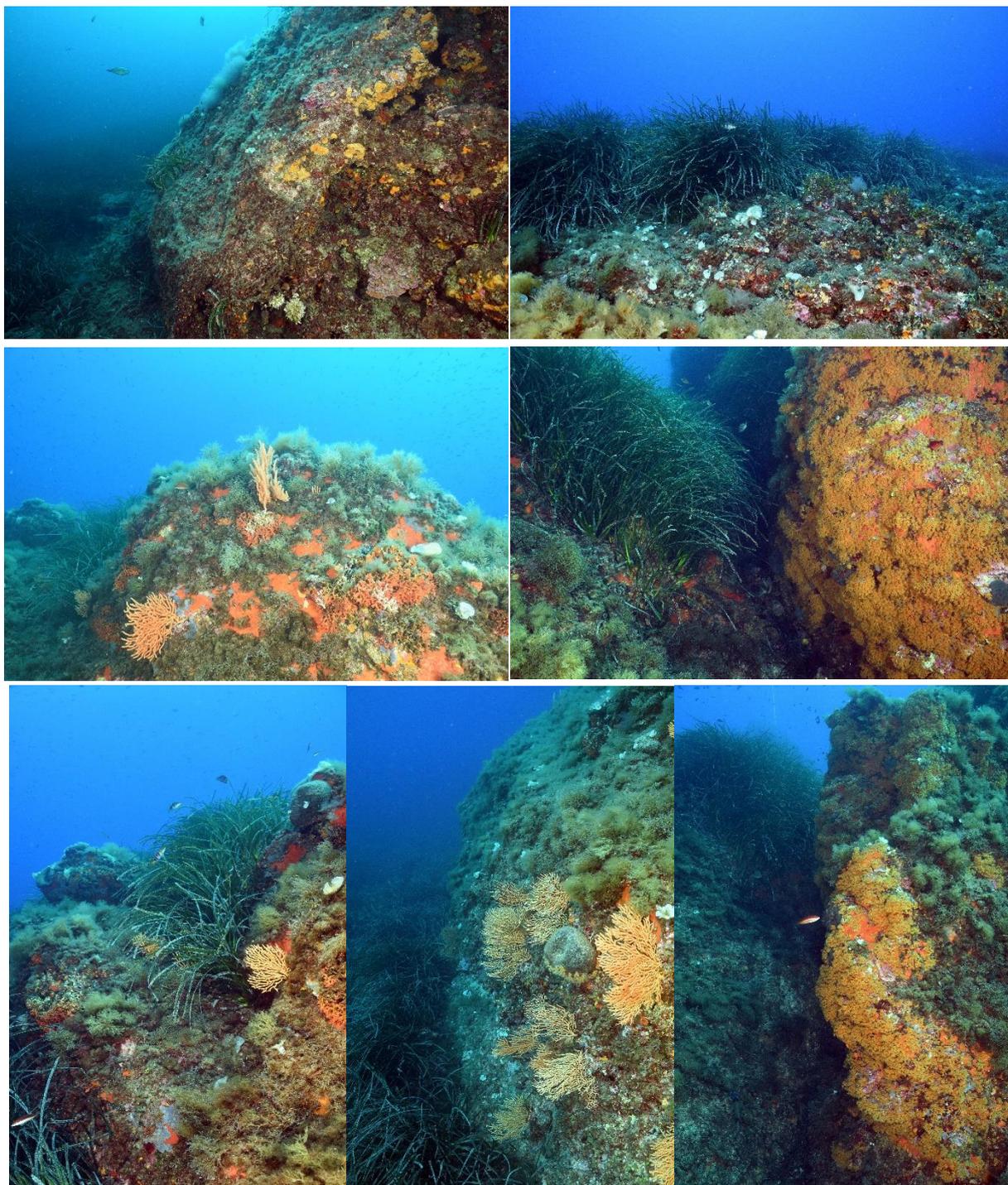


Figure 27 : Sud – Sud-Ouest du Moyen Sec (Andromède Océanologie, 2022). [1,2] La biocénose coralligène est observée entre -30 et -24 mètres ; [3-7] La biocénose des algues infralittorales trouve sa limite inférieure à -24 mètres et abrite de l'herbier de posidonie, des faciès à anémones *Parazoanthus axinella*, à grands bryozoaires *Pentapora fascialis*, et à gorgones jaunes (*Eunicella cavolinii*).

Au tour du sec, les parties les plus verticales ne sont pas colonisées par l'herbier de posidonie, celui-ci se trouve plutôt dans les creux des tombants et sur le haut des tombants. En revanche, dans la partie haute du Moyen sec, quand les parois verticales abruptes se transforment en plateau rocheux, l'herbier de posidonie recouvre alors 100 % du substrat.



De nombreuses gorgones (gorgones blanches *Eunicella singularis*, gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* et quelques gorgones rouges *Paramuricea clavata* (uniquement observées sur le côté Est du Moyen sec)) ont colonisé le Moyen sec et se trouvent principalement sur les tombants rocheux bien verticaux du massif. Aucune gorgone n'a été observé au-dessus des 20 mètres de profondeur.

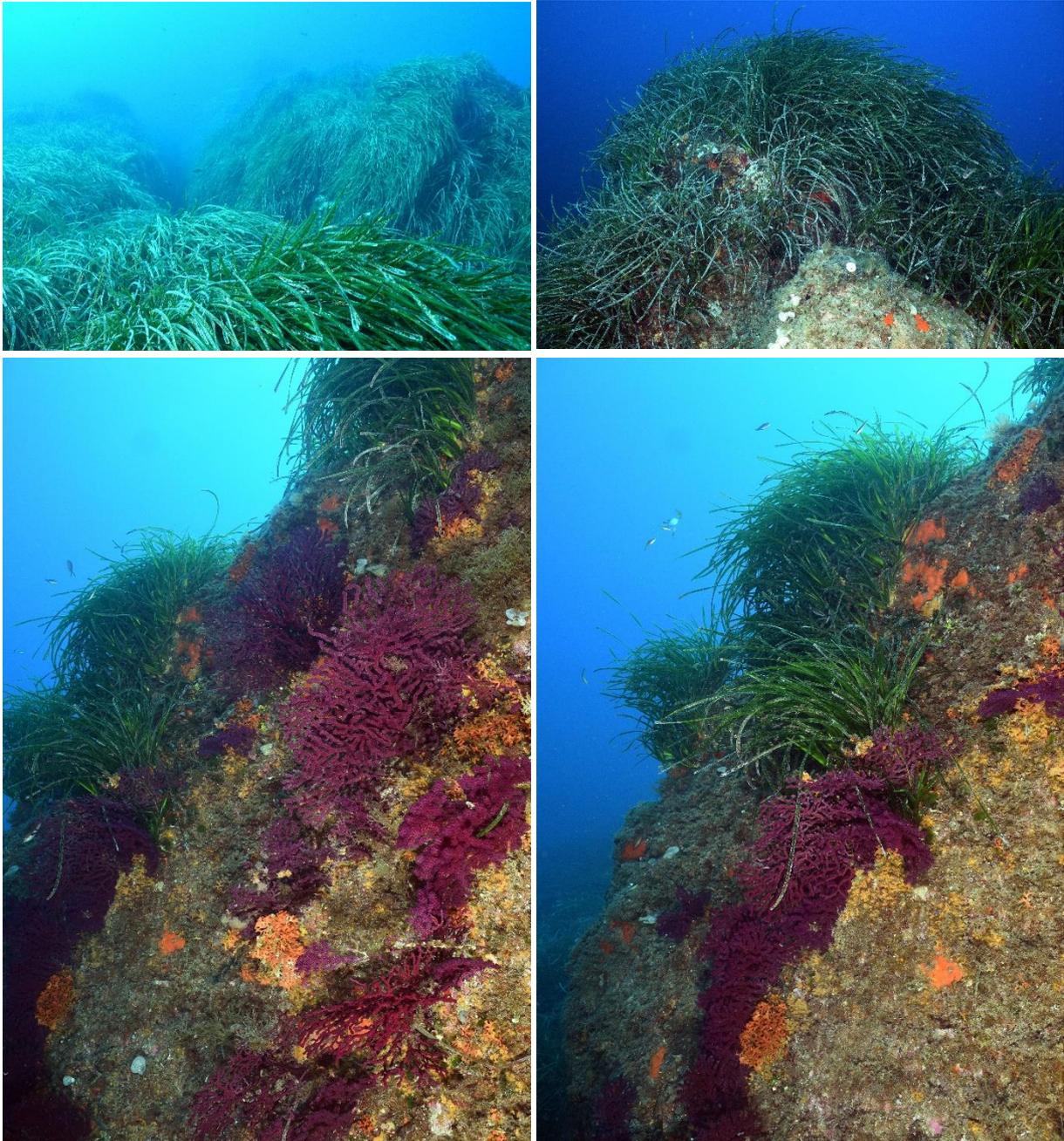


Figure 28 : Moyen Sec (Andromède Océanologie, 2022). [1,2] Dans la partie haute du Moyen sec, quand les parois verticales abruptes se transforment en plateau rocheux, l'herbier de posidonie recouvre alors 100 % du substrat ; [3,4] Gorgones rouges *Paramuricea clavata* observées uniquement sur le côté Est du Moyen sec, sur les tombants rocheux bien verticaux du massif.

La cartographie de ce secteur est visible ci-dessous.



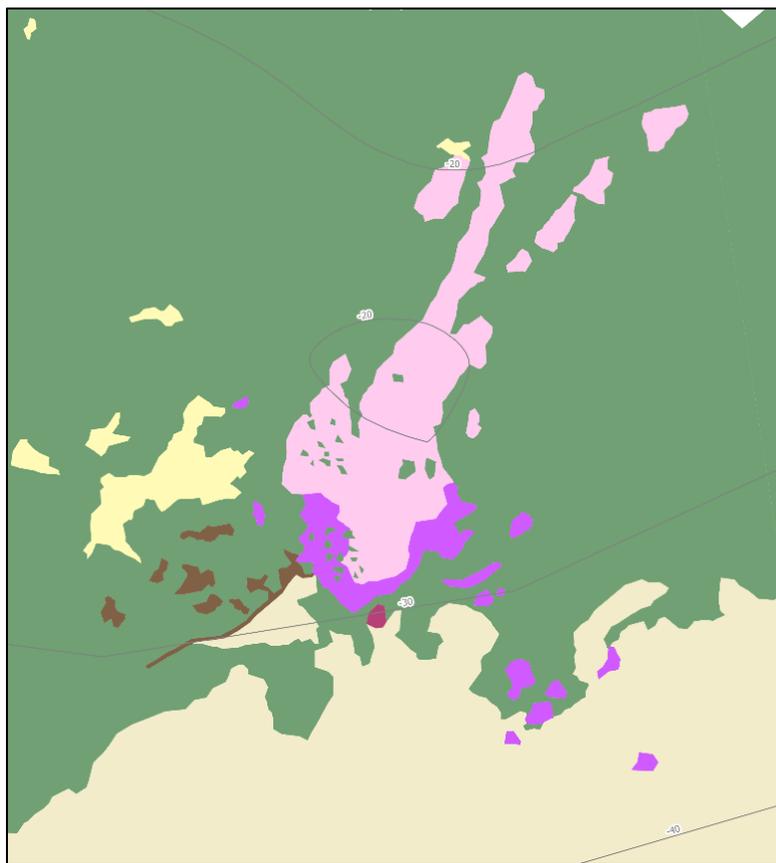


Figure 29 : Extrait de la cartographie des biocénoses marines du moyen sec (Cap Lardier). En vert : herbier de posidonie ; en marron : matte morte ; en rose : roche infralittorale ; en violet : coralligène ; en jaune : biocénose des sables fins bien calibrés ; en beige : détritique côtier ; en rouge : association à rhodolithes.

Dans le secteur Cap Taillat – Cap Camarat, la limite d’herbier de posidonie a également été actualisée et précisée. Des vérités-terrain complémentaires effectuées en juin 2022 ont pu valider la **présence de grands plateaux de matte morte** en limite inférieure d’herbier à l’est du cap Lardier et au sud-est du Cap Camarat. Très peu de dégradation de l’herbier de posidonie par les ancras a été observé, c’est pourquoi l’hypothèse de l’impact du fort hydrodynamisme de la zone pourrait être plutôt choisie pour expliquer ces grandes étendues de matte morte. De plus, la présence de nombreuses intermattes déferlantes et de langues de sable grossier (détritique côtier et ripplemarks) dans l’herbier démontre d’autant plus l’importante action érosive des courants de fond sur les herbiers de posidonie. Les observations en plongée tractée ont également permis de cartographier « **l’Association à rhodolithes sur détritique côtier** » qui est présente ponctuellement dans l’herbier et en limite inférieure d’herbier, souvent en mosaïque sur des plateaux de matte morte, et avec un recouvrement moyen de 80 %. Une autre zone comprenant cette association sur une surface beaucoup plus étendue (près de 8 hectares) a été découverte et se situe au large à l’est du Cap Camarat entre 30 et 35 mètres de profondeur (profondeur maximum atteinte en plongée tractée). Le recouvrement de cette association oscille entre 10 et 90 % et l’association forme une **mosaïque spatiale** avec la matte morte et l’herbier de posidonie en taches (recouvrement de 10 à 80 %). Il est important de noter qu’une **extrapolation** des surfaces couvertes par cette association a été choisie et réalisée en fonction des observations validant la présence de celle-ci et sa répartition en mosaïque (non visible au sonar). Il est très probable que cette association soit présente à d’autres endroits et à des profondeurs plus importantes sur le site. L’acquisition de nouvelles données terrain (observation directe en plongée, caméra tractée ou prélèvements sédimentaires aléatoires à l’aide d’une benne) pour cartographier plus précisément cette association serait nécessaire. Enfin, de part et d’autre de cette étendue de rhodolithes, ont été cartographiés de nombreux **réefs coralligènes** entre 30 et 35 mètres de profondeur.

De grandes étendues de sables fins envasés sont également présentes dans ce secteur. En comparant les mosaïques sonar récentes (2020 et 2022) aux mosaïques sonar historiques (2010-2012) on peut s’apercevoir que ces étendues de fonds détritiques envasés sont sensiblement les mêmes et qu’elles ne se sont pas déplacées (voir Figure 30). Un extrait de la cartographie des biocénoses sur ces fonds sédimentaires est présenté sur la Figure 31.



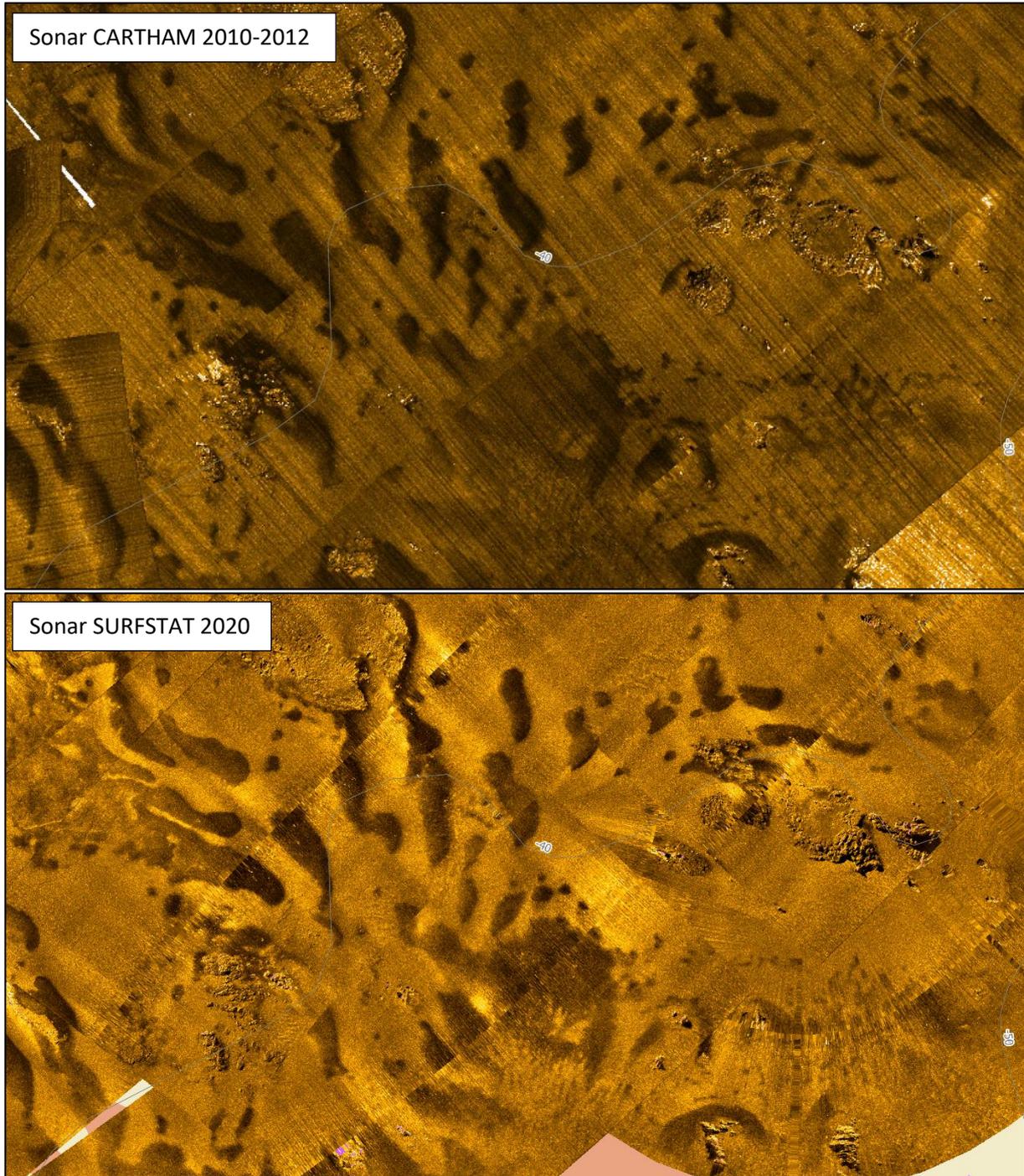


Figure 30 : Extraits des mosaïques sonar acquises en 2010-2012 puis en 2020 montrant de grandes taches de fonds détritiques envasés au large de la Baie de Bonporteau. Cette comparaison montre que ces étendues sont restées stables pendant au moins 10 ans.



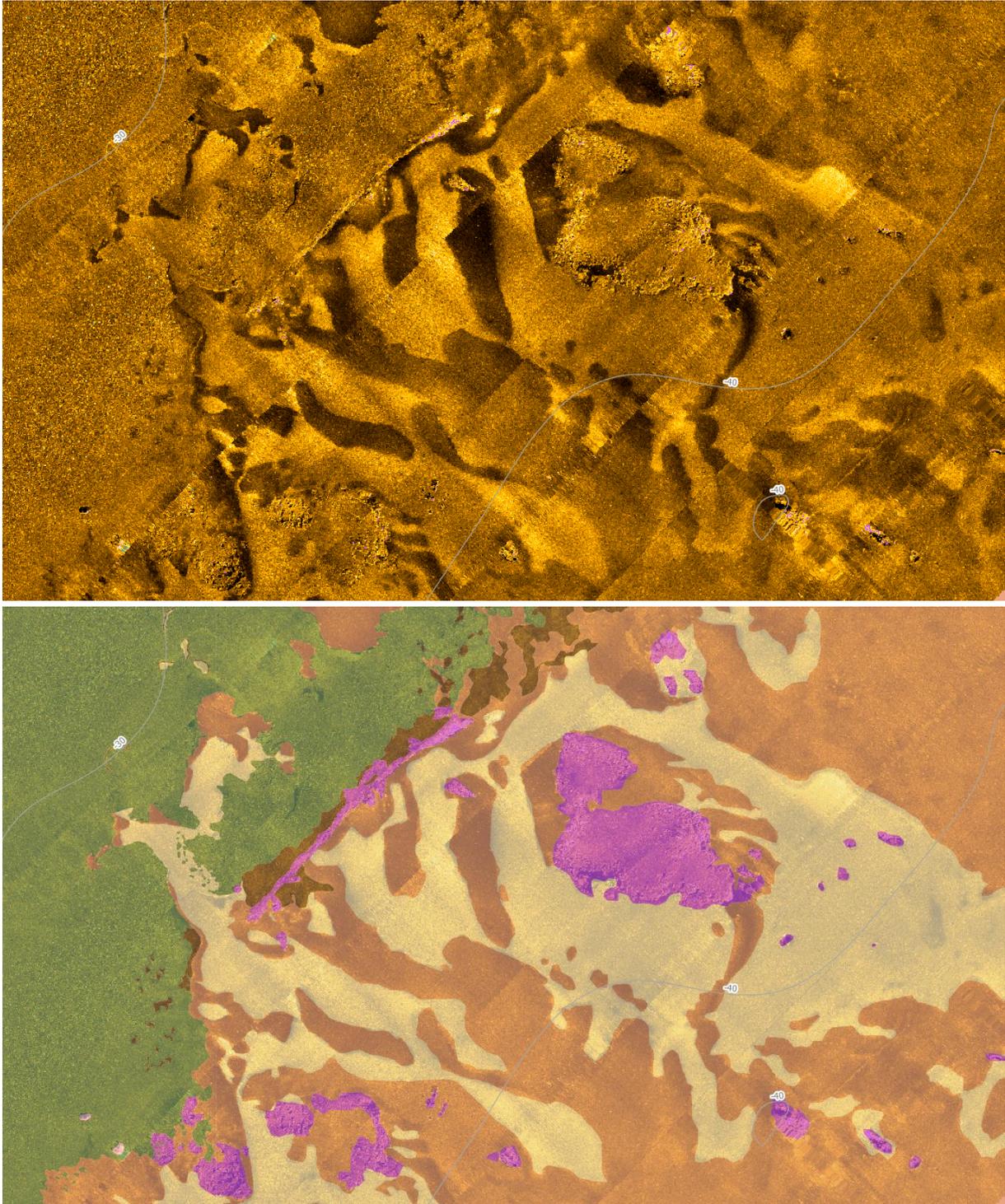


Figure 31 : Mosaïque sonar de 2020 et cartographie des biocénoses associées montrant la biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica* et les différences sédimentaires entre Biocénose du détritique côtier (DC) et Biocénose des fonds détritiques envasés (DE).

Des exports de la cartographie des biocénoses avant et après actualisation sont visibles dans la Figure 32 afin d'illustrer son évolution.



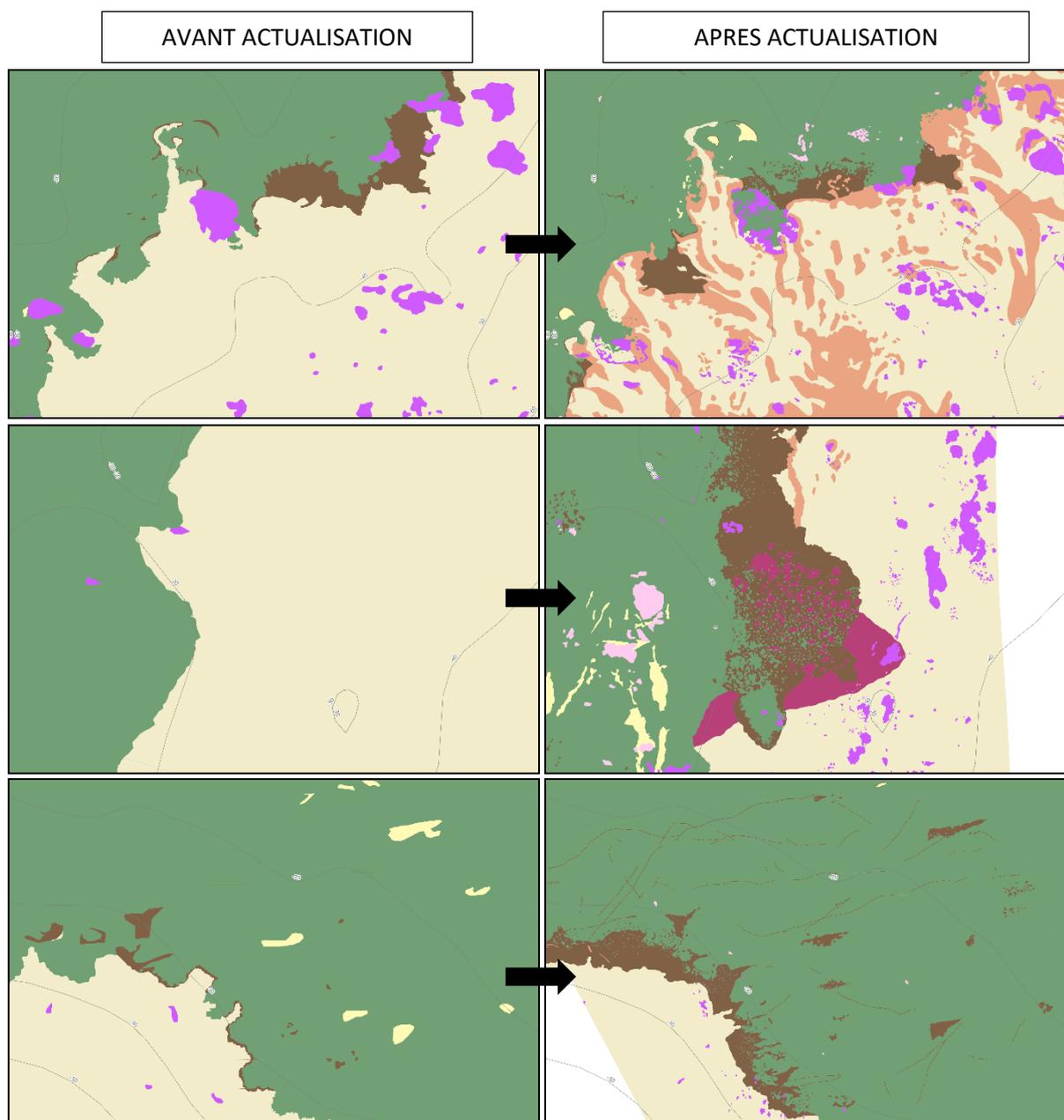


Figure 32 : Exports de la cartographie des biocénoses marines du site Corniche varoise avant (colonne de gauche) et après (colonne de droite) actualisation. Symbologie des biocénoses : herbier de posidonie en vert ; matte morte de posidonie en marron ; coralligène en violet ; biocénose des sables fins bien calibrés en jaune ; détritique côtier en beige ; détritique envasé en orange ; roches infralittorales en rose et association à rhodolithes en rouge rosé.

Sur le site Corniche varoise, l'amélioration de la cartographie des biocénoses marines pourrait être effectuée en complétant la zone par des **acquisitions au sonar jusqu'à -70 mètres** (1400 ha de zones sans couverture sonar) afin de cartographier des biocénoses de niveau 3 : Biocénose des fonds détritiques envasés (DE), Biocénose du détritique côtier (DC), Biocénose coralligène (C), Biocénose de la roche du large (RL) en particulier.

Par ailleurs, des **vérités-terrain complémentaires** (bennes sédimentaires, vidéos tractées, vérités-terrain ponctuelles) permettraient **d'affiner la cartographie de certaines biocénoses de niveau 4** (biocénose coralligène, biocénose des algues infralittorales, biocénoses des sables et graviers sous influence des courants de fond) et de **confirmer celle du détritique côtier (DC) et des fonds détritiques envasés (DE) (ainsi que de leurs associations/faciès)** pour lesquelles une confusion est possible si seules des données sonar sont utilisées. Rappelons en effet qu'en l'absence d'observations visuelles, seule une analyse granulométrique mettant en évidence la dominance de la vase par rapport aux graviers et sables permet d'affirmer avec certitude la présence de fonds envasés par rapport aux fonds de détritique côtier. Lors des vérités terrain historiques, **deux zones d'association à rhodolithes sur DC** avaient été mises en évidence qu'il serait nécessaire de confirmer.



III.A.2. Fiabilité cartographique

Les résultats de l'évaluation de la fiabilité de la cartographie des biocénoses marines (Figure 33) montrent des **valeurs faibles à très élevées de fiabilité (entre 33,3 % et 90,9 %) sur l'ensemble du site**, avec une **moyenne de 78,4 % ± 8,8 %**, ce qui signifie une **bonne fiabilité** de la cartographie d'après le Tableau 3.

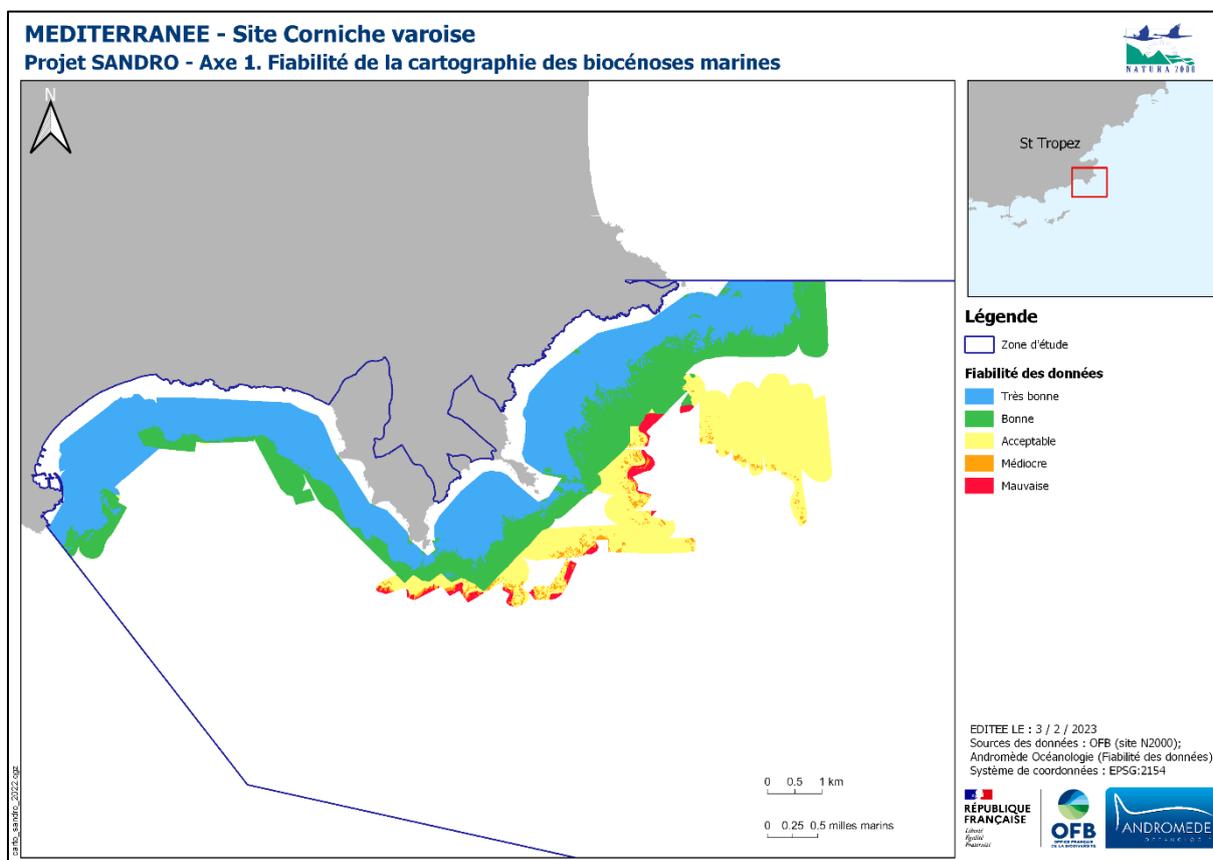


Figure 33 : Carte de fiabilité de la cartographie des biocénoses marines - site Corniche varoise.

Les valeurs de surface obtenues pour chaque classe de fiabilité sont visibles dans le Tableau 6 (surfaces en hectares et leur proportion (%) à l'échelle du site).

Tableau 6 : Surfaces (hectares) correspondant à chaque classe de fiabilité pour la cartographie des biocénoses marines du site N2000 « Corniche varoise » et leur proportion respective (%) à l'échelle du site.

Fiabilité	Très bonne	Bonne	Acceptable	Médiocre	Mauvaise
Surface (ha) du site concernée	1 411	788	689	44	48
Pourcentage par rapport à la surface totale cartographiée (%)	47,3	26,4	23,1	1,5	1,6

La fiabilité globale de la cartographie des biocénoses marines pour le site N2000 « Corniche varoise » est **bonne** avec une **moyenne de 78,4 % ± 8,8 %**. Toutes les classes de fiabilité ont été obtenues pour ce site. Certaines entités ont des valeurs de



fiabilité bien en-dessous de la moyenne (valeur minimale de 33,3 %, classe de fiabilité « mauvaise ») mais ne représentent qu'un pourcentage très faible du site (voir Tableau 6). Ces écarts de fiabilité sont aussi bien présents entre les biocénoses qu'au sein d'une même classe biocénotique ; plusieurs explications sont données ci-dessous pour chacune des cinq classes de fiabilité obtenues :

— **Fiabilité « mauvaise »** : cas des zones non cartographiées au large.

Bien que comprises dans l'emprise globale des données sonar réinterprétées pour SANDRO, ces entités au large n'ont pas une bonne fiabilité car les données sonar historiques sont peu exploitables (déformations et artefacts dans les mosaïques sonar acquises en 2012) à cause de la topographie qui est extrêmement forte (rupture de pente du plateau continental). De plus, aucune donnée bathymétrique fine n'existe (MNT).

— **Fiabilité « médiocre »** : cas des entités « roches du large » et « coralligène » au bord du plateau continental

- Topographie avec une pente forte (note de 1) ;
- Couverture et densité de vérités-terrain pratiquement nulle (note minimale de 0) ;
- Différenciation difficile des peuplements car les signatures acoustiques des biocénoses « coralligène » et « roche du large » sont les mêmes sur les mosaïques sonar, cependant ils sont facilement différenciables des fonds meubles les environnant (note minimale majorée de 1, ce qui donne une note de 1) ;
- Pour les entités « roche du large », la qualification est douteuse (note de 1) à cause de la signature acoustique très proche de celle du « coralligène » et du chevauchement des limites bathymétriques supérieures et inférieures de ces deux biocénoses ;
- Tous les autres critères ont une note de 2 ou 3 (méthode de géoréférencement, de numérisation, exploitation des données brutes) ;
- Cas particulier des entités « Biocénose du détritique côtier » (source CARTHAM) : les critères les moins bien notés et qui baissent fortement la fiabilité de ces entités sont ceux liés aux vérités-terrain (note de 0), à la topographie (note de 1), et à la méthode de définition de la classe biocénotique (note de 1).

— **Fiabilité « Acceptable »** : cas des entités « Biocénose du détritique côtier » et « Biocénose coralligène » des études CARTHAM (2010-2012), SURFSTAT (2014) et GOMBESSA 5 (2019).

- Couverture et densité de vérités-terrain nulle (note minimale de 0) ;
- Pour les entités « Biocénose Coralligène » de l'étude GOMBESSA 5, la topographie est forte et constante (note de 1) ;
- Pour les entités « Détritique côtier », la méthode de définition de la classe biocénotique est basée sur « des données physiques ou des zones biologiques générales » (note de 1), classe du critère qui semble la plus proche et la plus appropriée à la spécificité de l'interprétation des fonds meubles au sonar latéral ;
- Tous les autres critères sont notés entre 2 et 3.

— **« Bonne » fiabilité** : concerne une partie des entités actualisées par les données acquises pour SURFSTAT (2020-2021) et SANDRO (2022) et qui sont localisées au-delà de l'herbier de posidonie (Détritique côtier, Fonds détritiques envasés, Coralligène, patchs d'herbier de posidonie, Matte morte, Association à rhodolithes), ainsi que certaines entités « Biocénose des algues infralittorales » situées le long de la côte.

- Pour les entités classées comme « Association de la matte morte de *Posidonia oceanica* » et les petits patchs d'herbier de posidonie en limite inférieure d'herbier, la signature acoustique est proche de celle du détritique côtier (note de 1) ;



- Pour les entités « Détritique côtier » et « Fonds détritiques envasés », la méthode de classification est basée sur « les données physiques ou les zones biologiques générales », car aucune observation directe en plongée ou de prélèvement permettant une analyse biologique détaillée ou un inventaire des principales espèces n'a été fait, ce qui donne une note de 1 ;
- Pour les entités « Biocénose des algues infralittorales » proches de la côte, la topographie étant « forte et constante », on obtient une note de 1 ;
- Pour les entités « Association à rhodolithes », la signature acoustique est indifférenciable de celles des autres habitats interprétables à partir des données sonar, c'est pourquoi on obtient la note minimale de 0. La seule possibilité de connaître la présence de cette biocénose se fait via des vérités-terrain (plongée, caméra ou prélèvement à la benne) ;
- Tous les autres critères sont notés de 2 à 3 (très bonne couverture, résolution et exploitabilité des données brutes, présence d'une forte concentration en vérités-terrain, qualification des biocénoses certaine et topographie faible dans l'ensemble, méthode de numérisation précise).

« Très bonne » fiabilité : concerne une grande partie des entités actualisées par les données acquises pour SURFSTAT (2020-2021) et SANDRO (2022) ainsi que toutes les entités actualisées en 2019 pour la Communauté de communes du Golfe de Saint-Tropez (Baie de Cavalaire).

Cette très bonne fiabilité pour ces entités s'explique principalement par la très haute qualité des données brutes utilisées (résolution, couverture et exploitabilité des mosaïques sonar et du MNT), ce qui permet d'avoir un indice de confiance assez élevé en termes d'interprétation et donc de la qualification et de la définition des limites entre les biocénoses. Les autres critères comme la précision du géoréférencement des données (GPS différentiel) et de la méthode d'actualisation et de numérisation des données biocénologiques (logiciel de retouche d'images et SIG) obtiennent de très bonnes notes et participent donc à la hausse du pourcentage de fiabilité de ces entités. Enfin, la forte concentration et la grande répartition des vérités-terrain permettent d'augmenter fortement l'indice de confiance sur la classification des biocénoses cartographiées dans cette zone.

Le résultat de l'analyse de la fiabilité de la cartographie des biocénoses pour le site « Corniche varoise » correspond bien aux attentes et au travail d'interprétation fourni puisque les supports utilisés pour cette actualisation (données sonar de 2019 à 2022 et données bathymétriques de 2014 et 2019) sont de très bonne qualité. En effet, les données sonar de 2020 (SURFSTAT) présentent peu d'artefacts grâce aux conditions météorologiques parfaites et la résolution des bandes sonar très élevée (40 à 20 cm) et les MNT présentent une résolution d'1 mètre. De plus, ces données couvrent toute la zone d'intérêt, à savoir la zone de répartition naturelle des herbiers de posidonie et de cymodocées (0-40 mètres de profondeur) ainsi qu'une grande partie des récifs coralligènes et roches du large jusqu'à 100 mètres de profondeur au large des caps Taillat et Lardier.

En ce qui concerne les entités « Biocénose Coralligène » dont la fiabilité est jugée « médiocre », une réserve peut être émise quant aux résultats de cette analyse. La quasi-absence de vérités-terrain pour cette tranche bathymétrique, explicable par les profondeurs importantes qui compliquent une exploration en plongée-tractée, font qu'au moins deux critères sur onze obtiennent une note de 0, ce qui semble participer fortement à la baisse du score final des entités correspondantes. De plus, la topographie étant « forte et constante » (note de 1) au niveau de la rupture de pente du plateau continental, cela baisse aussi le score final des entités en question. Ces trois critères sont donc responsables à eux seuls du caractère « médiocre » des entités cartographiées malgré la qualité importante (1 mètre de résolution) du Modèle Numérique de Terrain utilisé en tant que support cartographique, et de la forte probabilité de rencontrer des récifs coralligènes à ces endroits d'après l'expertise. L'analyse de la fiabilité, qui a conduit à une fiabilité trop basse en comparaison des résultats attendus, nous semble donc un peu stricte pour ces entités.

Concernant la méthode d'évaluation de la fiabilité en elle-même : une **variable « poids »** pourrait être intégrée à cette méthode afin de donner plus d'importance à certains critères (comme la densité des vérités-terrain ou encore la qualité des données brutes utilisées). D'autre part, il serait peut-être nécessaire de supprimer le critère « Exploitation de la donnée brute » et de spécifier pour le critère « Couverture de la donnée brute » qu'il s'agit uniquement de la couverture exploitable de la donnée brute afin d'enlever cette petite redondance à l'analyse de la fiabilité.



IV. Bibliographie

Anderson, J. T., Van Holliday, D., Kloser, R., Reid, D. G., & Simard, Y. (2008). Acoustic seabed classification: current practice and future directions. *ICES Journal of Marine Science*, 65(6), 1004-1011.

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

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

Andromède Océanologie, 2011. Inventaires biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site Natura 2000 « Cap Martin FR 9301995. Contrat ANDROMEDE OCEANOLOGIE / AGENCE DES AIRES MARINES PROTEGEES. 306p.

ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2012. Inventaires biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site Natura 2000 « Corniche varoise » FR 9301624. Contrat ANDROMEDE OCEANOLOGIE / AGENCE DES AIRES MARINES PROTEGEES. 474p.

Bianchi, C. N., Ardizzone, G. D., Belluscio, A., Colantoni, P., Diviacco, G., Morri, C., & Tunesi, L. (2004). Benthic cartography. *Biologia Marina Mediterranea*, 11(1), 347-370.

Brown, C. J., Hewer, A. J., Meadows, W. J., Limpenny, D. S., Cooper, K. M., Rees, H. L., & Vivian, C. M. G. (2001). Mapping of gravel biotopes and an examination of the factors controlling the distribution, type and diversity of their biological communities (p. 43). Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science.

Delaruelle G., Deter J., Descamp P., Boissery P., Holon F. 2014. SURFSTAT, réseau d'analyse surfacique des habitats marins. Cartographie et développement d'indicateurs macro-surfaciques en région Provence-Alpes-Côte d'Azur – Application à l'habitat Herbier à Posidonie. Convention Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 233p.

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

Holon, F. (2015). Interactions entre écosystèmes marins et pressions anthropiques : Applications au suivi et à la gestion des eaux côtières de la mer Méditerranée (Doctoral dissertation, Université Montpellier).

Michez N., Aish A., Amouroux J.-M., Bellan G., Bellan-Santini D., Chevaldonné P., Dirberg G., Fabri M.-C., Fernez T., Fourt M., Francour P., Frisoni G.-F., Goujard A., Harmelin J.-G., Jordana E., Kleszczewski M., Labruno C., Mouronval J.-B., Palomba L., Pérez T., Pergent G., Pergent-Martini C., Sartoretto S., Thibaut T., Vacelet J., Verlaque M., 2019. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat / INPN, mars 2019.

Montefalcone M., Morri C., Peirano A., Albertelli G., Bianchi C.N., 2007. Substitution and phase shift within the *Posidonia oceanica* seagrass meadows of NW Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75: 63–71

Pergent-Martini C., Lehmann L., Monnier B., Barralon E., Pergent G., 2020. Inventaire, caractérisation et conservation des puits de carbone bleu du littoral oriental de la Corse – Rapport final CARBONSINK. Programme CARBONSINK, Université de Corse Pascal Paoli – Equipe Ecosystèmes Littoraux – Office Français de la Biodiversité & Office de l'Environnement de la Corse, Corte : 1-71.

