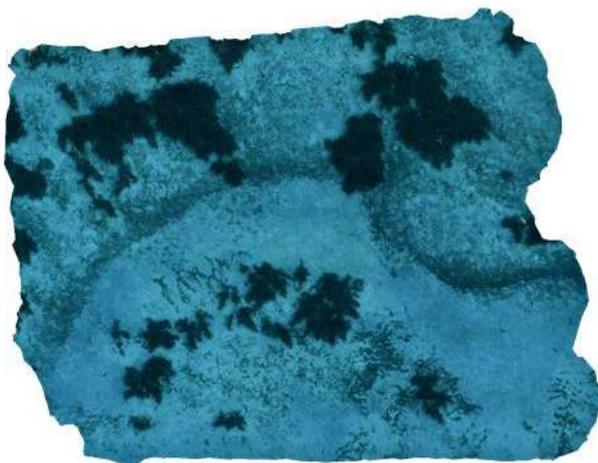
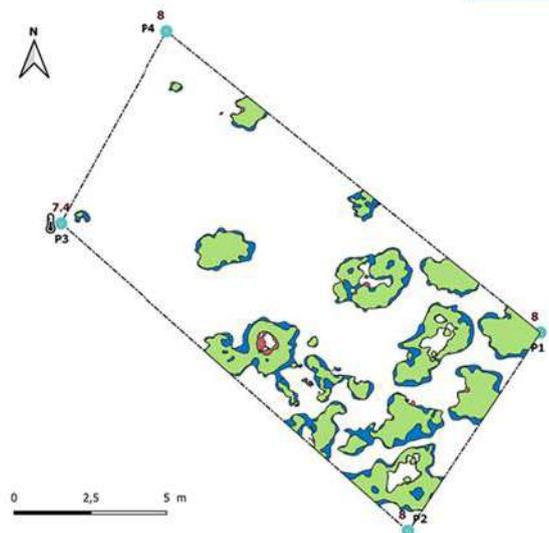
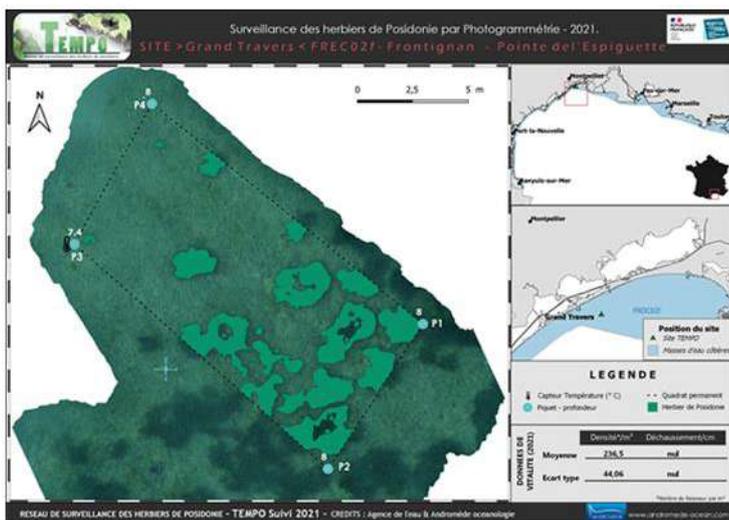


## SURVEILLANCE DES EAUX COTIÈRES DES BASSINS RHÔNE MÉDITERRANÉE ET CORSE - **LOT 1** : Analyse des données de surveillance des herbiers de posidonie et pose de thermomètres, Année 2021



Novembre 2021

**Coordination Andromède :**

HOLON Florian &amp; DELARUELLE Gwenaëlle

**Contact mail :**[florian.holon@andromede-ocean.com](mailto:florian.holon@andromede-ocean.com)[gwenaelle.delaruelle@andromede-ocean.com](mailto:gwenaelle.delaruelle@andromede-ocean.com)**Coordination Agence de l'Eau RMC :**

BOISSERY Pierre

[Pierre.BOISSERY@eurmc.fr](mailto:Pierre.BOISSERY@eurmc.fr)**Participants aux missions de terrain :**

AGEL Noémie, BLANDIN Agathe, BOCKEL Thomas, DELARUELLE Gwénaëlle, DETER Julie, HOLON Florian, MARRE Guilhem, PAVY Thomas, PERSONNIC Sébastien, RAUBY Thibault, RAUBY Justine,

**Traitement des données et rédaction :**

AGEL Noémie, DELARUELLE Gwenaëlle, MARRE Guilhem.

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

ANDROMEDE, 2021. *Surveillance biologique dans la région Ouest de la Provence-Alpes-Côte d'Azur et en région Occitanie – Analyse des données 2021 – Réseau TEMPO de suivi des herbiers de posidonie. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 167 pages.*

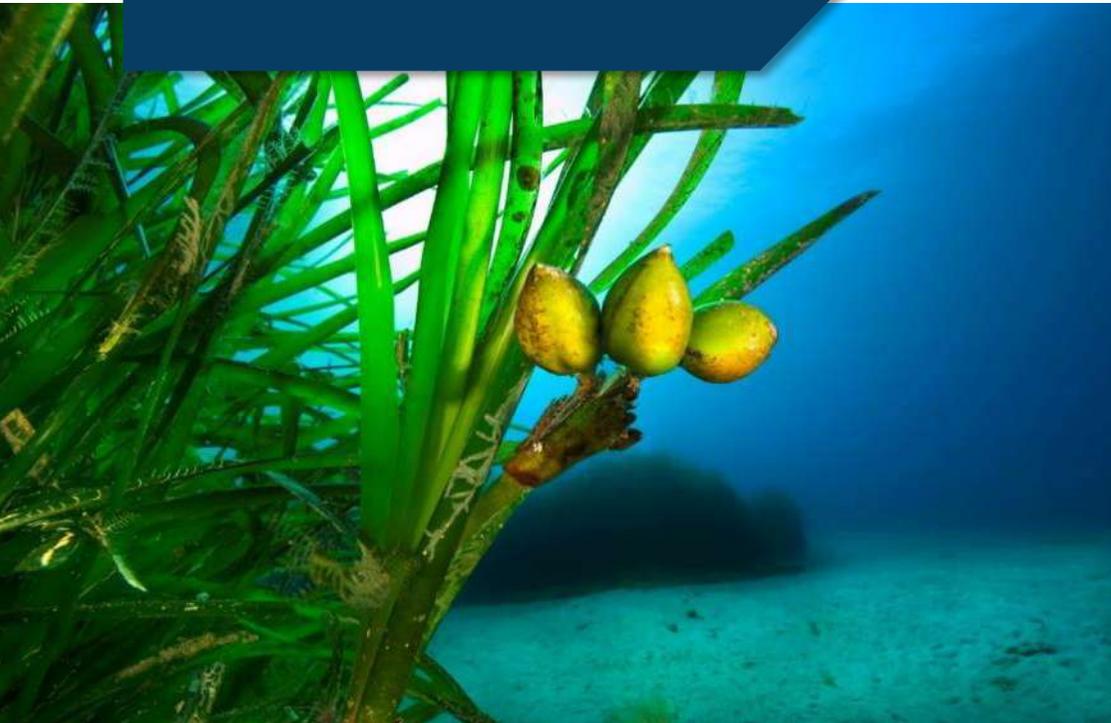


# Sommaire

RESEAU DE SURVEILLANCE TEMPO .....	1
<b>I. CONTEXTE.....</b>	<b>1</b>
I.A. Biologie de <i>Posidonia oceanica</i> (L) Delile .....	1
I.B. Rôles écologiques et économiques des herbiers à Posidonie.....	2
I.C. Conservation et déclin des herbiers : les pressions mises en jeu .....	3
I.D. La surveillance des herbiers à Posidonie .....	4
<b>II. OBJECTIFS DE TEMPO.....</b>	<b>5</b>
<b>III. EVALUATION DE L'ETAT ECOLOGIQUE DES HERBIERS DE POSIDONIE .....</b>	<b>6</b>
III.A. Localisation des sites.....	6
III.B. Méthodes et paramètres d'analyse sur les sites TEMPO localisés en limite inférieure d'herbier .....	9
III.C. Méthodes et paramètres d'analyse sur les sites TEMPO localisés à la profondeur intermédiaire .....	16
III.D. Présentation des résultats.....	20
<b>IV. POSE DE THERMOMETRES.....</b>	<b>21</b>
IV.A. Introduction.....	21
IV.B. Matériel utilisé .....	21
<b>V. RESULTATS.....</b>	<b>22</b>
V.A. Masse d'eau FRDC01.....	23
V.B. Masse d'eau FRDC02f.....	39
V.C. Masse d'eau FRDC04.....	48
V.D. Masse d'eau FRDC05.....	57
V.E. Masse d'eau FRDC06a.....	65
V.F. Masse d'eau FRDC06b.....	80
V.G. Masse d'eau FRDC07a.....	90
V.H. Masse d'eau FRDC07b.....	100
V.I. Masse d'eau FRDC07c.....	110

V.J. Masse d'eau FRDC07d .....	120
V.K. Masse d'eau FRDC07e.....	130
V.L. Masse d'eau FRDC07f .....	133
<b>VI. SYNTHESE .....</b>	<b>143</b>
VI.A. Difficultés rencontrées et points remarquables .....	143
VI.B. Sites à la profondeur intermédiaire de -15m .....	143
VI.C. Sites en limite inférieure.....	149
VI.D. Pose de thermomètres .....	159
<b>VII. DIFFUSION DES DONNEES A TRAVERS LA PLATEFORME MEDTRIX .....</b>	<b>161</b>
<b>VIII. ANNEXE : FICHIERS DE BANCARISATION .....</b>	<b>162</b>





Soutenu par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse, le réseau TEMPO a été créé en 2011 et s'étend sur l'ensemble de la façade méditerranéenne française bordée par les trois régions Corse, Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) et Occitanie. Les objectifs sont de recueillir des données descriptives sur la dynamique des herbiers à Posidonie et de surveiller à long terme leurs évolutions dans le temps et dans l'espace.

## Réseau de surveillance TEMPO

### I. Contexte

#### I.A. Biologie de *Posidonia oceanica* (L) Delile

La Posidonie *Posidonia oceanica* (L.) Delile est une phanérogame endémique de la mer Méditerranée qui peut constituer de véritables prairies sous-marines. Elle est présente sur toute la façade méditerranéenne, exceptée sur les côtes égyptiennes, palestiniennes, libyennes, israéliennes, et le nord de l'Adriatique (Boudouresque and Meinesz, 1982; Por, 1978; Zalokar, 1942). Cette plante angiosperme est constituée de faisceaux de feuilles (40 à 80 cm de long), de racines et de rhizomes, qui sont des tiges rampantes ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment.



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

On nomme « matte » l'ensemble constitué par les rhizomes, les écailles (gainnes des feuilles caduques), les racines et par le sédiment qui remplit les interstices. Exceptées les feuilles, les parties mortes de la plante sont peu putrescibles, ce qui explique leur longue conservation (plusieurs siècles ou millénaires) à l'intérieur de la matte (Boudouresque et al., 2006). La matte sert d'ancrage à l'herbier mais joue également un rôle important dans la stabilisation des fonds. Les herbiers à *P. oceanica* sont présents entre 0 et 40 m de profondeur.



Figure 2 : *Aplysia punctata* sur feuille de posidonie



Ils occupent donc une surface totale restreinte (1 à 2 %) (Pasqualini, 1997; Rico-Raimondino and Pergent, 1995). La zone totale connue des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la mer Méditerranée a été estimée à 1 224 707 ha (12 247 km<sup>2</sup>), 510 715 ha dans la partie ouest du bassin et 713 992 ha dans la partie orientale (Telesca et al., 2015).

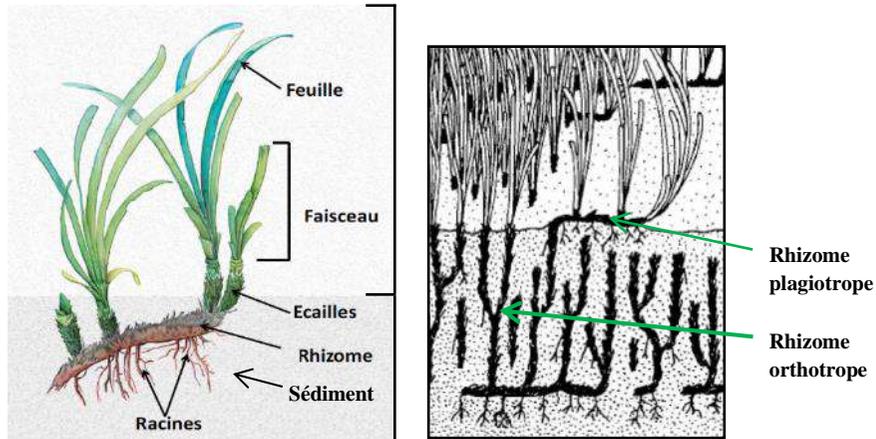


Figure 3 : Représentation schématique d'un herbier à *Posidonie* et sa matrice modifié d'après Abadie *et al.* (2016); (b) Différenciation des rhizomes plagiotropes et orthotropes, modifié d'après Boudouresque et Meinesz (1982).

Cette plante marine est sensible à la salinité et ne se développe que dans des milieux de salinité moyenne (Fernández-Torquemada and Sánchez-Lizaso, 2005, 2003; Sánchez-Lizaso et al., 2008). Son absence, dans certaines zones, peut être liée aux concentrations en CO<sub>2</sub> trop faibles pour la réalisation de la photosynthèse, nécessaire à son développement (Romero, 2004). La lumière est aussi un facteur très important qui limite sa répartition en profondeur (Elkalay et al., 2003). Les exigences écologiques importantes de *P. oceanica* en font une espèce sentinelle : tout changement de sa répartition spatiale (par exemple une réduction de la limite maximale de profondeur ou une perte de zones couvertes), traduit un changement de l'état de l'environnement (Orth et al., 2006).

## I.B. Rôles écologiques et économiques des herbiers à Posidonie

Cette phanérogame constitue la **biocénose la plus complexe de Méditerranée** (Boudouresque and Meinesz, 1982; Molinier and Picard, 1952; Peres and Picard, 1964) et est à la base de la richesse des eaux littorales (Boudouresque and Meinesz, 1982; Cinelli et al., 1974; Molinier and Picard, 1952). Son **rôle écologique est majeur** : production primaire benthique, production d'oxygène (Bay, 1978; Bedhomme et al., 1983; Caye, 1980; Drew and Jupp, 1976), transparence des eaux par le piégeage des particules en suspension (Blanc and Jedy De Grissac, 2011), base de nombreuses chaînes alimentaires (Velimirov, 1984), lieu de frayère, nurserie, abris vis-à-vis des prédateurs ou habitat permanent pour des milliers d'espèces animales et végétales (Boudouresque et al., 2006). Les herbiers à Posidonie régulent, directement ou non, la disponibilité des ressources pour d'autres espèces et sont, à ce titre, qualifiés d'ingénieurs écosystémiques (Lawton, 1994). De ces rôles écologiques découle une **quantité de services dont les hommes bénéficient** : protection du littoral, piégeage des sédiments, nourriture, etc. (Borum et al., 2004; Boudouresque et al., 2012; Campagne et al., 2015).

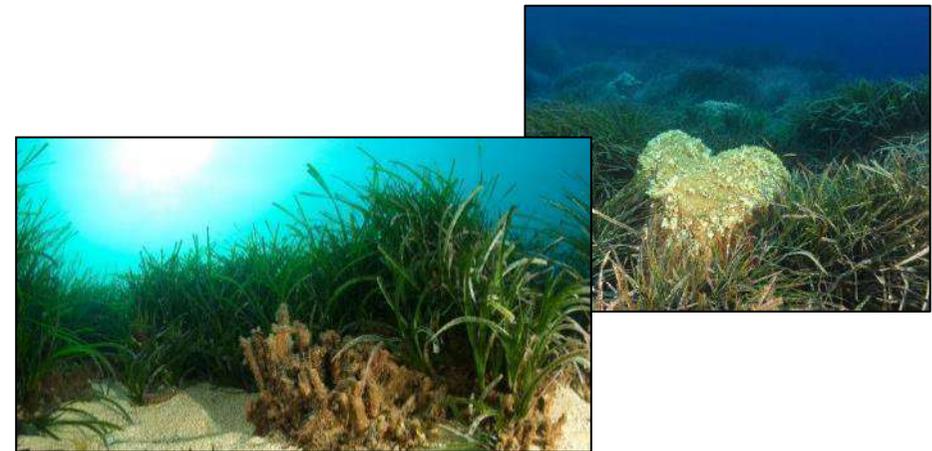


Figure 4 : Herbier à *Posidonie oceanica* (source: Andromède océanologie).

## I.C. Conservation et déclin des herbiers : les pressions mises en jeu

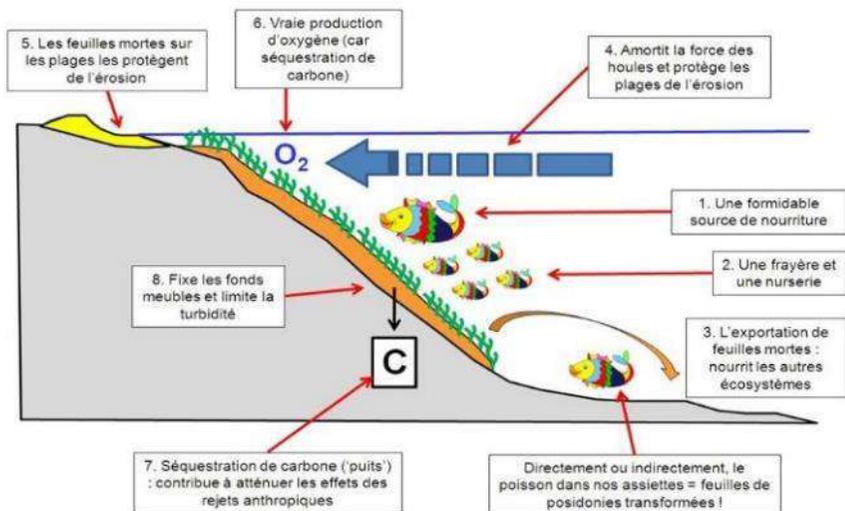


Figure 5: Rôles écologiques de l'herbier à *P. oceanica* dans le fonctionnement des systèmes littoraux en Méditerranée (GIS Posidonie, 2009 ; modifié d'après la figure originale de Charles F. Boudouresque).

Les préférences écologiques (eaux peu profondes et claires, courant faible) et les caractéristiques biologiques (croissance très lente de quelques centimètres par an) de *P. oceanica* rendent cette **espèce très vulnérable aux pressions anthropiques** (Boudouresque et al., 2012). C'est pourquoi *P. oceanica* et l'habitat qu'elle constitue sont protégés par la législation européenne (Directive Habitats, 92/93/CEE), par les conventions de Berne et Barcelone, par la législation nationale (Loi du 10 juillet 1976 et son décret d'application du 25 novembre 1977 (officialisée par l'arrêté interministériel du 19 juillet 1988 renseignant la liste des espèces végétales marines protégées)). De plus, *P. oceanica* est classée préoccupation mineure sur la Liste rouge de l'IUCN (Pergent et al., 2010).

Par ailleurs, depuis Juin 2019, la préfecture maritime française renforce la réglementation sur la protection des habitats naturels sur l'ensemble des eaux territoriales de la façade méditerranéenne, au travers d'un **cadre réglementaire définissant les conditions du mouillage et l'arrêt des navires (arrêté-cadre du préfet maritime n°123/2019)**. Les arrêtés départementaux mis en place en 2020/2021 constituent des outils réglementaires de protection des herbiers face à la pression d'ancrage de la grande plaisance.

Comme de nombreux habitats constitués par des phanérogames marines (Selig et al., 2014; Short and Wyllie-Echeverria, 1996; Spalding et al., 2003; Waycott et al., 2009), les herbiers à *P. oceanica* ont connu un **déclin généralisé au cours des dernières décennies** (Boudouresque et al., 2009). Ce déclin est caractérisé par un recul des herbiers peu profonds et/ou par une remontée des limites plus profondes, et donc une perte de l'étendue spatiale.

**Plusieurs activités humaines** sont sources de perturbations et responsables de la régression des herbiers. Certaines d'entre elles mènent à la création de patches à moyen et long terme ; d'autres, entraînent une destruction mécanique de la strate foliaire créant immédiatement des intermattes de matte nue au sein des paysages sous-marins : le chalutage, les bombardements de la seconde guerre mondiale, l'ancrage (Abadie, 2016).

Le **développement côtier** est l'une des principales causes de la régression de la strate foliaire (Giakoumi et al., 2015). Il est source de pollution notamment par le déversement d'eaux usées qui entraînent une diminution de la croissance des rhizomes et un changement dans la structure foliaire. **L'expansion des zones urbaines littorales** peut également provoquer d'importantes modifications du paysage (Abadie, 2016). La construction de ports et le rechargement en sable des plages provoquent une atténuation de la lumière et une sédimentation de MES supérieure à la vitesse de croissance verticale de la plante. Les **effluents d'aquaculture** sont aussi responsables de disparitions de larges portions d'herbier en provoquant l'anoxie du sédiment par diminution de la pénétration de la lumière et le rejet de quantités de matière organique.

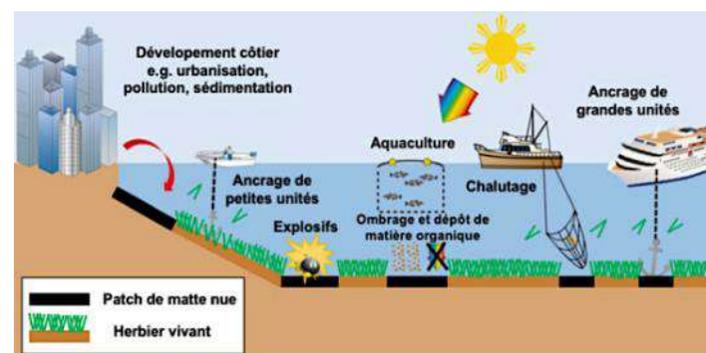


Figure 6: Impact des activités anthropiques générant des intermattes au sein des paysages sous-marins à *Posidonia oceanica* (Abadie, 2016).



## I.D. La surveillance des herbiers à Posidonie

Plusieurs programmes de surveillance ont été développés ces dernières décennies dans de nombreux pays comme en Espagne, Italie, ou Grèce (Boudouresque and Pergent, 1992). Les réseaux de surveillance ont deux buts principaux : (1) évaluer l'état de santé des herbiers à *Posidonia oceanica* et (2) utiliser ces herbiers comme indicateur de la qualité de l'environnement (Pergent et al., 2015).

En France, le « Réseau de Surveillance Posidonies » (RSP) a été mis en place en 1984 en région PACA (C. F. Boudouresque et al., 2007) et, depuis 2008, le **réseau de suivi des herbiers à Posidonie par télémétrie acoustique (TEMPO)** (Holon et al., 2013). TEMPO a été créé de manière pérenne en 2011 et s'étend sur l'ensemble de la façade méditerranéenne française. La caractérisation de l'état écologique de l'herbier est réalisée **par campagne régionale annuelle effectuée à la fin du printemps (mai-juin)**. Le choix de ces points respecte une couverture géographique homogène entre points le long du littoral et une répartition équitable, à la fois dans des zones sensibles, des zones intermédiaires et des zones de référence, selon une influence anthropique variable.

Au niveau législatif, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 est effective en droit français depuis le 4 Avril 2004. Elle définit, pour les états membres, un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen. Elle fixe des objectifs ambitieux pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces, eaux côtières et eaux souterraines) et demande que tous les milieux aquatiques soient dans un bon état écologique.

La DCE conforte les actions menées jusqu'ici par l'Agence de l'eau *via* le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) : gestion par bassin versant, gestion équilibrée de la gestion en eau et participation des acteurs. Néanmoins, elle va plus loin en introduisant trois innovations majeures :

- la fixation d'objectifs environnementaux (bon état écologique des masses d'eau) ;
- la prise en compte des conséquences environnementales des activités socio-économiques ;
- la participation de tout public.

D'après la DCE une masse d'eau est en bon état lorsque l'état écologique et l'état chimique de celle-ci sont au moins bons.

L'état écologique d'une masse d'eau est évalué à travers la structure et le fonctionnement de ses écosystèmes aquatiques. On utilise pour cela des éléments de qualité biologiques (espèces végétales et animales) mais aussi des éléments hydromorphologiques et physico-chimiques (turbidité, température, oxygène, concentration en nutriment, salinité). L'état de chacun de ces éléments de qualité biologiques est mesuré par un rapport de qualité écologique (Ecological Quality Ratio, EQR) : l'écart entre la valeur observée de l'indicateur suivi pour l'élément de qualité et la valeur de référence attendue en situation naturelle pas ou très peu influencée par les activités humaines. La valeur de cet état varie entre 0 (très mauvais) et 1 (très bon).

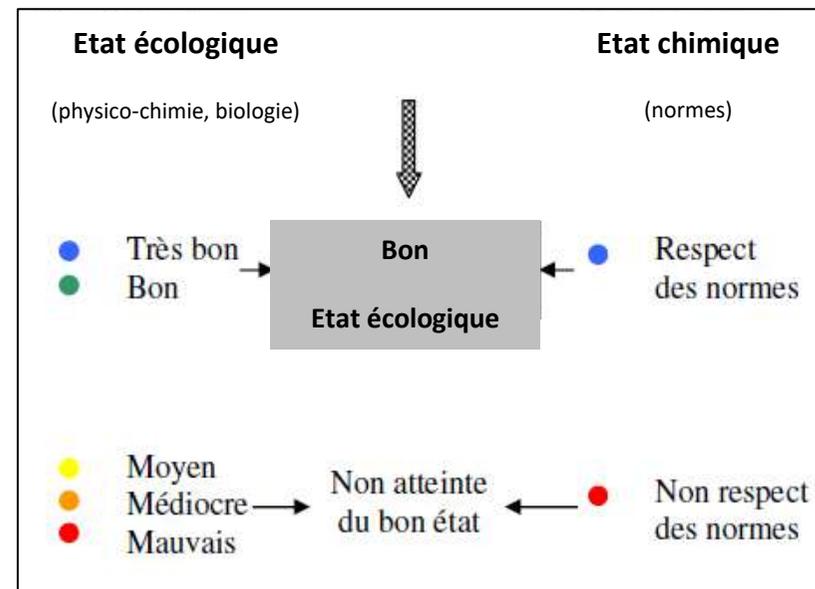


Figure 7: Définition et évaluation de l'état des masses d'eau (Source : Agence de l'eau, 2016).

Plus précisément, la DCE impose pour évaluer l'état écologique des masses d'eau côtières le suivi de trois types d'éléments de qualité biologiques : le phytoplancton, les macrophytes (algues macroscopiques et angiospermes), et la faune benthique invertébrée. Pour chacun de ces éléments, la composition, l'abondance et la biomasse sont mesurées pour estimer la qualité écologique des eaux environnantes.

En Méditerranée, l'élément de qualité « angiospermes » développé dans le cadre de la DCE prend en compte les paramètres suivants :

- La limite inférieure ;
- L'état des plantes (densité des pieds, surface foliaire, épibiontes).

Pour cela, l'indice PREI (*Posidonia Oceanica* Rapid Easy Index, Gobert et al., 2009a) permet de surveiller l'état de santé de la posidonie *Posidonia oceanica* L. Delile.

## II. Objectifs de TEMPO

Le **réseau TEMPO** s'étend sur l'ensemble de la façade méditerranéenne française bordée par les trois régions Corse, Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA (région Sud)) et Occitanie. TEMPO a pour missions de recueillir des données descriptives sur la dynamique des herbiers à Posidonie et de suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace.

Des protocoles différents sont appliqués sur les sites d'herbier localisés en limite inférieure et ceux à la profondeur intermédiaire, à partir desquels des indicateurs distincts sont calculés pour évaluer l'état général de l'herbier.

La méthode initiale choisie pour la surveillance de l'herbier à posidonie en **limite inférieure** prend en compte trois types de mesures : une **description générale du site**, une **microcartographie de la limite inférieure de l'herbier à posidonie par télémétrie acoustique**, et des **mesures de vitalité** de l'herbier (densité, déchaussement). Le protocole est réalisé en **plongée sous-marine**.

Depuis 2014 un autre objectif a été ajouté au réseau TEMPO : caractériser les herbiers à *Posidonia oceanica* à la profondeur intermédiaire de - 15 m (profondeur représentative de l'herbier en Méditerranée (Gobert et al., 2009b)) selon des protocoles standardisés :

- **PREI (Gobert et al., 2009a)** : entre 2014 et 2021, le protocole PREI a été appliqué sur 18 sites géographiques, à 47 reprises.

- **BiPo (Biotic Index using *Posidonia oceanica*)** (Lopez y Royo et al., 2010) : entre 2015 et 2021, le protocole BiPo a été appliqué sur 49 sites géographiques, à 108 reprises.

- **EBQI (Ecosystem-Based Quality Index)** (Personnic et al., 2014) : entre 2015 et 2020, le protocole EBQI a été appliqué sur 49 sites géographiques, à 96 reprises.

Pour chacun de ces protocoles, le suivi de l'état de santé des herbiers à *P. oceanica* à -15m se fait au moins en **plongée sous-marine**. Pour le PREI et l'EBQI, des prélèvements de faisceaux ou de feuilles sont analysés **au laboratoire d'Andromède Océanologie**, à Mauguio (Hérault). Andromède Océanologie se charge chaque année d'effectuer les demandes de dérogation auprès des DREAL pour prélever les faisceaux d'herbier.

Le schéma ci-dessous synthétise les données relevées sur l'herbier dans le cadre de TEMPO.

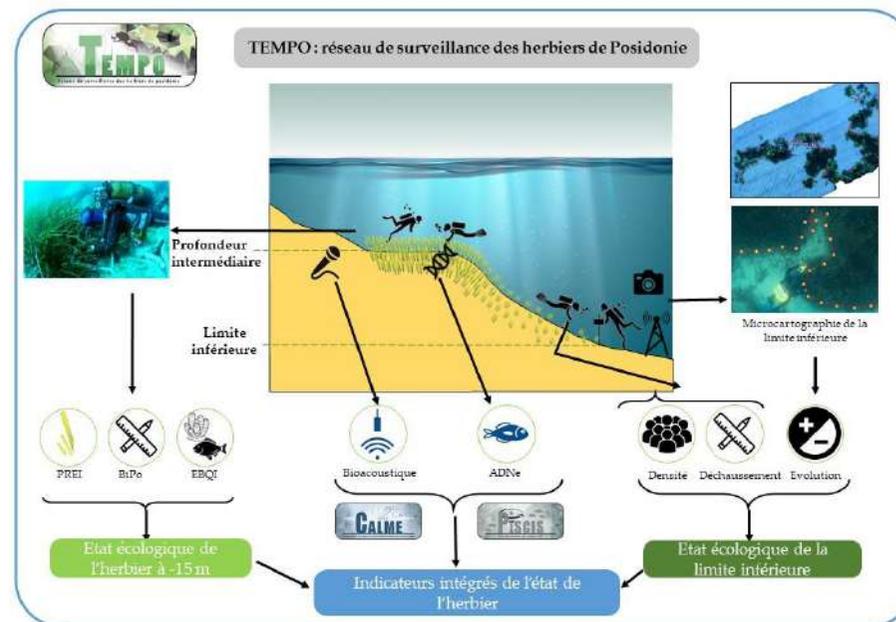


Figure 8 : Présentation générale des protocoles appliqués dans le cadre de TEMPO.

Toutes ces données descriptives et leurs évolutions dans le temps (période de trois ans) et l'espace (minimum d'un site par masse d'eau) complètent l'estimation de la qualité écologique des masses d'eau côtières demandée par la DCE et aident à évaluer l'efficacité des mesures correctives mises en place afin d'atteindre ou maintenir le bon état visé par cette directive.



Les données issues de TEMPO contribuent également à l'évaluation DCSMM. L'évaluation de l'atteinte du bon état écologique pour la composante « Habitats benthiques » repose sur deux critères : le critère D6C4 qui évalue "l'étendue de la perte du type d'habitat résultant de pressions anthropiques", et le critère D6C5 qui renseigne "l'étendue des effets néfastes liés aux pressions anthropiques sur l'état du type d'habitat, notamment l'altération de sa structure biotique et abiotique et de ses fonctions" par sous-régions marines et par grands types d'habitat.

Toutes les mesures ensuite analysées à la lumière des autres suivis (comparaison spatio-temporelle) et de la littérature disponible. La méthodologie suivie est affinée et améliorée au cours des suivis successifs en fonction de l'expérience acquise par les équipes de terrain et des avancées de la législation et de la recherche.

### III. Evaluation de l'état écologique des herbiers de posidonie

#### III.A. Localisation des sites

La base de données du réseau TEMPO (en date de septembre 2021) comprend **69 sites d'herbier localisés en limite inférieure** (Figure 9) et **49 sites d'herbier localisés à la profondeur intermédiaire** (Figure 10). Les sites TEMPO prioritaires sont suivis à la fin du printemps (mai-juin) tous les trois ans avec un décalage d'un an d'une région à une autre, les sites secondaires tous les six ans.

Le choix de ces points respecte une couverture géographique homogène entre points le long du littoral et une répartition équitable, à la fois dans des zones sensibles, des zones intermédiaires et des zones de référence, selon une influence anthropique variable. Ce point est particulièrement important. Il ne s'agit pas dans ce réseau de suivre l'impact d'une activité précise. C'est le rôle des suivis spécifiques ou des études d'impacts. Il s'agit d'évaluer un état général à l'échelle d'une masse d'eau, le référentiel DCE d'évaluation de l'état écologique et de l'état chimique.

**En 2021, 25 sites d'herbier dont 13 sites avec le protocole établi pour la profondeur intermédiaire et 12 sites avec le protocole pour le suivi des sites en limite inférieure ont été caractérisés.**



Figure 9 : Localisation des 69 sites géographiques suivis selon le protocole TEMPO en limite inférieure (source : <https://plateforme.medtrix.fr/> - projet TEMPO – échelle : 1/ 2 800 000).



Figure 10 : Localisation des 49 sites géographiques suivis selon le protocole TEMPO à la profondeur intermédiaire (source : <https://plateforme.medtrix.fr/> - projet TEMPO – échelle : 1/ 2 800 000).

**Les cartes suivantes présentent la localisation des sites du réseau TEMPO échantillonnés en limite inférieure et à -15 mètres en 2021 :**



# Réseaux de surveillance

Réseau de suivi des herbiers à Posidonie en Méditerranée française



## LEGENDE

### Limite inférieure

Sites TEMPO (Limite inférieure)



### Profondeur intermédiaire (15 mètres)

Sites TEMPO (-15 m)



Masse d'eau côtière



1:1 101 275

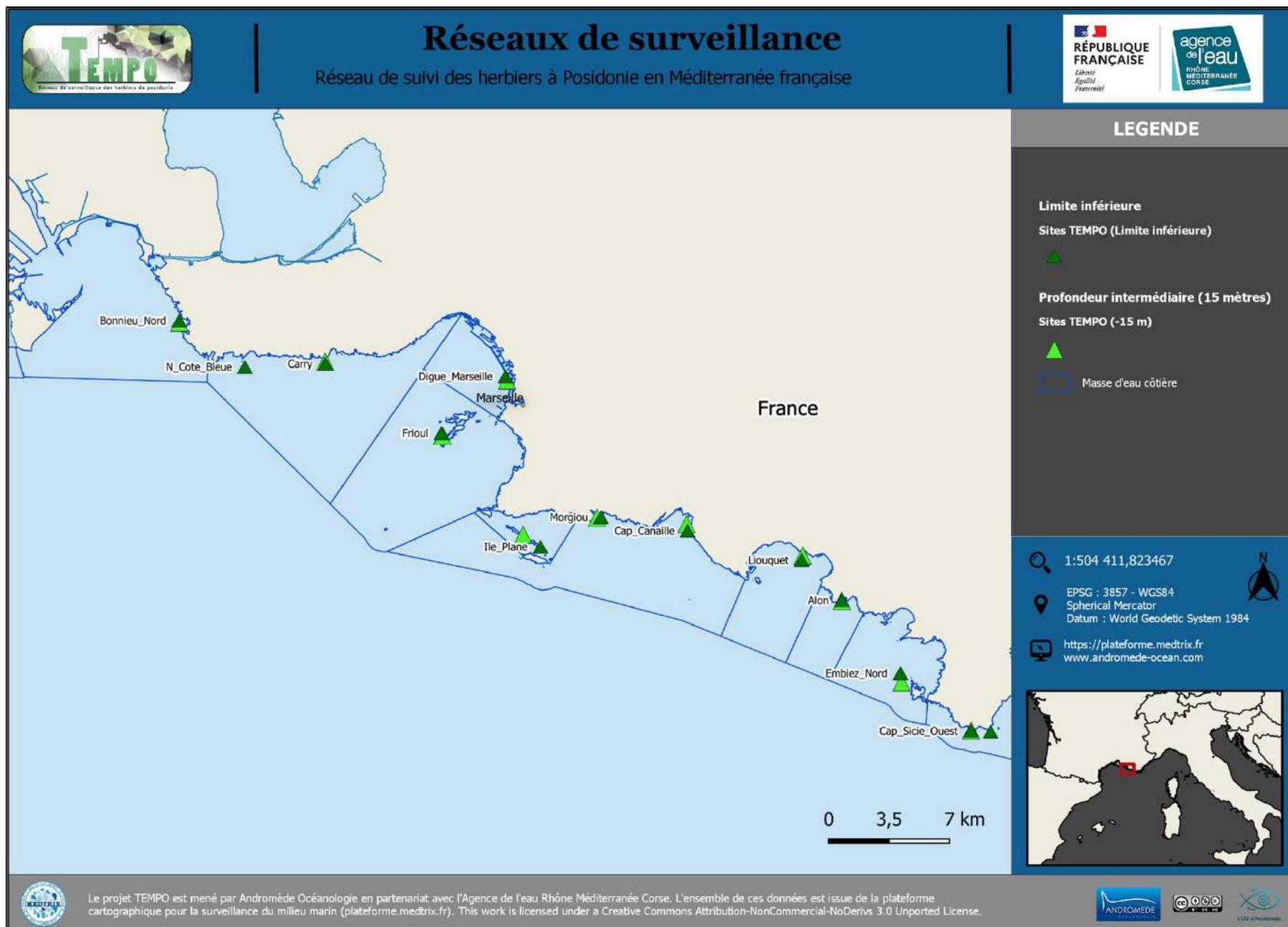
EPSG : 3857 - WGS84  
Spherical Mercator  
Datum : World Geodetic System 1984

<https://plateforme.medtrix.fr>  
[www.andromede-ocean.com](http://www.andromede-ocean.com)



Le projet TEMPO est mené par Andromède Océanologie en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. L'ensemble de ces données est issue de la plateforme cartographique pour la surveillance du milieu marin ([plateforme.medtrix.fr](https://plateforme.medtrix.fr)). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported License.





### III.B. Méthodes et paramètres d'analyse sur les sites TEMPO localisés en limite inférieure d'herbier

La méthode initiale choisie pour la surveillance de l'herbier à Posidonie en **limite inférieure** prend en compte trois types de mesures : une **description générale du site**, une **cartographie de la limite inférieure de l'herbier à Posidonie par télémétrie acoustique (quelques sites) et photogrammétrie (tous les sites)**, et des **mesures de vitalité** de l'herbier. Aucune de ces méthodes n'est destructive.

Sur chaque localité, les coordonnées GPS sont relevées à partir du bateau. Elles correspondent à la localisation des balises permanentes type « géomètre » ancrées dans le sol et marquant les angles du quadrat permanent (au sein duquel est effectué le suivi de l'herbier). Le plongeur note alors la date d'acquisition des données, la température de l'eau, la visibilité, la nature du fond, et la profondeur. Il relève les pressions observées sur le site.

L'herbier est ensuite cartographié et son état de vitalité est estimé *via* la mesure de différents paramètres. Brièvement, la méthode appliquée en limite inférieure consiste en :

i) Des **mesures de vitalité** (état de santé) de l'herbier à Posidonie en limite inférieure :

-  Type et profondeur de la limite inférieure
-  Densité de faisceaux
-  Déchaussement des rhizomes

ii) Des **relevés des pressions** observées :

-  Perturbations physiques
-  Perturbations biologiques
-  Pollutions

iii) Une **micro-cartographie** de la limite inférieure (limite d'extension la plus profonde) de l'herbier à Posidonie par photogrammétrie (tous les sites) et télémétrie acoustique (quelques sites) ;

#### III.B.1. Mesures de vitalité et échelles d'évaluation

- Type et profondeur de la limite inférieure : La profondeur de la limite d'extension la plus profonde est mesurée par les plongeurs à l'aide d'un profondimètre (une dizaine de mesures espacées de 1 à 5 m sont réalisées au sein du quadrat balisé). Cinq types de limite

sont considérés : progressive (P), franche – fort recouvrement (F+), franche – faible recouvrement (F-), clairsemée (C), Régressive (R).

*Publication(s) scientifique(s) associée(s) :*

*Meinesz, A., & Laurent, R. (1978). Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de Posidonia oceanica dans les Alpes-maritimes (France)– Campagne Poseïdon 1976.*

- Densité de faisceaux : La densité des faisceaux (nombre de faisceaux de feuilles vivantes par m<sup>2</sup>) est calculée dans 30 quadrats de 20 x 20 cm en limite inférieure. Deux classifications de l'herbier (état mauvais à excellent) en fonction de la profondeur et des mesures de densité sont utilisées (tableaux suivants).

*Publication(s) scientifique(s) associée(s) :*

*Pergent, G., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à Posidonia oceanica comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : Etat des connaissances. Mésogée 54, 3-29.*

*Pergent-Martini, C., Pergent, G., 2010. Propositions de lignes directrices pour la standardisation des méthodes de cartographie et de surveillance des magnoliophytes marines en Méditerranée (No. 72, pp. 1-70). PNUE-PAM-CAR/ASP 17–20.*



Tableau 1 : Classification de l'état de l'herbier selon les densités (/ m<sup>2</sup>) de faisceaux observées et le niveau de profondeur (m) (Pergent-Martini and Pergent, 2010).

Profondeur (m)	Excellent	Bon	Normal	Médiocre	Mauvais
1	> 1133	1133	930	727	524
2	> 1067	1067	863	659	456
3	> 1005	1005	808	612	415
4	> 947	947	757	567	377
5	> 892	892	709	526	343
6	> 841	841	665	489	312
7	> 792	792	623	454	284
8	> 746	746	584	421	259
9	> 703	703	547	391	235
10	> 662	662	513	364	214
11	> 624	624	481	338	195
12	> 588	588	451	314	177
13	> 554	554	423	292	161
14	> 522	522	397	272	147
15	> 492	492	372	253	134
16	> 463	463	349	236	122
17	> 436	436	328	219	111
18	> 411	411	308	204	101
19	> 387	387	289	190	92
20	> 365	365	271	177	83
21	> 344	344	255	165	76
22	> 324	324	239	154	69
23	> 305	305	224	144	63
24	> 288	288	211	134	57
25	> 271	271	198	125	52
26	> 255	255	186	117	47
27	> 240	240	175	109	43
28	> 227	227	164	102	39
29	> 213	213	154	95	36
30	> 201	201	145	89	32
31	> 189	189	136	83	30
32	> 179	179	128	77	27
33	> 168	168	120	72	24
34	> 158	158	113	68	22
35	> 149	149	106	63	20
36	> 141	141	100	59	18
37	> 133	133	94	55	17
38	> 125	125	88	52	15
39	> 118	118	83	48	14
40	> 111	111	78	45	13

Tableau 2 : Classification de l'herbier en fonction de la profondeur (Prof. en m). DA = densité anormale, DSI = Densité sub-normale inférieure, DN = Densité normale et DSS = Densité sub-normale supérieure (d'après Pergent-Martini, 1994 et Pergent et al., 1995)

Prof	DA	DSI	DN	DSS	Prof	DA	DSI	DN	DSS
1	← 822	↔	934 ↔ 1158	→	21	← 48	↔	160 ↔ 384	→
2	← 646	↔	758 ↔ 982	→	22	← 37	↔	149 ↔ 373	→
3	← 543	↔	655 ↔ 879	→	23	← 25	↔	137 ↔ 361	→
4	← 470	↔	582 ↔ 806	→	24	← 14	↔	126 ↔ 350	→
5	← 413	↔	525 ↔ 749	→	25	← 4	↔	116 ↔ 340	→
6	← 367	↔	479 ↔ 703	→	26		↔	106 ↔ 330	→
7	← 327	↔	439 ↔ 663	→	27		↔	96 ↔ 320	→
8	← 294	↔	406 ↔ 630	→	28		↔	87 ↔ 311	→
9	← 264	↔	376 ↔ 600	→	29		↔	78 ↔ 302	→
10	← 237	↔	349 ↔ 573	→	30		↔	70 ↔ 294	→
11	← 213	↔	325 ↔ 549	→	31		↔	61 ↔ 285	→
12	← 191	↔	303 ↔ 527	→	32		↔	53 ↔ 277	→
13	← 170	↔	282 ↔ 506	→	33		↔	46 ↔ 270	→
14	← 151	↔	263 ↔ 487	→	34		↔	38 ↔ 262	→
15	← 134	↔	246 ↔ 470	→	35		↔	31 ↔ 255	→
16	← 117	↔	229 ↔ 453	→	36		↔	23 ↔ 247	→
17	← 102	↔	214 ↔ 438	→	37		↔	16 ↔ 240	→
18	← 88	↔	200 ↔ 424	→	38		↔	10 ↔ 234	→
19	← 74	↔	186 ↔ 410	→	39		↔	3 ↔ 227	→
20	← 61	↔	173 ↔ 397	→	40		↔	↔ 221	→

- Déchaussement des rhizomes : Les rhizomes de Posidonie sont caractérisés par une croissance horizontale (rhizomes plagiotropes) et/ou verticale (rhizomes orthotropes). La croissance verticale est à l'origine de l'édification des mattes et permet à la plante de lutter contre l'enfouissement, lié à la sédimentation. Le déchaussement des rhizomes traduit généralement l'existence d'un déficit sédimentaire de l'herbier.



L'observation de ce paramètre permet donc d'apprécier rapidement et assez précisément l'hydrodynamisme d'une zone et les déplacements sédimentaires qui y ont lieu. En outre, un déchaussement important entraîne une fragilisation de l'herbier, ce qui accroît sa vulnérabilité vis à vis des actions de mouillage et de chalutage. La mesure du déchaussement des rhizomes est réalisée selon les conventions définies (Boudouresque et al., 2006; Charles F Boudouresque et al., 2007) :

☞ Pour les **rhizomes plagiotropes**, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes ;

☞ Pour les **rhizomes orthotropes**, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la base des feuilles, distance à laquelle on soustrait 2 cm.

Dix mesures de déchaussement (x3 réplicas) soit un total de 30 mesures sont relevées en limite d'herbier. Une échelle d'évaluation du déchaussement (faible, moyen, important) est utilisée en fonction des valeurs moyennes mesurées (tableau ci-dessous).

Tableau 3: Echelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées le long du balisage (d'après le RSP Charbonnel et al., 2000 et Boudouresque et al., 1980).

Déchaussement (valeurs seuils)	Interprétation
Inférieur à 5 cm	Déchaussement faible
5-15 cm	Déchaussement moyen
Supérieur à 15 cm	Déchaussement fort

Publication(s) scientifique(s) associée(s) :

Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Bernard G., Bonhomme P., Patrone J., Kruczek R., Cottalorda J.M., Bertrand M.C., Foret P., Ragazzi M., Le Direac'h L., 2000b. Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : présentation et guide méthodologique. Année 2000. Région PACA, Agence de l'Eau RMC, GIS Posidonie, CQEL 13, CQEL 83, Conseil Général 06, GIS Posidonie publ. : 1-76.



### III.B.2. Relevés des pressions



Figure 11 : Ancrage dans l'herbier, ©Laurent Ballesta, 2018.

Sous l'eau, les plongeurs notent les observations suivantes :

- Perturbations physiques : Artificialisation du milieu (structures artificialisées (endiguements, enrochements, bétonnages, épis, canalisations, passages de câbles, installations portuaires, etc.)), blocs de matras arrachés, engins de pêche, traces de mouillages.

- Perturbations biologiques : Caulerpes envahissantes (*Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa cylindracea*), *Womersleyella setacea*, algues filamenteuses. Une estimation du pourcentage de recouvrement est donnée : très faible (<20 %), faible (20-40 %), moyen (40-60 %), fort (60-80 %) ou très fort (>80 %).

- Pollutions et nuisances : sources potentielles de nuisance proches (ports, rejet de station d'épuration, ...), macrodéchets (type, nombre), sédiments oxydés, traces d'hydrocarbures.

### III.B.3. Microcartographie de la limite inférieure

Chaque site géographique TEMPO correspond à un quadrat de plusieurs dizaines ou centaine de mètres carrés balisé (généralement par quatre balises) au sein duquel une **microcartographie fine** de la limite inférieure de l'herbier est réalisée, soit par télémétrie acoustique, soit par photogrammétrie.

De 2006 à 2015, toutes les microcartographies d'herbier ont été réalisées par **télémétrie acoustique**. Basé sur un principe d'interférométrie acoustique 3D, le positionnement acoustique est une méthode alternative aux balises physiques qui permet de multiplier facilement le nombre de points cartographiés (un point tous les 30 à 50 cm).

*Publication(s) scientifique(s) associée(s) :*

Descamp, P., Pergent, G., Ballesta, L., Foulquie, M., 2005. Underwater acoustic positioning systems as tool for *Posidonia oceanica* beds survey. *Comptes rendus biologies*, 328 : 75-80.

Descamp, P., Holon, F., Ballesta, L., Guilbert, A., Guillot, M., Boissery, P., Raimondino, V., Deter, J., 2011. Fast and easy method for seagrass monitoring : Application of acoustic telemetry to precision mapping of *Posidonia oceanica* beds. *Marine Pollution Bulletin*, 62 : 284-292

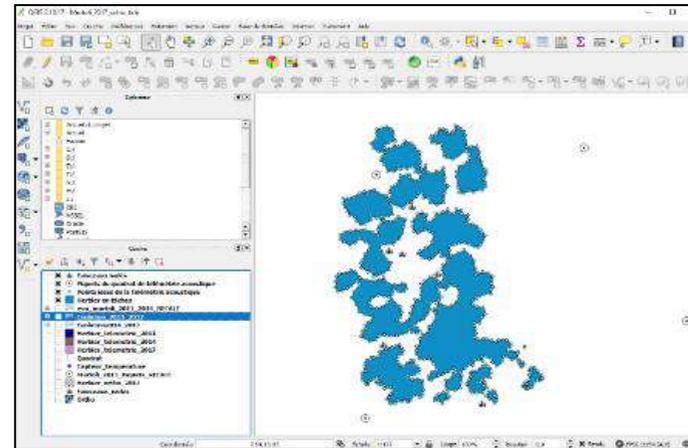


Figure 12 : [1] Plongeur équipé de l'Aquamètre D100 permettant de cartographier la limite inférieure de l'herbier par télémétrie acoustique ; [2] Exploitation des données de télémétrie acoustique sous le logiciel QGIS : délimitation de l'herbier cartographié en bleu et visualisation des piquets du quadrat en blanc.

De 2016 à 2020, les microcartographies d'herbier ont été réalisées par **télémétrie acoustique et par photogrammétrie**. La photogrammétrie, ou « science de la mesure sur photos » (Linder, 2016), est une technique permettant aujourd'hui de reconstruire en 3D un objet ou une scène à partir d'un grand nombre de photos prises sous différents angles de vue. Son principe de fonctionnement se base sur la vision stéréoscopique dont nous sommes nous-mêmes dotés : si nous disposons de deux (ou plus) images d'un même objet prises en différents points de vue, il est possible de calculer les coordonnées 3D de tout point de l'objet qui est visible sur les deux images. L'évolution récente de cette technique, appelée « structure-from-motion » (Westoby et al., 2012), permet de s'affranchir de l'information de position et d'orientation des prises de vue. L'utilisateur n'a alors « plus qu'à » photographier l'objet sous tous ses angles et charger les photographies dans un logiciel dédié, ce qui simplifie l'acquisition dans un contexte sous-marin où les conditions rendent déjà compliquées de simples prises de vue (Bowens, 2009). L'ensemble du processus photogrammétrique suit un enchaînement de traitements numériques pour passer des images 2D au modèle 3D.

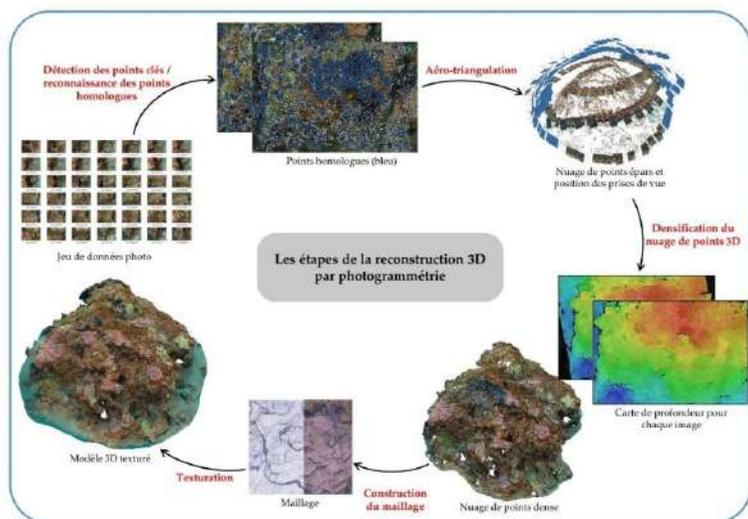


Figure 13 : Les étapes de la reconstruction 3D par photogrammétrie – ici appliqué à un modèle de coralligène.

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

Entre 2016 et 2021, **118 modèles photogrammétriques correspondant à 62 sites géographiques** ont été réalisés dans le cadre du réseau TEMPO. Ces modèles 3D sont consultables en ligne via la plateforme cartographique MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr/>) dans les projets « TEMPO » (modèles des sites d'herbier) et « MODEL » (celui-ci permet de visualiser l'ensemble des sites modélisés en 3D par Andromède Océanologie (épave, coralligène, herbier, récifs artificiels).

D'après notre étude de comparaison entre les méthodes de télémétrie acoustique et de photogrammétrie réalisée sur les données 2016-2020 (Andromède, 2020<sup>1</sup>), la photogrammétrie semble la méthode à privilégier pour la cartographie des limites inférieures d'herbiers car elle est adaptée à quasiment toutes les typologies de limites inférieures, à toutes les natures de substrat et tailles de zone d'étude.

*Publication(s) scientifique(s) associée(s) :*

Marre, G., Holon, F., Luque, S., Boissery, P., & Deter, J., 2019. Monitoring marine habitats with photogrammetry : a cost-effective, accurate, precise and high-resolution reconstruction method. *Frontiers in Marine Science*, 6, 276.

Marre, G., Deter, J., Holon, F., Boissery, P., & Luque, S., 2020. Fine-scale automatic mapping of living *Posidonia oceanica* seagrass beds with underwater photogrammetry. *Marine Ecology Progress Series*, 643, 63-74.

<sup>1</sup> ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2020. Acquisitions photogrammétriques 2018 – 2019 et développements méthodologiques. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 136 p.



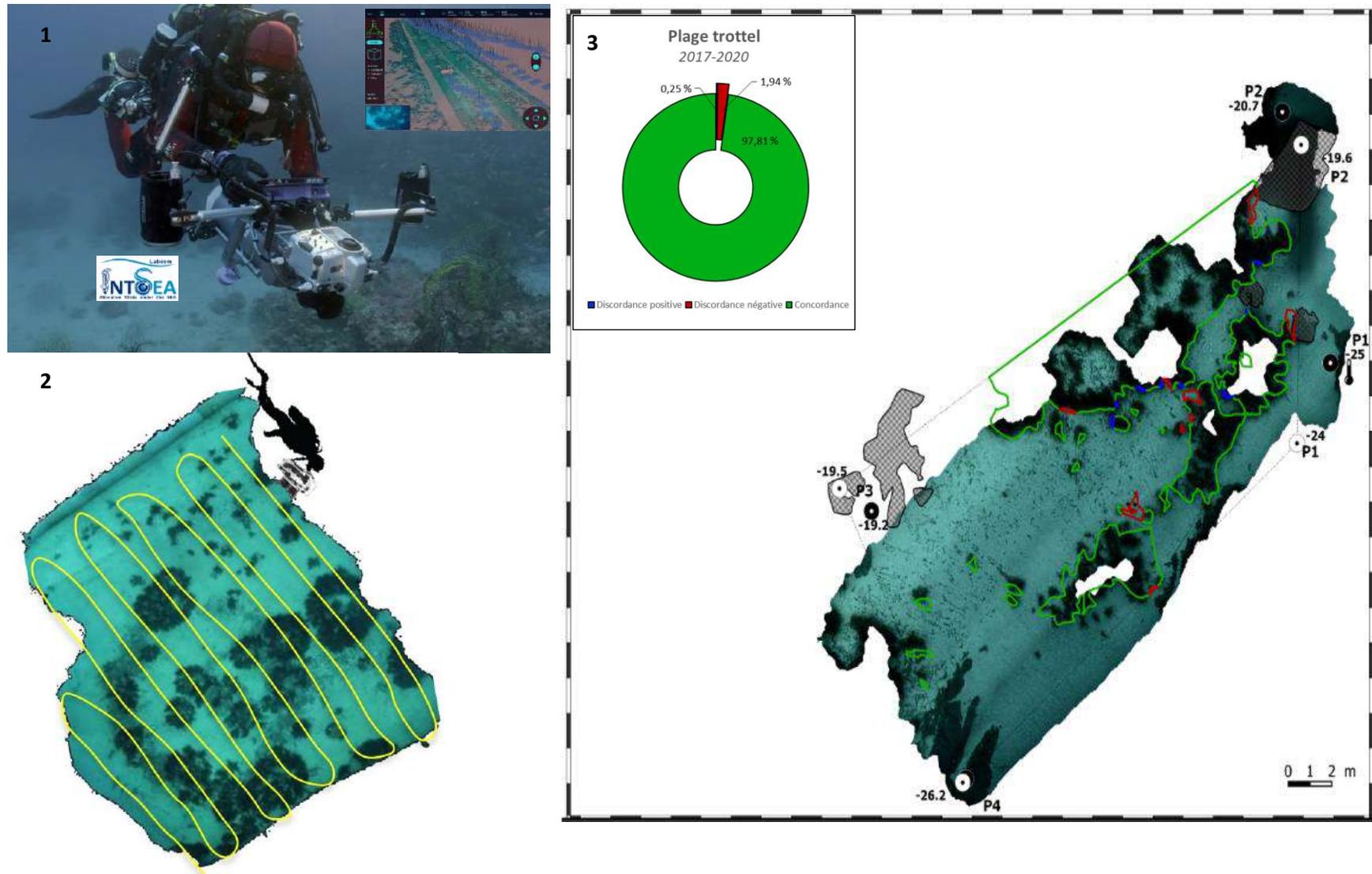
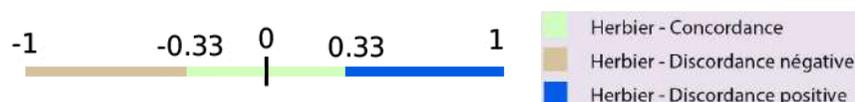


Figure 14 : [1] Appareil d'acquisition photogrammétrique ; [2] Exemple de trajectoires d'acquisition des photos sur un herbier ; [3] Dynamique évolutive de l'herbier à posidonie entre 2017 et 2020 sur un site cartographié à partir de la photogrammétrie.

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

$$IE = (\text{Surface de discordance positive} - \text{Surface de discordance négative}) / (\text{Surface de discordance positive} + \text{Surface de discordance négative})$$

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



### III.B.4. Indicateur développé pour évaluer l'état écologique des sites en limite inférieure

Grâce aux données microsufaciques et ponctuelles (mesures de vitalité) nous calculons pour chaque site un **indicateur de dynamique évolutive de l'herbier en limite inférieure** qui prend en compte l'évolution de la densité de faisceaux (en %) et la dynamique microsufacique de l'herbier (% de régression et/ou de progression) entre chaque suivi sur un même site. Il est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Indicateur de dynamique évolutive de l'herbier en limite inférieure} = (\text{EQR'dens} + \text{EQR'prog} + \text{EQR'rég}) / 3$$

**Avec :**

EQR'dens = (100 - % baisse de densité) ou (% augmentation de densité / Ref dens\*100) ;

EQR'prog = (% progression / Ref prog\*100) ;

EQR'rég = (100 - % régression)

% correspond au pourcentage d'augmentation ou de baisse de la densité de faisceaux et au pourcentage de surface d'herbier en progression ou en régression (sur la base de la cartographie fine), obtenus sur le site entre deux suivis.

**Ref** correspond à la valeur de référence soit la valeur maximale pour le pourcentage d'augmentation de densité de faisceaux (Ref dens) et pour le pourcentage de progression (Ref prog) observée dans les données TEMPO en limite inférieure, tous suivis confondus depuis 2011 (Ref dens = 70 % et Ref prog = 55 %) (A la date du 31 Août 2020).

2 « Atlas de synthèse – Année 2020. Surveillance biologique et qualité des eaux de Méditerranée. Edition Andromède Océanologie & Agence de l'eau RMC. 120 p. »

Pour les sites où certaines données sont manquantes car non acquises (ex : sur les sites secondaires dont le suivi temporel est de six ans) ou non comparables (ex : faisceaux isolés ne permettant pas d'évaluer un % de régression ou un % de progression), l'état de la dynamique évolutive de l'herbier sur le site est évalué sur la base de notre expertise. **En 2021, aucun site n'est dans ce cas.** Pour ne pas dévaluer les scores des limites inférieures en très faible progression et/ou stables, seules les valeurs d'augmentation de densité > à 15 % sont considérées pour les herbiers en progression de densité. En dessous de cette valeur, l'herbier est considéré comme stable et la formule liée à la baisse densité est appliquée (valeur de 0 dans ce cas). Autrement dit, une valeur de hausse de densité comprise entre 0 et 15 équivaut à une valeur de baisse de densité égale à 0. **En 2021, l'herbier du site Frioul est dans ce cas.**

L'indicateur de dynamique évolutive de l'herbier (relevé en limite inférieure) est un des trois indicateurs avec l'indicateur de vitalité (relevé à la profondeur intermédiaire) et l'indicateur surfacique à l'échelle de la masse d'eau, qui permet d'évaluer l'état écologique de l'herbier. Cet état écologique, combiné à un état de fonctionnement et à un état pressions, permet d'évaluer la qualité de l'écosystème herbier de posidonie dans une masse d'eau côtière. Cette méthodologie a été développée par Andromède Océanologie, en partenariat avec l'Agence de l'eau, lors de l'élaboration de l'Atlas de synthèse 2020 sur la Surveillance biologique et la qualité des eaux de Méditerranée.<sup>2</sup>

Une première grille d'interprétation de l'état écologique de l'herbier en fonction de la valeur de l'indicateur de dynamique évolutive de l'herbier en limite inférieure a été proposée par Andromède en 2020 pour l'[atlas cartographique](#).

Tableau 4 : Grille d'interprétation de l'état écologique de l'herbier en fonction de la valeur de l'indicateur de dynamique évolutive de l'herbier en limite inférieure

Indicateur de dynamique évolutive de l'herbier en limite inférieure	Etat de l'herbier	Score
80-100	Très bon	5
61-80	Bon	4
41-60	Moyen	3
21-40	Médiocre	2
0-20	Mauvais	1



Remarque 1: pour faciliter la comparaison avec les suivis antérieurs, nous conservons les valeurs de référence *Ref dens* et *Ref prog* utilisées pour l'[atlas cartographique](#) (*Ref dens* = 70 % et *Ref prog* = 55 %). Elles seront mises à jour lors de la prochaine édition de l'atlas prévue en 2023.

Remarque 2: La grille d'interprétation de l'état écologique de l'herbier en fonction de la valeur de l'indicateur de dynamique évolutive de l'herbier en limite inférieure évoluera dans le temps au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances et de l'acquisition de nouvelles données. Elle sera mise à jour lors de la prochaine édition de l'[atlas cartographique](#) prévue en 2023.

### III.C.Méthodes et paramètres d'analyse sur les sites TEMPO localisés à la profondeur intermédiaire

Sur chaque site à la profondeur intermédiaire, les coordonnées GPS sont relevées à partir du bateau. Elles correspondent à celles du thermomètre posé simultanément que le relevé des informations liées à la caractérisation de l'état écologique de l'herbier. Le plongeur note alors la date d'acquisition des données, la température de l'eau, la visibilité, la nature du fond, et la profondeur. Il relève les pressions observées sur le site.

Selon les années et les sites, différents protocoles sont appliqués sur les sites géographiques afin de caractériser les herbiers à *Posidonia oceanica* à la profondeur intermédiaire :

- **PREI (Gobert et al., 2009a)** : entre 2014 et 2021, le protocole PREI a été appliqué sur 18 sites géographiques, à 47 reprises.

- **BiPo (Biotic Index using *Posidonia oceanica*)** (Lopez y Royo et al., 2010) : entre 2015 et 2021, le protocole BiPo a été appliqué sur 49 sites géographiques, à 108 reprises.

- **EBQI (Ecosystem-Based Quality Index)** (Personnic et al., 2014) : entre 2015 et 2020, le protocole EBQI a été appliqué sur 49 sites géographiques, à 96 reprises.

**En 2021, les protocoles PREI et BiPo ont été appliqués.** Pour chacun de ces protocoles, le suivi de l'état de santé des herbiers à *P. oceanica* à -15m se fait au moins en **plongée sous-marine**. Pour le PREI, des prélèvements de faisceaux ou de feuilles sont analysés **au laboratoire d'Andromède Océanologie**, à Mauguio (Hérault). Andromède Océanologie se

charge chaque année d'effectuer les demandes de dérogation auprès des DREAL pour prélever les faisceaux d'herbier.

#### III.C.1. Indice PREI

En France, l'**indice PREI** (*Posidonia Oceanica* Rapid Easy Index, Gobert et al., 2009b) est utilisé pour surveiller l'état de santé de la posidonie *Posidonia oceanica* selon les exigences imposées par la DCE. Il est reconnu comme index de référence dans l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement paru au journal officiel du 24 février 2010.

*Publication(s) scientifique(s) associée(s) :*

Gobert, S., Sartoretto, S., Rico-Raimondino, V., Andral, B., Chery, A., Lejeune, P., Boissery, P., 2009. Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin* 58, 1727–1733.

Gobert, S., Lefebvre, L., Boissery, P., & Richir, J. 2020. A non-destructive method to assess the status of *Posidonia oceanica* meadows. *Ecological Indicators*, 119, 106838.

Sartoretto Stéphane. 2007. Soutien méthodologique à la mise en œuvre de la Directive Cadre Eau (item *Posidonie*) : Validation du protocole de calcul de l'EQR dans les écorégions Languedoc-Roussillon et Provence Côte d'Azur.

Selon ce protocole, cinq métriques sont mesurées au niveau de deux secteurs caractéristiques de l'herbier : la limite inférieure (site TEMPO existant) et la profondeur intermédiaire :

- Type et profondeur de la limite inférieure : La profondeur de la limite d'extension la plus profonde est mesurée par les plongeurs à l'aide d'un profondimètre (une dizaine de mesures espacées de 1 à 5 m sont réalisées). Cinq types de limite sont considérés : progressive (P), franche – fort recouvrement (F+), franche – faible recouvrement (F-), clairsemée (C), Régressive (R).

*Ces données sont recueillies sur les sites TEMPO localisés en limite inférieure au droit de ceux à la profondeur intermédiaire.*

- Surface foliaire : La surface foliaire (SF) est calculée sur 20 faisceaux orthotropes de posidonies prélevés à la profondeur intermédiaire. Au laboratoire, les faisceaux sont détachés des rhizomes, les feuilles sont dénombrées, classées en fonction de leur âge pour chaque faisceau, et mesurées (longueur totale, largeur). On distingue trois âges :

-  Feuille adulte dont la longueur est supérieure à 5 cm et qui présente une ligule (marque blanche en forme de demi-lune visible entre le limbe et la gaine) ;
-  Feuille intermédiaire dont la longueur est supérieure à 5 cm ;
-  Feuille juvénile dont la longueur est inférieure à 5 cm.

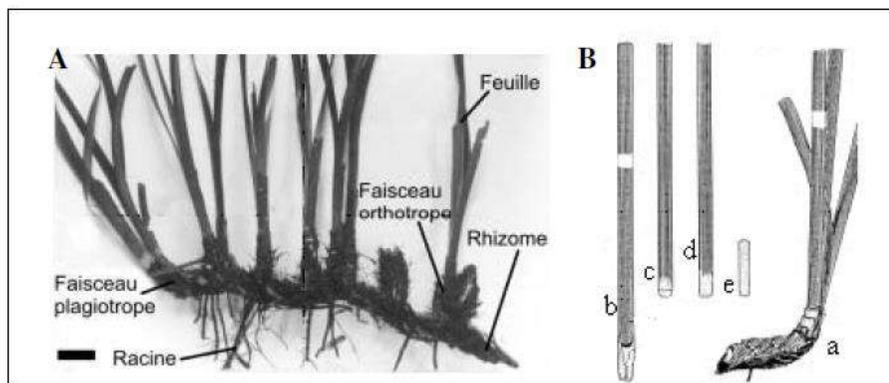


Figure 15: Illustration (A) de rhizomes et faisceaux de posidonie d'après Boudouresque et Meinesz (1982) et (B) de différents types de feuilles : (a) faisceau entier, (b) et (c) feuille adulte, (d) feuille intermédiaire et (e) feuille juvénile d'après Boudouresque (original).

Sur la base de ces données biométriques, la surface foliaire de chaque faisceau, exprimée en cm<sup>2</sup>.faisceau, est calculée à l'aide de la formule suivante (Pergent- Martini *et al.*, 1994) :

$$SF = (\text{somme des longueurs des feuilles intermédiaires} \times \text{moyenne des largeurs des feuilles intermédiaires}) + (\text{somme des longueurs des feuilles} \times \text{moyenne des largeurs des feuilles adultes})$$

Ces données sont recueillies sur les sites TEMPO localisés à la profondeur intermédiaire.

- Charge épiphytaire : La charge épiphytaire des feuilles est calculée sur les 20 faisceaux orthotropes de posidonies prélevés à la profondeur intermédiaire (Dauby and Poulicek, 1995). Au laboratoire, chaque feuille est grattée afin de retirer l'ensemble des épiphytes. Les feuilles et les épiphytes d'un même faisceau sont mis à sécher séparément à 70°C pendant 48h puis pesés au milligramme près. Le ratio épiphytes/feuilles par faisceau est calculé de la manière suivante :

$$E/L = \text{poids sec des épiphytes d'un faisceau} / \text{poids sec des feuilles du même faisceau}$$

Ces données sont recueillies sur les sites TEMPO localisés à la profondeur intermédiaire.

- Densité de faisceaux : La densité des faisceaux (nombre de faisceaux de feuilles vivantes par m<sup>2</sup>) est calculée dans 20 quadrats de 40 x 40 cm jetés au hasard d'une hauteur de 1,5 m sans éviter les taches de sable. Une grille de lecture simplifiée intégrant la profondeur a été proposée (Pergent-Martini and Pergent, 2010, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Nous complétons également avec une autre grille d'interprétation (G. Pergent *et al.*, 1995, Tableau 2). Ces données sont recueillies sur les sites TEMPO localisés à la profondeur intermédiaire.



Figure 16 : [1] Plongeur prélèvement des faisceaux à -15m ; [2-4] Analyse des faisceaux au laboratoire.



- Indice de qualité écologique : Le protocole PREI permet de calculer un indice de qualité écologique EQR (Ecological Quality Ratio) basé sur les cinq paramètres définis précédemment ; il se calcule de la manière suivante :  $EQR = (EQR' + 0.11) / (1 + 0.11)$

Avec  $EQR' = (N \text{ densité} + N \text{ surface foliaire} + N (E/L) + N \text{ limite inférieure}) / 3.5$

$N \text{ densité} = \text{valeur mesurée} - \text{valeur de la classe rouge} / \text{valeur de référence} - \text{valeur de la classe rouge}$  ;

$N \text{ surface foliaire} = \text{valeur mesurée} - \text{valeur de la classe rouge} / \text{valeur de référence} - \text{valeur de la classe rouge}$  ;

$N (E/L) = [1 - (E/L)] * 0,5$

$N \text{ limite inférieure} = (\text{valeur mesurée} - \text{valeur de la classe rouge}) / (\text{valeur de référence} - \text{valeur de la classe rouge})$  ;

A cette valeur mesurée sous l'eau on ajoute 3 si la limite est progressive, on soustrait 3 si la limite est régressive, on garde la valeur de profondeur mesurée sous l'eau si la limite est stable.

Tableau 5 : Valeurs de référence des paramètres pour les régions Corse et PACA (Gobert et al., 2009a) et Valeurs de la classe rouge des paramètres pour ces régions (Gobert, 2013). Les valeurs de Languedoc proviennent de la campagne DCE 2009 (Ifremer/AERMC) et du rapport de Sartoretto, 2007<sup>3</sup>

Région	Valeurs limites	Profondeur	Densité	Surface foliaire
PACA	Référence	34	675	465
	Classe Rouge	12	0	0
CORSE	Référence	41	483	546
	Classe Rouge	17	0	0
OCCITANIE	Référence	15	983	295
	Classe Rouge	1	0	0

<sup>3</sup> Sartoretto Stéphane. 2007. Soutien méthodologique à la mise en œuvre de la Directive Cadre Eau (item Posidonie) : Validation du protocole de calcul de l'EQR dans les écorégions Languedoc-Roussillon et Provence Côte d'Azur

L'interprétation des valeurs des EQR issues de l'indice **BiPo** est réalisée d'après la grille de diagnostic suivante.

Tableau 6 : Grille de diagnostic pour l'herbier à *P. oceanica* en fonction des valeurs de l'EQR (Ecological Quality Ratio) issues des indices PREI ou BiPo.

	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon
--	---------	----------	-------	-----	----------

### III.C.2. Indice BiPo

L'**indice BiPo** a été développé par Lopez y Royo (2010) sur la base de l'ensemble des données de surveillance de *P. oceanica* disponibles en Méditerranée occidentale et sur la base d'une évaluation homogène des pressions anthropiques. Le BiPo permet de déterminer le statut écologique de chaque site en prenant en compte quatre paramètres basés sur la santé de la plante *P. oceanica* elle-même :

Publication(s) scientifique(s) associée(s) :

Lopez y Royo, C., Casazza, G., Pergent-Martini, C., Pergent, G., 2010. A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecological Indicators* 10, 380–389.

- Type et profondeur de la limite inférieure : La profondeur de la limite d'extension la plus profonde est mesurée par les plongeurs à l'aide d'un profondimètre (une dizaine de mesures espacées de 1 à 5 m). Cinq types de limite sont considérés : progressive (P), franche – fort recouvrement (F+), franche – faible recouvrement (F-), clairsemée (C), Régressive (R).

Tableau 7 : Type de limite inférieure et EQR associé pour le calcul du BIPO.

Type de limite	Description	EQR
Progressive (P)	Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite	1,00
Franche - fort recouvrement (F+)	Limite franche avec un recouvrement > 25%	0,89
Franche - faible recouvrement (F-)	Limite franche avec un recouvrement < 25%	0,66
Clairsemée (C)	Recouvrement < 15% et densité < 100 faisceaux.m <sup>-2</sup>	0,44
Régressive (R)	Présence de mattes mortes en avant de la limite	0,21

Ces données sont recueillies sur les sites TEMPO localisés en limite inférieure au droit de ceux à la profondeur intermédiaire.

- **Densité de faisceaux** : La densité des faisceaux (nombre de faisceaux de feuilles vivantes par m<sup>2</sup>) est calculée dans 20 quadrats de 40 x 40 cm.

Ces données sont recueillies sur les sites TEMPO localisés à la profondeur intermédiaire.

- **Longueur des feuilles** : 20 mesures espacées de 1 à 5 m sont réalisées sur l'herbier.

Ces données sont recueillies sur les sites TEMPO localisés à la profondeur intermédiaire.



Figure 17 : [1] Plongeur mesurant la longueur des feuilles ; [2] Plongeur évaluant la densité de faisceaux dans un quadrat de 40 x 40 cm

- **Indice de qualité écologique** : Basé sur les quatre paramètres précédents, le protocole BiPo permet de calculer un indice de qualité écologique EQR (Ecological Quality Ratio) interprété selon une grille de diagnostic (Figure 3, Lopez y Royo, 2010) qui est identique à celle utilisée pour le PREI :

Tableau 8 : Grille de diagnostic pour l'herbier à P. oceanica en fonction des valeurs de l'EQR (Ecological Quality Ratio) issues des indices PREI ou BiPo.

	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon
--	---------	----------	-------	-----	----------

Tableau 9 : Paramètres et valeurs de référence utilisées pour l'indice BiPo. Densités et longueurs de feuilles sont mesurées à - 15 m. D'après Lopez Y Royo et al. 2010.

Class		RC	High	Good	Moderate	Poor	Bad <sup>(3)</sup>
Lower Limit Depth	Values (m)	36	> 31	21 - 25	25 - 19	< 16	n/a
	EQR <sup>(1)</sup>	1	$((X - 31)/7) * 0.225 + 0.775$	$((X - 25)/8) * 0.225 + 0.55$	$((X - 19)/6) * 0.225 + 0.325$	$((X - 16) * 0.225) + 0.1$	0.05
Lower Limit Type	Values	n/a	progressive & erosive limits	sharp limits	sparse limits	Regressive limits	n/a
	Supporting parameters <sup>(1)</sup>		>70%cover or >70%plagio	<70% cover & <70% plagio	<15% cover, %plagio n/a	recent dead mat	n/a
Shoot Density	Values (shoots.m <sup>2</sup> )	600	> 306	306 - 230	230 - 172	< 172	n/a
	EQR <sup>(1)</sup>	1	$((X - 330)/280) * 0.225 + 0.775$	$((X - 230)/100) * 0.225 + 0.55$	$((X - 172)/87) * 0.225 + 0.325$	$((X - 172) * 0.225) + 0.1$	0.05
Shoot length <sup>(2)</sup>	Values	955	> 612	612 - 551	551 - 491	< 491	n/a
	EQR <sup>(1)</sup>	1	$((X - 812)/143) * 0.225 + 0.775$	$((X - 651)/161) * 0.225 + 0.55$	$((X - 481)/170) * 0.225 + 0.325$	$((X - 470) * 0.225) + 0.1$	0.05

(RC: reference conditions)

((1) % cover and % plagiotropic rhizomes (plagio) are used to support characterisation of lower limit types)

((2) in cases of sampling constraints or historical data, boundary values determined for the late summer can be adopted to early summer or spring, by normalising them against shoot length reference conditions. Reference conditions for shoot length are 890mm for spring (April-May), 996mm for early summer (June), and 1102mm for full summer (July))

((3) Bad Status corresponds to a recorded recent die-off of the meadow (< 5 years))



### III.D. Présentation des résultats

Ce présent rapport détaille une fiche par masse d'eau comprenant la description du (des) site(s) TEMPO échantillonné(s) en limite inférieure puis du (des) site(s) TEMPO échantillonné(s) à la profondeur intermédiaire de - 15 m en 2021.

Ces fiches intègrent les éléments suivants :

- Des photographies de l'**herbier** ;
- Des photographies du **capteur de température** ;
- Les photographie **d'espèces** particulières observées, de **pressions** ou tout autre élément remarquable ;
- Une carte présentant la **cartographie du site d'herbier** réalisée en 2021 par photogrammétrie (pour les sites en limite inférieure d'herbier) ;
- Une carte intégrant la **dynamique évolutive de l'herbier sur le site** entre 2018 et 2021 réalisée à partir des données photogrammétriques (pour les sites en limite inférieure d'herbier) ;
- Des **tableaux** détaillant les valeurs des paramètres et les indices écologiques calculés. Chacun de ces paramètres est associé à un curseur imagé remplaçant la valeur observée dans le contexte national (valeurs minimale, maximale et moyenne observées en Méditerranée sur tous les sites TEMPO échantillonnés entre 2011-2021 pour la limite inférieure & entre 2014-2021 pour la profondeur intermédiaire). A savoir qu'à partir de quatre valeurs, le curseur correspondant à la valeur (pour un paramètre souhaité) n'apparaît plus sur le tableau de comparaison.

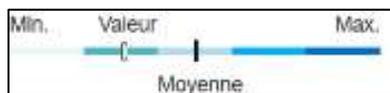


Figure 18 : Légende du curseur imagé associé à chaque paramètre détaillé. Comparaison aux valeurs minimale, moyenne et maximale calculées sur l'ensemble des stations d'une région. Chaque couleur correspond à un cinquième de l'étendue des valeurs observées pour le paramètre concerné.

Remarque : Les valeurs minimales et moyenne du PREI et du BiPo peuvent être sous-estimées. Si des données ne sont pas acquises (=NA) elles se changent automatiquement en 0 dans le tableau de comparaison (voir tableau ci-joint).

Valeur BiPo (Pi)	0	0.8	0.62	0	0.84
				0.56	
Valeur PREI (Pi)	0.66	0.63	0.57	0	0.64
				0.27	
Valeur EBQI (Pi)	0	6.00	4.38	0	6.95
				4.58	

Tableau 10: Tableau de synthèse disponible pour chaque site en limite inférieure.

Valeur EQR LI	EQR du site en limite
Type de limite inférieure	Type : 1: Régressive ; 2: clairsemée ; 3: franche - ; 4: franche + ; 5: progressive
EQR' Type de limite inférieure	EQR' Type de limite inférieure
Profondeur de la limite inférieure	Profondeur maximale de la limite inférieure (en m)
EQR' Profondeur de la limite inférieure	EQR' Profondeur de la limite inférieure
Densité de faisceaux (faisceaux/m <sup>2</sup> )	Densité de faisceaux (nb / m <sup>2</sup> )
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure
Déchaussement de l'herbier (cm)	Déchaussement de l'herbier en limite inférieure (en cm)

Tableau 11: Tableau de synthèse disponible pour chaque site à la profondeur intermédiaire.

Valeur EQR (LI)	EQR du site en limite
Valeur BiPo (PI)	Valeur EQR BiPo
Valeur PREI (PI)	Valeur EQR PREI
Profondeur intermédiaire du site (m)	Profondeur maximale de la limite inférieure (en m)
Profondeur de la limite inférieure (m)	Profondeur de la limite inférieure (en m)
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m <sup>2</sup> )	Densité de faisceaux à -15m (nb / m <sup>2</sup> )
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m <sup>2</sup> )	Densité de faisceaux en limite inférieure (nb / m <sup>2</sup> )
Type de limite inférieure	Type : 1: Régressive ; 2: clairsemée ; 3: franche - ; 4: franche + ; 5: progressive
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	Déchaussement de l'herbier en limite inférieure (en cm)
Longueur des feuilles à la PI (mm)	Longueur moyenne des feuilles à -15m
Surface foliaire à la PI (cm <sup>2</sup> /faisceaux)	Surface foliaire à -15m (cm <sup>2</sup> /faisceaux)
Charge épiphytaire à la PI	Charge épiphytaire à -15m

## IV. Pose de thermomètres

### IV.A. Introduction

Depuis 2013, Andromède Océanologie, avec le soutien de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse, équipe les sites de surveillance du coralligène (réseau RECOR) et des herbiers à Posidonie (réseau TEMPO) avec des capteurs de température HOBO Water Temp Pro v2. **248 capteurs** (143 capteurs RECOR et 97 capteurs TEMPO) sont en cours d'acquisition de données entre 3 et 115 mètres de fond en Méditerranée française. Ces capteurs permettent de réaliser **une mesure toutes les 30 minutes** pendant 5 ans. Leur répartition ainsi que la fréquence élevée des mesures nous permettront de produire des cartographies de température de fond et de corrélérer nos observations biologiques sur les sites TEMPO et RECOR aux variations de ce paramètre abiotique.

Ces données de température sont essentielles pour comprendre, en regard du changement climatique, les données de diversité, de répartition et d'état de santé des herbiers de Posidonie et des assemblages coralligènes observées. En effet, s'il existe plusieurs modèles prédictifs de circulation régionale (NEMOMED8 (Sevault et al. 2009), MARS3D (Lazure et al. 2008)) et des capteurs de température embarqués sur des flotteurs mobiles ([www.argo.ucsd.edu](http://www.argo.ucsd.edu)), les capteurs permanents mesurant la température de fond sont encore rares ([www.tmednet.org](http://www.tmednet.org)) et aucun réseau de mesure dense n'existait sur le littoral méditerranéen français.

### IV.B. Matériel utilisé



Les capteurs de température utilisés correspondent au modèle HOBO Water TEMP Pro v2 (figure ci-contre). Ces enregistreurs de température, étanches jusqu'à 120 mètres et immergeables, ont été paramétrés pour permettre de prendre une mesure toutes les 30 minutes.

Figure 19 : Capteur de température HOBO Water TEMP Pro v2.



Ces enregistreurs ont une résolution de 12-bit (42000 mesures), disposent d'une sonde de précision de +/-0,2 °C sur une large échelle de mesure (-20 °C à +50°C dans l'eau) et une mémoire non volatile (conserve les données en cas de pile usée). Ce matériel permet ainsi de garantir la collecte des données dans les meilleures conditions, notamment de précision de fiabilité et de durée de vie.

Chaque capteur porte une étiquette de référence incitant tout éventuel plongeur à ne pas le relever. Un étiquetage spécifique a été effectué sur ces capteurs de température : l'étiquette plastifiée mentionne le réseau de surveillance, l'année de mise en place du capteur, un numéro de téléphone et un mail de contact, et une mention « Merci de ne pas toucher au capteur ».



Figure 20 : Etiquette mise en place sur les capteurs de température posés en 2021.

## V. Résultats

**Dans le cadre du marché de la surveillance, la campagne TEMPO de l'année 2021 a été menée en région Occitanie et en région PACA Ouest sur 13 sites localisés à la profondeur intermédiaire et 12 sites en limite inférieure.**

Par ailleurs, le réseau TEMPO intègre en 2021 le suivi du site « Pin Parasol » localisé dans la masse d'eau FRDCE01 (Contrat Andromède Océanologie/réserve marine de Cerbères Banyuls). Une microcartographie de l'herbier par télémétrie acoustique ainsi que des mesures de vitalité avaient été effectuées sur ce site en 2008 (Descamp et al., 2009<sup>4</sup>). Les résultats sont intégrés à ce document.

Ce présent rapport détaille une fiche par masse d'eau comprenant la description (1) du (des) site(s) TEMPO échantillonné(s) en limite inférieure en 2012, 2015, 2018 et actualisé(s) par les données 2021 ; puis (2) du (des) site(s) TEMPO échantillonné(s) à la profondeur intermédiaire de – 15 m en 2015, 2018 et 2021 selon les sites PREI et BiPo.



Figure 21 : Herbier de posidonie ©Laurent Ballesta.

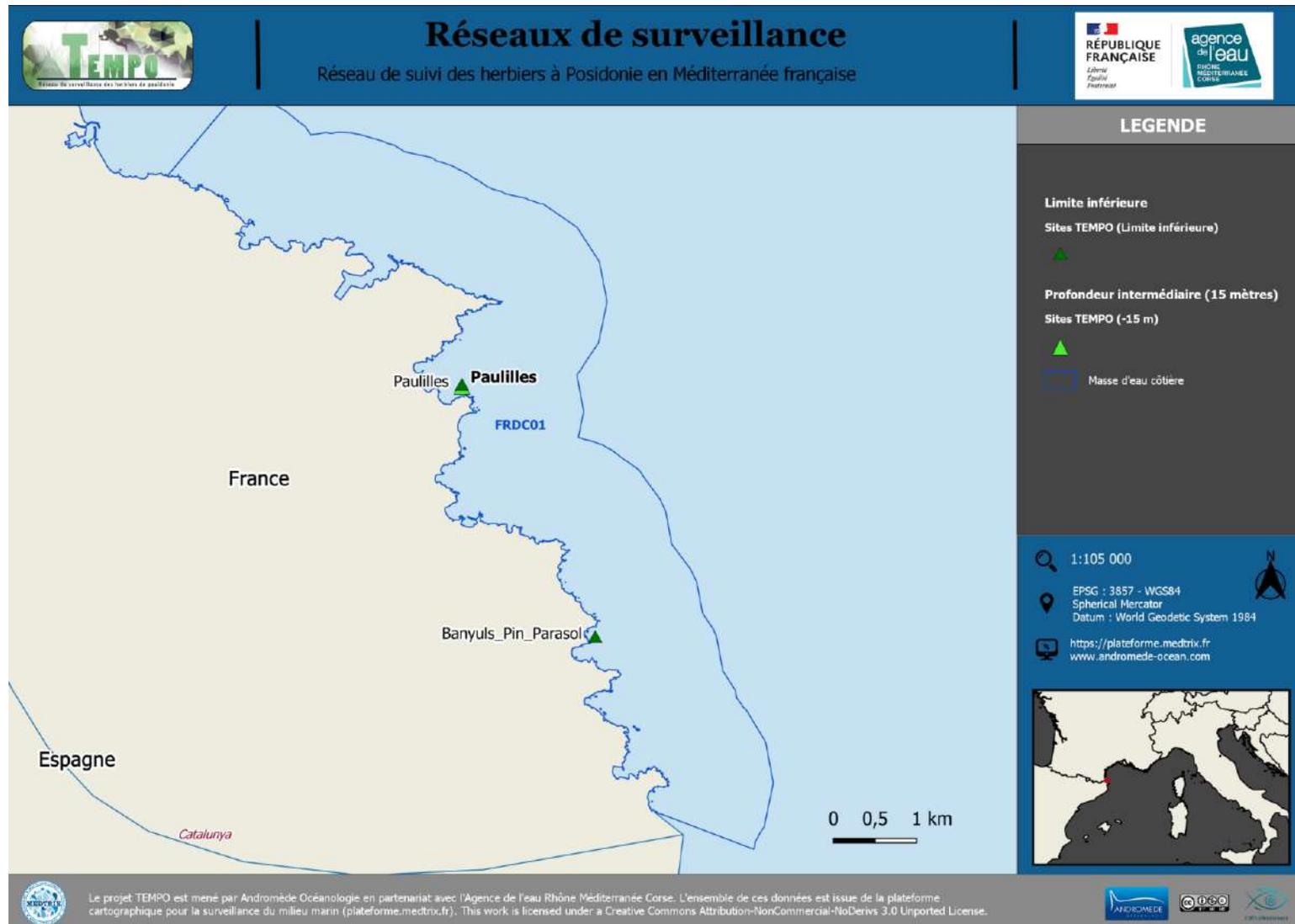
Le format des fichiers de bancarisation, rendus à part de ce rapport, est présenté en annexe.

<sup>4</sup> DESCAMP Pierre, HOLON Florian, BALLESTA Laurent, 2009 : Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières

méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE. Contrat L'Œil Andromède/Agence de l'Eau, CRLR, CRPACA. Andromède publ., Montpellier, Fr. :1-59pp. + annexes.

## V.A. Masse d'eau FRDC01

La masse d'eau FRDC01 comprend le site TEMPO **Paulilles** échantillonné en 2016, 2018 et 2021 dont la limite inférieure correspond aussi à la profondeur intermédiaire. Le site **Pin Parasol**, localisé en limite inférieure, intègre le réseau TEMPO en 2021 (Contrat Andromède Océanologie/réserve marine de Cerbères Banyuls). Une microcartographie de l'herbier par télémétrie acoustique ainsi que des mesures de vitalité avaient été effectuées sur ce site en 2008 (Descamp et al., 2009).



## V.A.1. Pin Parasol (masse d'eau FREC01ab) – Limite inférieure

a. Présentation du site

Description générale					
Température de l'eau (°C)	15				
Visibilité (m)	4 à 10 m				
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input checked="" type="checkbox"/> Matte morte	<input checked="" type="checkbox"/> Substrat rocheux	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Sable coquiller, matte morte affleurante autour des taches d'herbier, zones rocheuses				
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input checked="" type="checkbox"/> Bloc de matte arraché	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Un petit bloc de matte arraché				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...	
Remarques	(Epaisseur et couleur couche oxydée, volume et dangerosité des macrodéchets)				
Espèces particulières	Quelques clones ( <i>Cliona sp.</i> ) et codium ( <i>Codium sp.</i> ) sur les zones rocheuses, petites gorgones blanches ( <i>Eunicella singularis</i> ) sur sable coquiller, présence de rougets de sable ( <i>Mulus surmuletus</i> )				
Remarques générales					

La Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls couvre 6,5 km<sup>2</sup> entre Banyuls et Cerbère. Première réserve entièrement marine de France (1974), elle est gérée par le conseil départemental des Pyrénées-Orientales (66). Dans la continuité de la labellisation "liste verte" attribuée en 2014 à la Réserve par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN), cette distinction a été une nouvelle fois renouvelée pour cinq ans en novembre 2018. Par ailleurs, l'organisme américain « Marine Conservation Institute » a attribué à la Réserve le statut de « refuge mondial pour la mer » pour sa protection active des habitats, le maintien de la biodiversité marine et l'augmentation des populations. Seule Aire Marine Protégée de France à bénéficier de cette distinction, ce prix célèbre l'excellence en matière de conservation marine. Afin de compléter la connaissance sur les herbiers de posidonie de la Réserve, une mission de surveillance portant sur l'herbier du Pin Parasol a été lancée en 2021, dont les résultats sont présentés ici.

Le site présente une limite inférieure d'herbier franche autour de -16 m à l'Ouest, qui descend de manière discontinue jusqu'à -19 m en se dirigeant vers l'Est sous forme de taches d'herbier. Le substrat est alors formé de sable coquillé avec localement de fines ripple-marks, et de quelques zones rocheuses et de matre morte affleurantes. Des petites gorgones blanches *Eunicella singularis* sont observées.

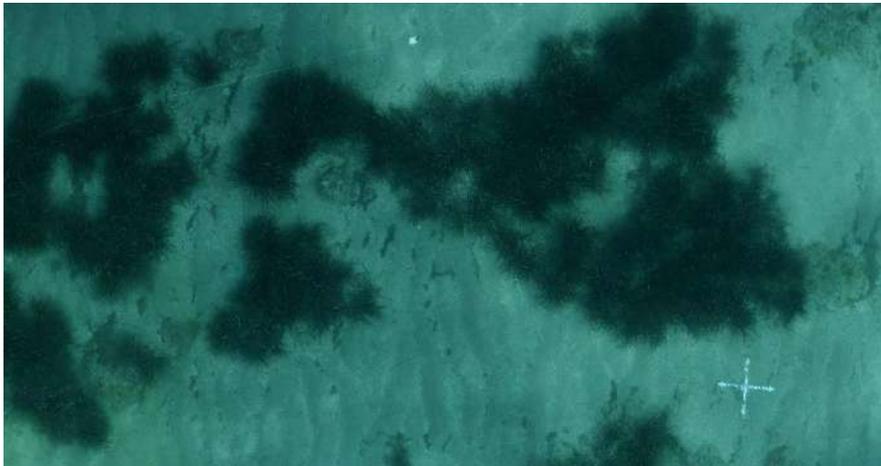


Figure 22 : Illustrations du site Pin Parasol en limite inférieure de l'herbier (2021)

a. Capteur de Température

Capteur de température	
Latitude :	42 27.756
Longitude :	3 09.755
Date de pose	02/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	10827970
Profondeur du capteur (m)	17,40
N° de piquet du quadrat	1
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	sur piquet existant, à côté balise 1

Figure 23 : Données et photo du capteur posé en 2021 en limite inférieure

b. Mesures de vitalité et comparaison régionale

La limite inférieure du site de type **franche en taches (fort recouvrement)** se situe à **-19 m**.

En 2021, les mesures de densités ont été réalisées à -17,5 m. La **densité moyenne est de 235 ± 59 faisceaux /m<sup>2</sup>**. L'herbier présente un **état normal** en 2021 d'après la classification de Pergent *et al.*, 2008 et Pergent-Martini *et al.*, 2010 et celle de Pergent-Martini (1994) et Pergent *et al.*, (1995). En 2008 (Descamp *et al.*, 2009), la densité moyenne relevée à la profondeur moyenne de -18,3 m était de **298 faisceaux /m<sup>2</sup>, traduisant un état normal de l'herbier**.

Le déchaussement de l'herbier en 2021 est faible (<5 cm), non mesuré en 2008.

**L'EQR site est assez stable (0,630 (2008) et 0,583 (2021)), et reste au-dessus de la moyenne régionale d'Occitanie sur les deux suivis.** On observe en 2021 une légère diminution du nombre de faisceaux mesurés, néanmoins le protocole était légèrement différent entre les deux suivis : en 2008, les mesures de densité ont été effectuées dans 30 quadrats de 20 x 20 cm sous forme de trois réplicats sur 10 stations alors qu'en 2021 les 30 quadrats de 20 x 20 cm ont été réalisés sur l'ensemble du site. Le site conserve un **bon état écologique entre 2008 et 2021**.

Tableau 12 : Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	Occitanie	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende
Masse d'eau cotière	FRDC01	FRDC01	
Nom du site	Banyuls Pin Parasol	Banyuls Pin Parasol	
Année	2008	2021	
Valeur EQR LI	0.63	0.58	0.3 — 0.63 0.49
Type de limite inférieure	4	4	2 — 4 2.87
EQR' Type de limite inférieure	0.89	0.89	0.44 — 0.89 0.63
Profondeur de la limite inférieure	18.3	19	5 — 19 10.37
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.32	0.33	0.16 — 0.33 0.22
Densité de faisceaux (faisceaux/m <sup>2</sup> )	298	234	40 — 662 290.13
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.68	0.53	0.15 — 1.05 0.61
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	0	-2 — 2 -0.2

c. Perturbations observées

Aucune perturbation (biologique ou pollution) n'a été recensée en 2021. Notons la présence d'un petit bloc de matre arraché mais à côté du site.

d. Données historiques

Un suivi en limite inférieure par balises type RSP a été mis en place en 1989. Le balisage a failli être perdu en 1997 où il a été reconstitué à partir de deux balises, les autres ayant disparu. En 2006 l'ensemble des balises avaient été remis en état, pourtant lors du dernier suivi en 2008 elles étaient dégradées, témoignant du fort hydrodynamisme présent dans cette anse. En 2021, seules deux balises existantes (balises 1 et 11) ont été retrouvées.

Le site a été cartographié par télémétrie acoustique en 2008 (Descamp et al., 2009) :

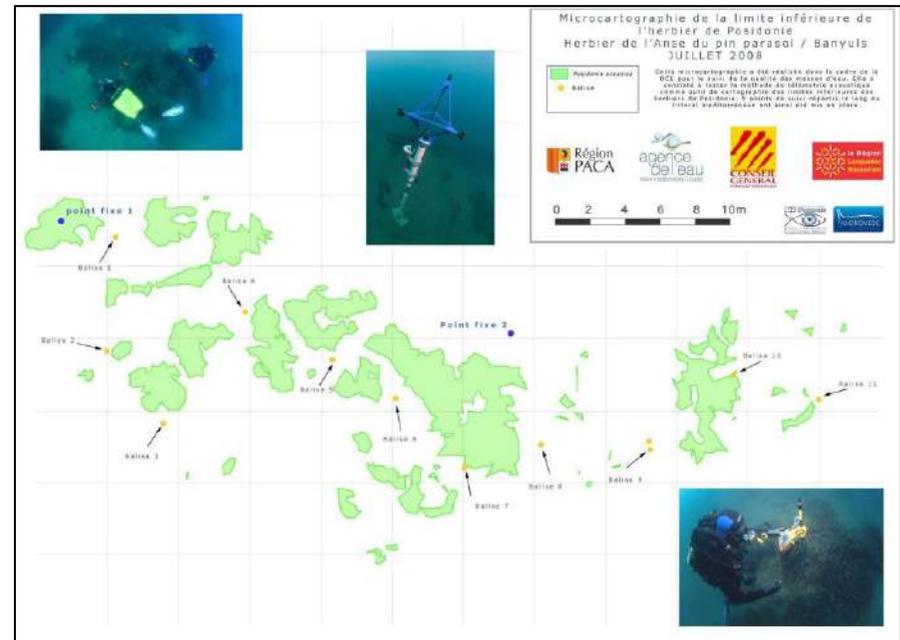


Figure 24 : Cartographie de l'herbier réalisée en 2008 par télémétrie acoustique.

a. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2008-2021, on observe sur ce site 18,47 % de discordance positive, 28,34 % de discordance négative et 53,19 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,21) indique un herbier stable, avec une tendance régressive localement.**

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2008 et 2021.

Tableau 13 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende	
Masse d'eau côtière	FRDC01		
Nom du site	Banyuls Pin Parasol		
Période d'évolution	2008-2021		
% Discordance positive	18	15	51
% Discordance négative	28	0	28
% Concordance	53	33	73
Surface comparée (m²)	65	4	65

Le modèle 3D du site Pin Parasol en 2021 a été généré suite à l'acquisition de **4022 photographies** prises sous l'eau lors de deux plongées. **La surface totale du modèle réalisé en photogrammétrie est de 910 m².**

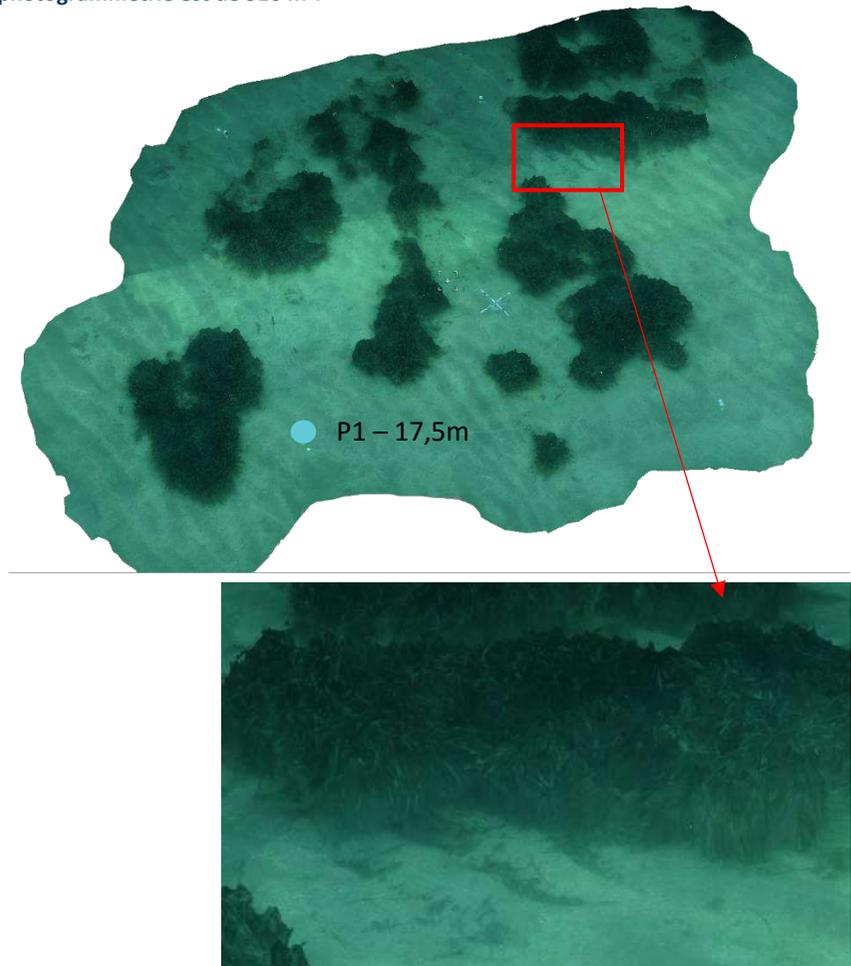


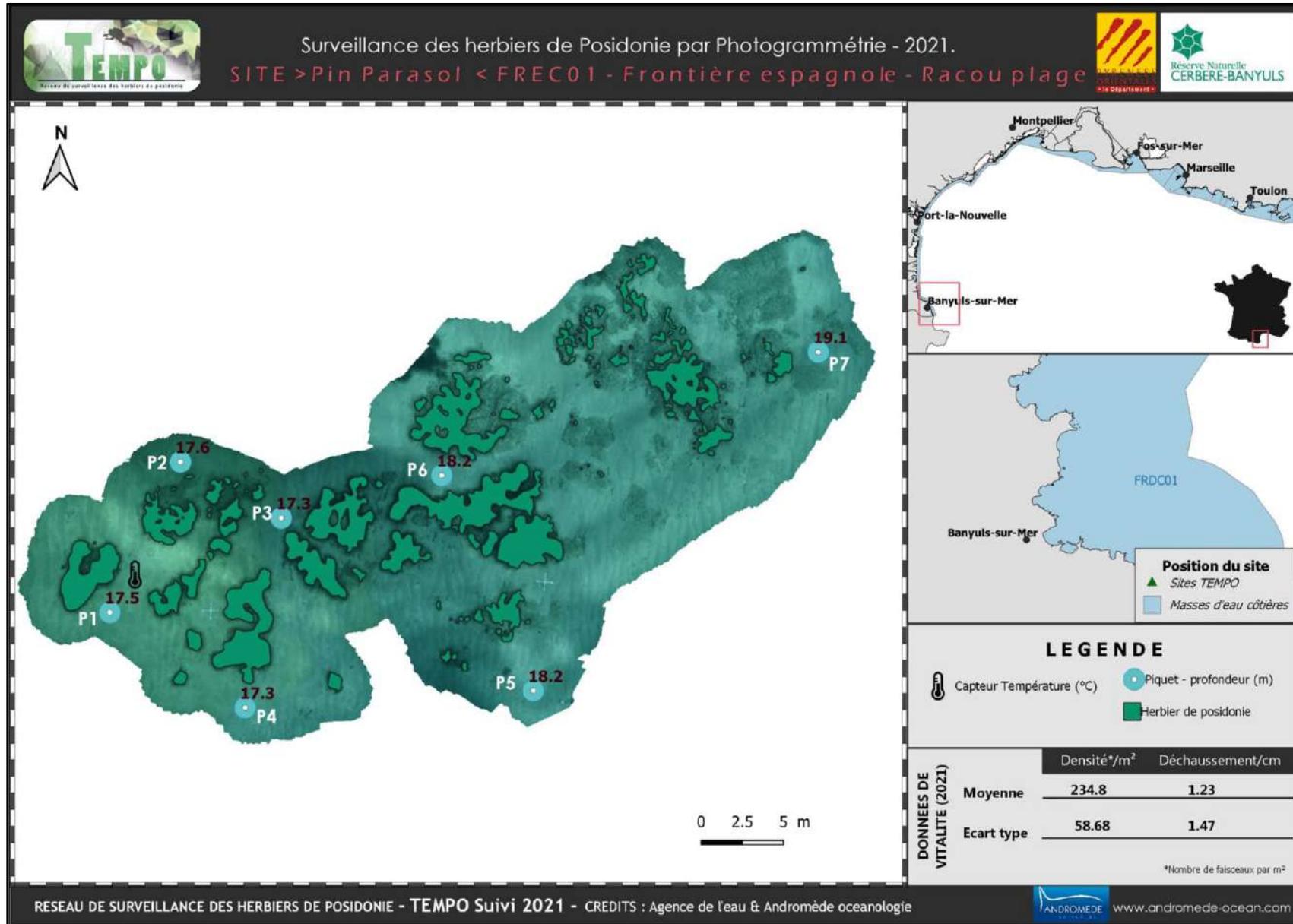
Figure 25 : Vue globale et vue zoomée du site partie Ouest (correspondant à l'encart en rouge) reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.

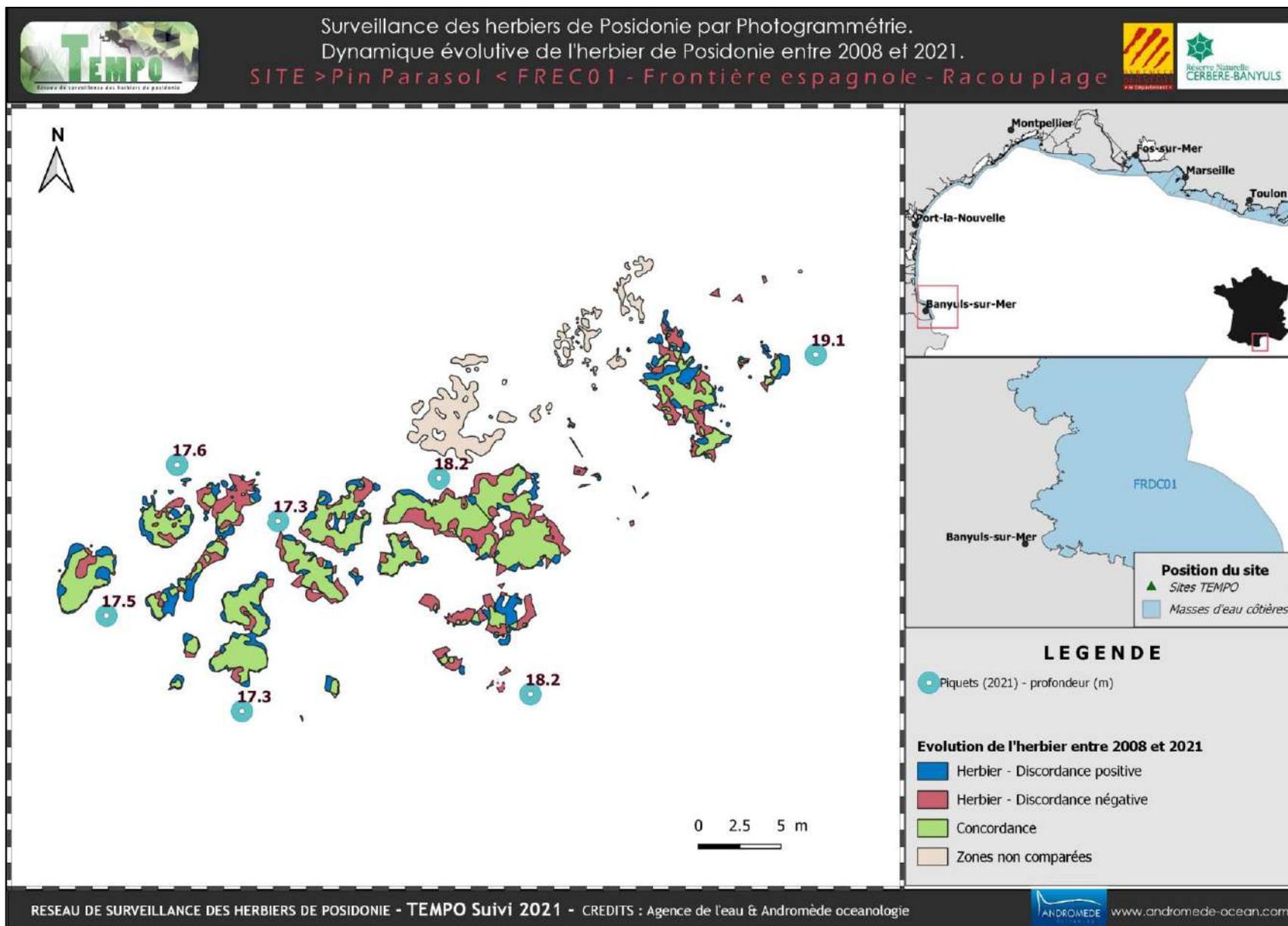




Figure 26 : Vue globale et vue zoomée du site partie Est (correspondant à l'encart en rouge) reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive entre 2008 et 2021.





## V.A.2. Paulilles (masse d'eau FRDC01) – Limite inférieure et Profondeur intermédiaire

b. Présentation du site

Description générale					
Température de l'eau (°C)	15				
Visibilité (m)	4				
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input checked="" type="checkbox"/> Sable fin	<input checked="" type="checkbox"/> Matte morte	<input checked="" type="checkbox"/> Substrat rocheux	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Herbier en taches sur matte morte, sables grossier et fin, grosses ripples marks, entre massifs rocheux couverts d'algues et d'éponges <i>Codium sp.</i>				
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> <i>Caulerpa cylindracea</i>	<input type="checkbox"/> <i>Caulerpa taxifolia</i>	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> <i>Womersleyella setacea</i>	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Perturbations physiques	<input checked="" type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Grosse ancre de 80 cm posée sur massif rocheux, récente (pas colonisée) avec chaîne dans massifs rocheux, sable mais pas dans l'herbier				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macro-déchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...	
Remarques					
Espèces particulières					
Remarques générales	Herbier en taches sur un peu de matte morte, sables grossiers et fins, grosses ripples marks entre les massifs rocheux Crénilabres paon ( <i>Symphodus tinca</i> ), girelles ( <i>Coris julis</i> ), mendoles ( <i>Spicara maena</i> ), nombreux holothuries ( <i>Holothuria sp.</i> ). Dans herbier présence de bryozoaires Dentelles de Neptune et roses de mer ( <i>Reteporella sp.</i> , <i>Pentapora fascialis</i> ), étoiles de mer ( <i>Ophidiaster ophidianus</i> ), un spirographe ( <i>Sabella spallanzanii</i> )				



Le site est localisé dans la masse d'eau FRDC01, entre Port-Vendres et Banyuls sur mer, dans l'anse de Paulilles.

L'herbier se développe sur un fond de matre morte & sables grossiers et fins, grosses ripples marks entre les massifs rocheux. On note la présence d'une barrière rocheuse hébergeant beaucoup d'algues dont des *Codium*. En aval des dernières taches d'herbier, situées à -14 mètres, le fond est composé de sable grossier à ripple-marks.

Le quadrat de délimitation de l'herbier à Posidonie est composé de quatre piquets permanents : un sur la barrière rocheuse à -15,4 m et trois dans le sable en limite d'herbier entre -14,5 et -15,4 m.

#### c. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	42 30,137
Longitude :	3 07,991
Date de pose	02/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	10710102
Profondeur du capteur (m)	14,5
Paramétrage	1 mesure toutes les 60 minutes
Description de la zone	En limite herbier dans le sable grossier sur piquet 1



Figure 27 : Données et photos du capteur posé en 2021 en limite inférieure.

#### d. Mesures de vitalité et comparaison régionale – Limite inférieure

Tableau 14 : Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende
Masse d'eau cotière	FRDC01	FRDC01	FRDC01	FRDC01	
Nom du site	Paulilles	Paulilles	Paulilles	Paulilles	
Année	2012	2016	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.36	0.47	0.44	0.47	0.3 ——— 0.58 0.48
Type de limite inférieure	3	3	3	3	2 ——— 4 2.8
EQR' Type de limite inférieure	0.66	0.66	0.66	0.66	0.44 ——— 0.89 0.62
Profondeur de la limite inférieure	14.5	14.5	14.5	14.5	5 ——— 19 10.33
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.27	0.27	0.27	0.27	0.16 ——— 0.33 0.22
Densité de faisceaux (faisceaux/m <sup>2</sup> )	40	215	188	218	40 ——— 662 290.13
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.15	0.47	0.38	0.48	0.15 ——— 1.05 0.61
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	0	1	2	-2 ——— 2 -0.2

La limite inférieure **franche en taches de faible recouvrement** se situe à **14-14,5 m** de profondeur.

A -14 mètres, la **densité moyenne en 2016 est de 215 faisceaux /m<sup>2</sup> ; en 2018 elle est de 188 faisceaux/m<sup>2</sup> et en 2021 elle est de 218 faisceaux /m<sup>2</sup>**. Sur toutes les années, l'herbier est en **état médiocre** compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini and Pergent, 2010) ; La densité est **subnormale inférieure** (Pergent et al., 1995).

Les EQR sur les sites prospectés en 2016 (0,477), 2018 (0,437) et 2021 (0,470) sont proches de la moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Occitanie.

**On observe une diminution de l'EQR site uniquement en 2018 par rapport aux deux autres suivis, liée à une baisse de la densité de faisceaux cette année-là.** Sur toutes les années de suivi les EQR indiquent **un état moyen du site**.

c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale – Profondeur intermédiaire

L'indice BiPo a été calculé sur ce site en 2016, 2018 et 2021. Leurs valeurs sont indiquées dans le tableau suivant.

Les EQR de l'indice **BiPo** sur le site prospecté en 2016 (0,438), en 2018 (0,501), en 2021 (0,486) sont proches de la moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Occitanie. Le site présente en 2018 un meilleur EQR lié à sa longueur des feuilles. Sur toutes les années de suivi les EQR indiquent **un état moyen du site d'après l'indice BiPo**.

**Le PREI n'est pas calculé sur ce site.**

Tableau 15 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende
Masse d'eau cotière	FRDC01	FRDC01	FRDC01	
Nom du site	Paulilles	Paulilles	Paulilles	
Année	2016	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.47	0.44	0.47	
Valeur BiPo (PI)	0.44	0.5	0.49	
Valeur PREI (PI)	0	0	0	
Profondeur intermédiaire du site (m)	14.5	14.5	14.5	
Profondeur de la limite inférieure (m)	14.5	14.5	14.5	
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m <sup>2</sup> )	215	188	218	
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m <sup>2</sup> )	215	188	218	
Type de limite inférieure	3	3	3	
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	0	1.06	2.4	
Longueur des feuilles à la PI (mm)	503	450	330	



*d. Perturbations observées*

En 2021, nous avons observé une grosse ancre de 80 cm posée sur la barrière rocheuse, récente (pas colonisée) avec sa chaîne dans les massifs rocheux et sur le sable (mais pas dans l'herbier).



Figure 28 : Illustrations de l'ancre et de sa chaîne, observées en 2021 sur le site Paulilles.

*e. Données historiques*

Le site TEMPO « Paulilles » est proche de la réserve Naturelle Marine de Cerbère Banyuls. Créée en 1974 elle s'étend jusqu'à 1,5 milles nautiques vers le large, 6 km de rivage et sur 650 ha en mer. Elle se situe entre l'île Grosse et le Cap Peyrefite et présente une côte rocheuse à peine interrompue par quelques criques sableuses. Un suivi en limite inférieure de l'herbier de l'anse du Pin Parasol par balises type RSP y est réalisé depuis 1989.

Le site TEMPO est également présent sur le site Natura 2000 FR9101482 « Posidonie de la côte des Albères », qui a été enregistré comme SIC en janvier 2013.

*f. Cartographie des herbiers par photogrammétrie*

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2016-2018, on observe sur ce site 51,93 % de discordance positive, 14,2 % de discordance négative et 33,87 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,57) indique un herbier avec une tendance progressive.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on constate 29,37 % de discordance positive, 0,95 % de discordance négative et 69,68 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,94) indique un herbier en progression.**

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021. **La tendance progressive de l'herbier observée depuis 2016 s'est confirmée avec le suivi 2021**

Tableau 16 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	Occitanie	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende
Masse d'eau côtière	FRDC01	FRDC01	
Nom du site	Paulilles	Paulilles	
Période d'évolution	2016-2018	2018-2021	
% Discordance positive	51	29	15 — 51 29
% Discordance négative	14	0	0 — 23 12
% Concordance	33	69	33 — 73 57
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	4	13	4 — 28 18.2

Le modèle 3D du site Paulilles en 2021 a été généré à la suite de l'acquisition de **1028 photographies** prises sous l'eau.

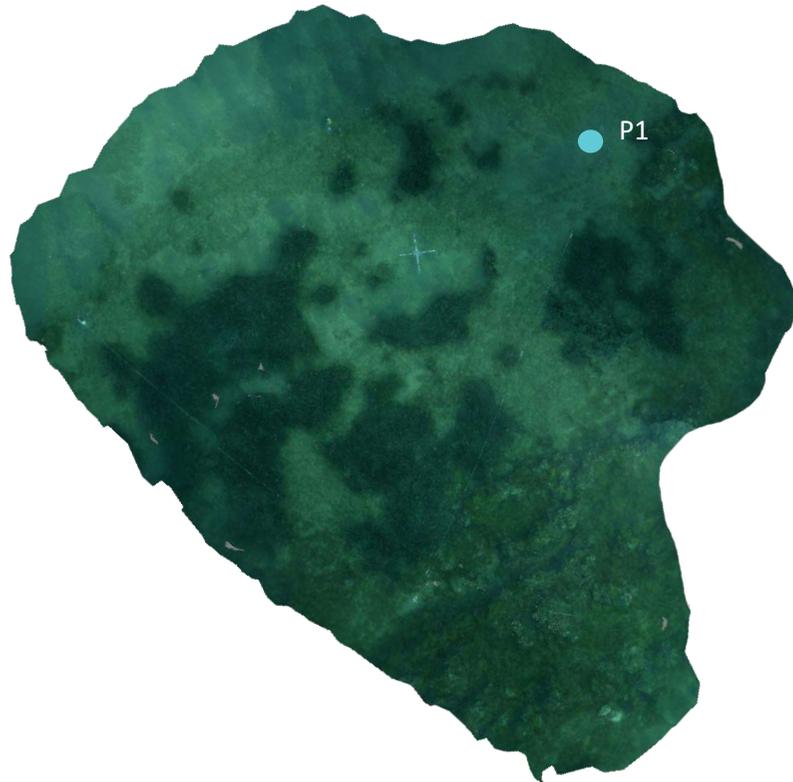


Figure 29 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.

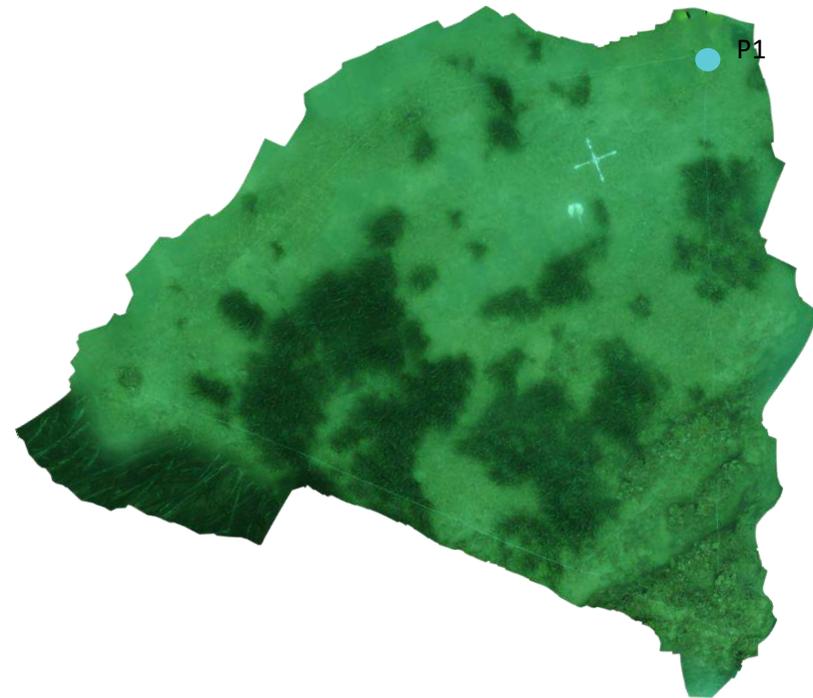
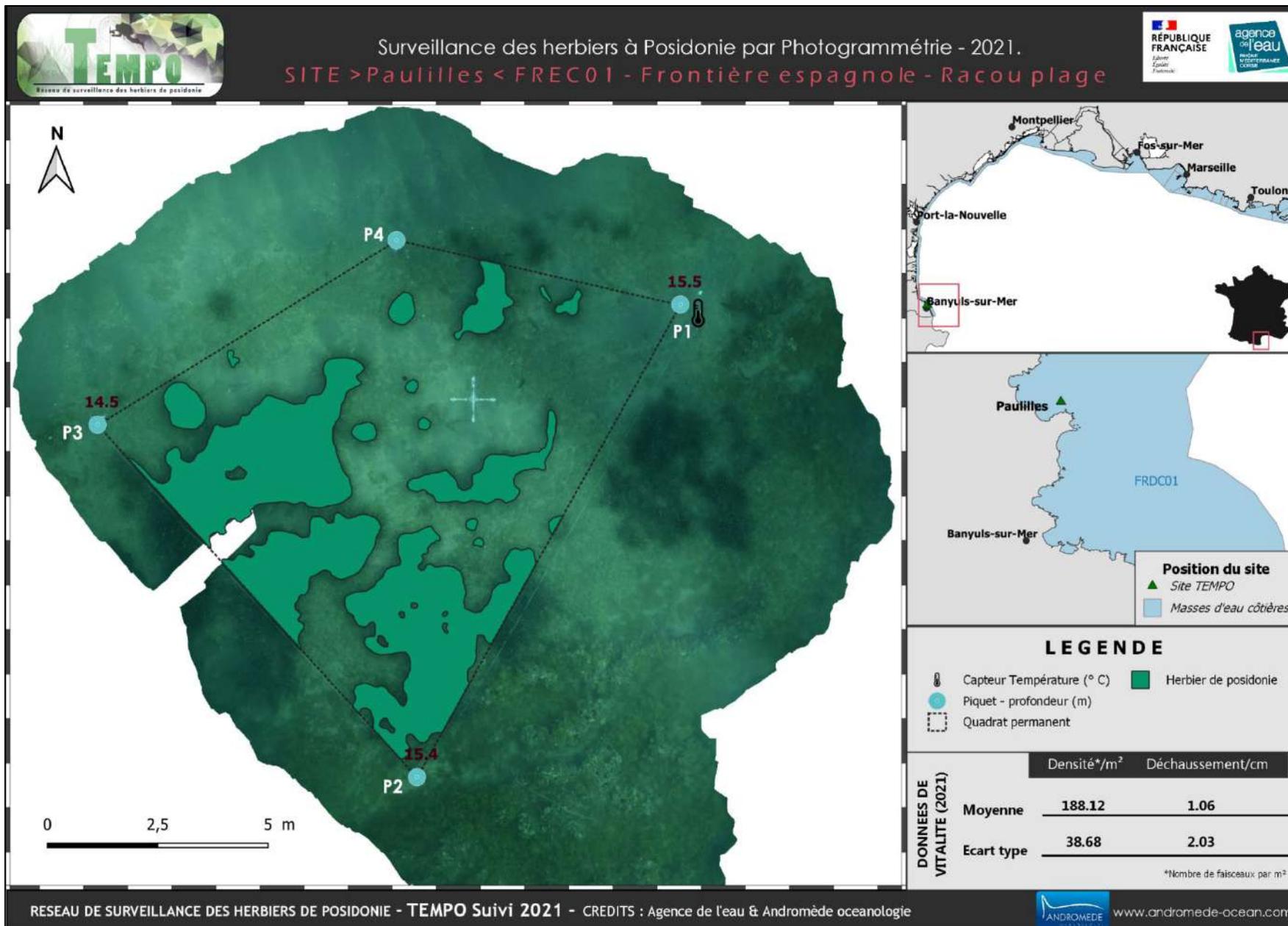
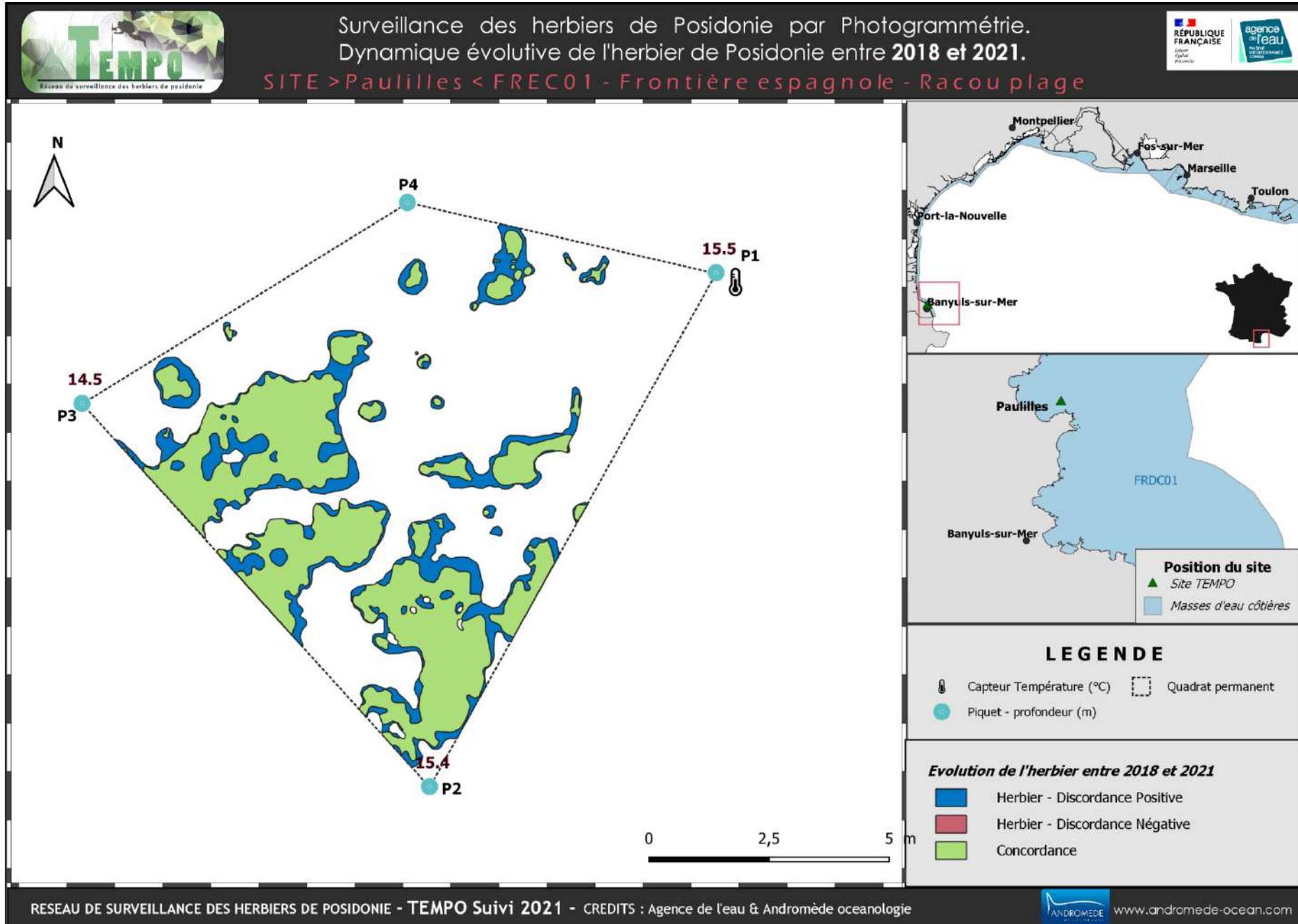


Figure 30 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2018.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.

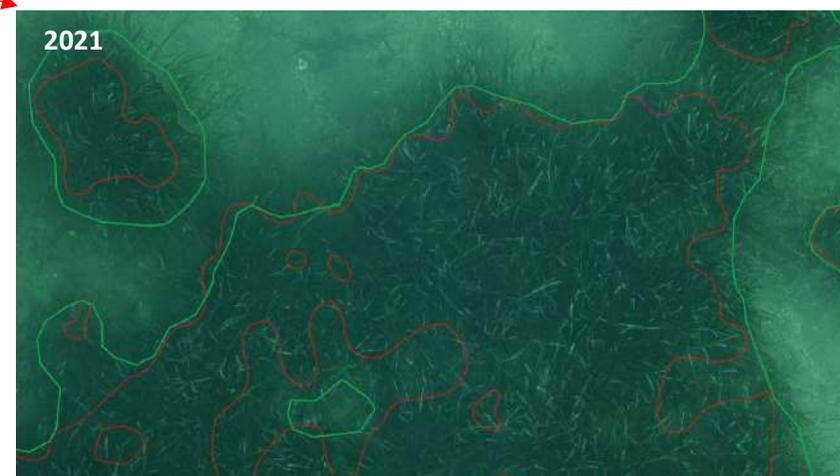
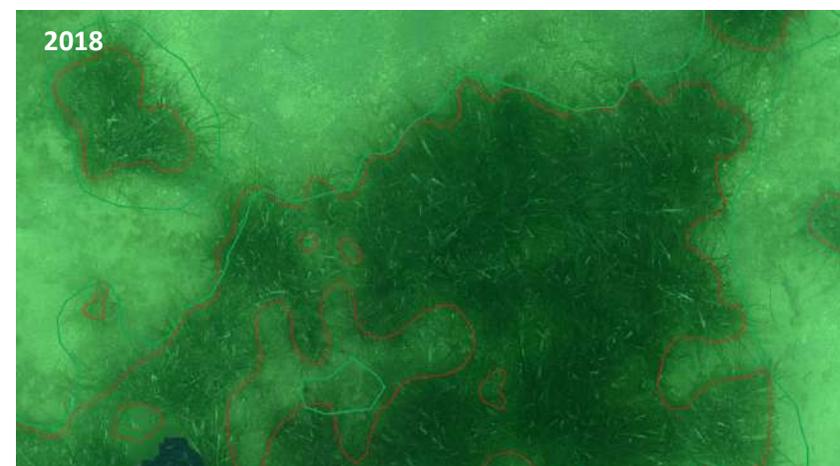
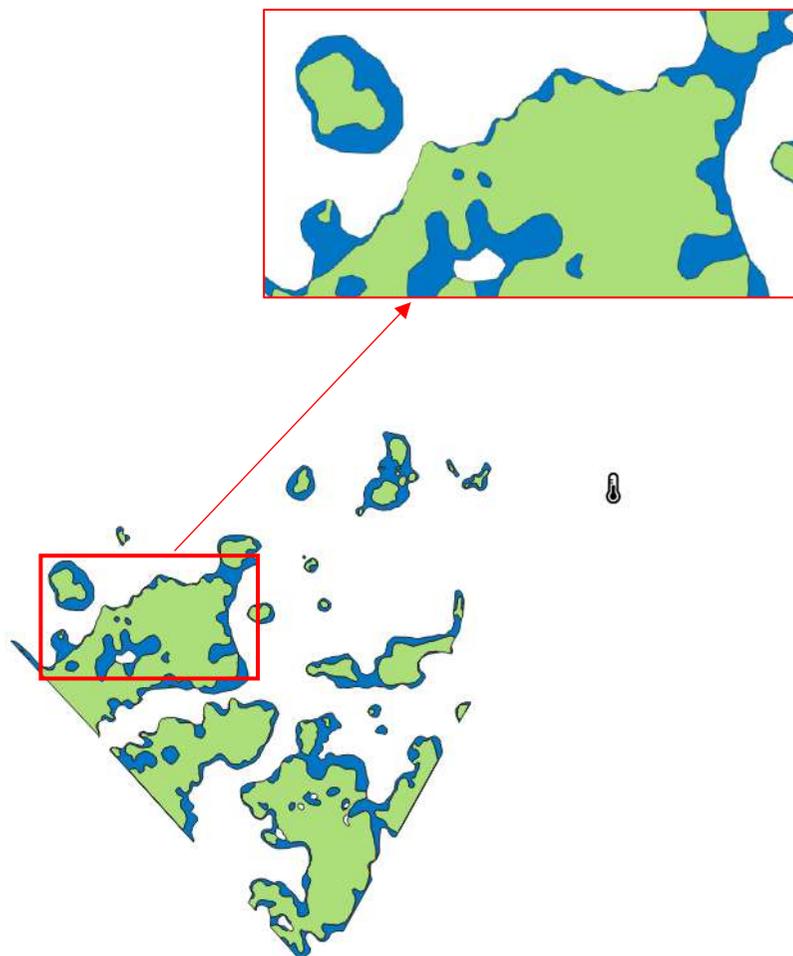






**Evolution de l'herbier entre 2018 et 2021**

- Herbier - Discordance Positive
- Herbier - Discordance Négative
- Concordance



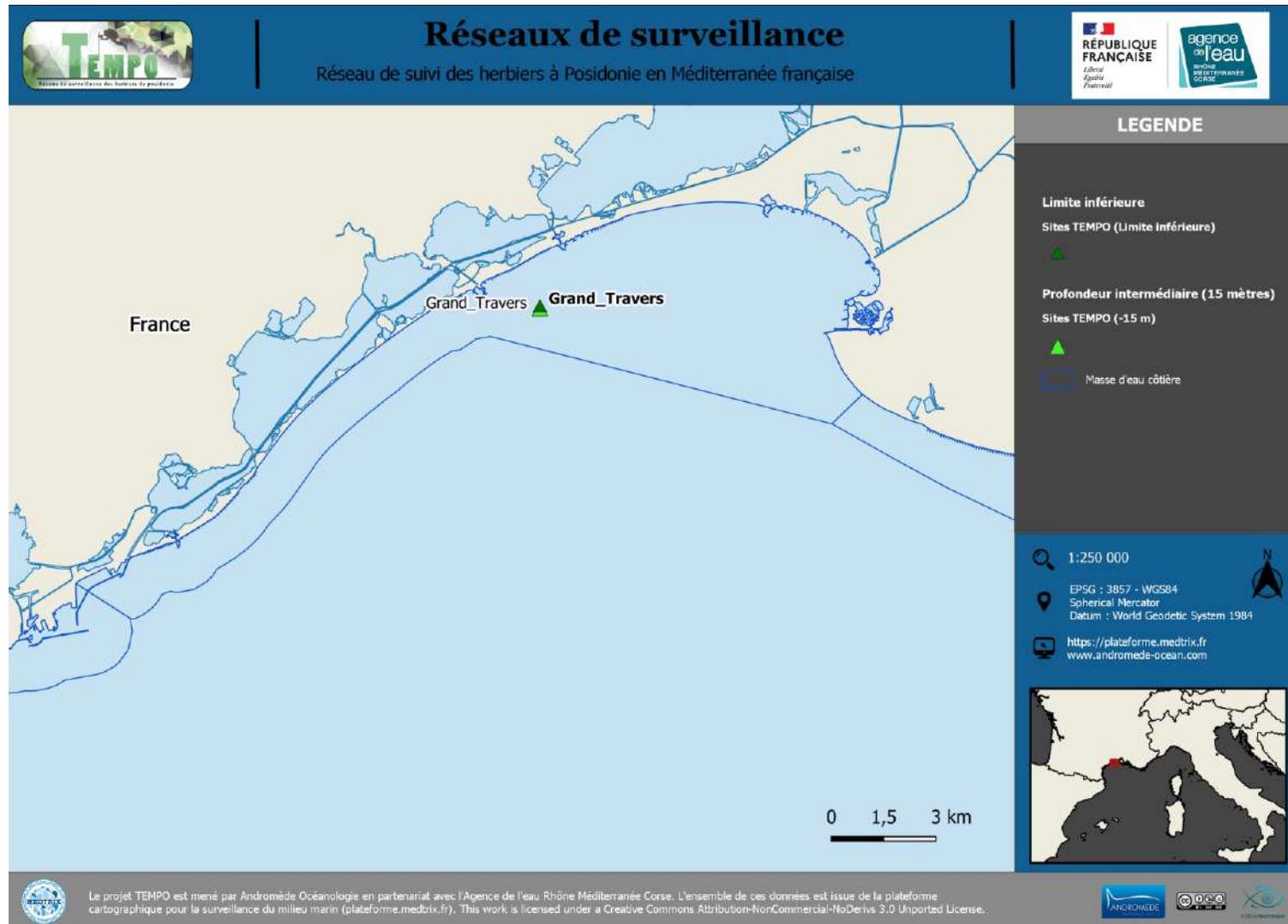
— Délémitation de l'herbier de posidonie en 2021.

— Délémitation de l'herbier de posidonie en 2018.

Figure 31 : Zoom sur le modèle 3D du site Paulilles en 2018 (à gauche) et 2021 (en-dessous) illustrant la progression de l'herbier entre ces deux suivis.

## V.B. Masse d'eau FRDC02f

La masse d'eau FRDC02f comprend le site TEMPO Grand Travers dont la limite inférieure correspond aussi à la profondeur intermédiaire. Il a été échantillonné en 2012, 2015, 2018 et 2021.



## V.B.1. Grand Travers (masse d'eau FRDC02f) – Limite inférieure et Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale					
Température de l'eau (°C)	15	Pas de balises jaunes posées. Limite "supérieure" orientée Sud-Ouest / Nord-Est, ces deux piquets sont espacés d'une petite dizaine de mètres. Puis beau rectangle en rentrant dans l'herbier d'environ 15 m.			
Visibilité (m)	4				
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux	<input checked="" type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...	
Remarques	<i>(Epaisseur et couleur couche oxydée, volume et dangerosité des macrodéchets)</i>				
Espèces particulières	Gorgones blanches ( <i>Eunicella singularis</i> ), spirographes ( <i>Sabella spalanzanii</i> ), nombreuses ophiures ( <i>Ophiura sp.</i> ), oursins, clones ( <i>Cliona sp.</i> ), quelques serrans, bernard l'ermite ( <i>Dardanus arrosor</i> )				
Remarques générales	Site très riche et coloré, beaucoup d'espèces d'éponges, de crustacés, herbier épiphyté bien ancré dans le substrat				

Le site Grand Travers est localisé dans la masse d'eau FRDC02f, dans le golfe d'Aigues-Mortes, au large de Carnon.



Figure 32: Vue aérienne et emplacement du site (source : Bing, 2013).

L'herbier se développe sur un fond meuble (sable grossier) avec débris de roche. Présence d'un massif rocheux accolé au site. Quatre balises sont positionnées à -8 mètres.



Figure 33: Herbier - site Grand Travers (2018).

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 31 101
Longitude :	3 57 843
Date de pose	31/05/2021
Heure de lancement	20h
N° capteur	20125792
Profondeur du capteur	7,4
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description	Capteur sur le piquet Nord-Ouest, piquet 3

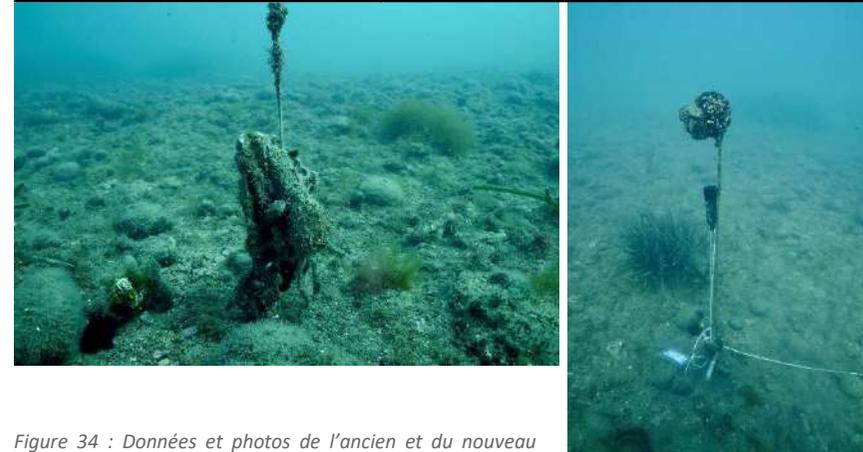


Figure 34 : Données et photos de l'ancien et du nouveau capteur posé en 2021 en limite inférieure.

c. Mesures de vitalité et comparaison régionale – Limite inférieure

La limite inférieure **franche en taches** se situe à **8 m** de profondeur.

La densité moyenne est de  $341,6 \pm 84,9$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2012 (calculée dans 30 quadrats de 20 x 20 cm),  $145,6 \pm 39,7$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2015 (calculée dans 20 quadrats de 40 x 40 cm),  $380 \pm 64$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2018 (calculée dans 20 quadrats de 40 x 40 cm) et  $236,6 \pm 44$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2021. L'herbier est en **état médiocre en 2012, 2018, et mauvais en 2015 et 2021** compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini

and Pergent, 2010) ; la densité est **sub-normale inférieure en 2012 et 2018, et anormale en 2015 et 2018** (Pergent et al., 1995).

Le déchaussement de l'herbier est faible (<5 cm).

Tableau 17 : Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende
Masse d'eau cotière	FRDC02f	FRDC02f	FRDC02f	FRDC02f	
Nom du site	Grand Travers	Grand Travers	Grand Travers	Grand Travers	
Année	2012	2015	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.54	0.38	0.55	0.51	
Type de limite inférieure	3	3	3	3	
EQR' Type de limite inférieure	0.66	0.66	0.66	0.66	
Profondeur de la limite inférieure	8	8	8	8	
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.19	0.19	0.19	0.19	
Densité de faisceaux (faisceaux/m²)	342	146	380	237	
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.78	0.29	0.81	0.69	
Déchaussement de l'herbier (cm)	-2	-2	0	-2	

L'EQR site montre des variations selon les années : 0,543 (2012), 0,380 (2015), 0,553 (2018), 0,463 (2021) qui sont liées aux variations des mesures de densité de faisceaux. En 2012, 2015 et 2021 l'EQR indique un état moyen du site, en 2018 il est en bon état.

c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale – Profondeur intermédiaire

L'indice BiPo et l'indice PREI ont été calculés sur ce site en 2015, 2018 et 2021. Leurs valeurs sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 18 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende
Masse d'eau cotière	FRDC02f	FRDC02f	FRDC02f	
Nom du site	Grand Travers	Grand Travers	Grand Travers	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.38	0.55	0.46	
Valeur BiPo (PI)	0.43	0.56	0.47	
Valeur PREI (PI)	0.52	0.59	0.51	
Profondeur intermédiaire du site (m)	8	8	8	
Profondeur de la limite inférieure (m)	8	8	8	
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m²)	146	380	237	
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m²)	146	380	237	
Type de limite inférieure	3	3	3	
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	-2	0.6	-2	
Longueur des feuilles à la PI (mm)	365	370	280	
Surface foliaire à la PI (cm²/faisceaux)	153	163	119	
Charge épiphytaire à la PI	0.12	0.11	0.16	

Les EQR de l'indice **BiPo** sur le site prospecté en 2015 (0,430), en 2018 (0,562) et en 2021 (0,465) sont respectivement les valeurs régionales minimum, maximum et moyenne comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Occitanie. Le site présente en 2018 un meilleur EQR lié à une longueur des feuilles plus élevée ainsi qu'à une densité de faisceaux supérieure (voir indice PREI). En 2018 l'EQR indique **un bon état du site d'après l'indice BiPo alors qu'il est jugé moyen en 2015 et en 2021.**

L'EQR de l'indice **PREI** calculé sur la station Grand Travers indique **un état écologique moyen en 2015 et 2021, mais bon en 2018 grâce à une densité de faisceaux plus élevée.**

d. Perturbations observées

Aucune pression particulière n'a été recensée.

e. Données historiques

Aucun herbier n'a été suivi dans cette masse d'eau par le RSP. En revanche, trois herbiers sont suivis par télémétrie acoustique sur le site Natura 2000 FR9101413 de la « côte palavasienne » : les sites de Roc St Martin, Aresquiers et Palavas Est. Le premier suivi date de 2007, puis 2011 et 2013. Un autre suivi a été mis en place en 2015.

Entre 2007 et 2013 les analyses montrent un herbier stable sur le site de Palavas Est (limite à -10 mètres présentant des signes de régression), en **état médiocre** selon sa densité de faisceaux. L'herbier du site des Aresquiers est en progression, sa limite est franche en taches et située à -7,5m. Son **état est médiocre** selon sa densité de faisceaux. L'herbier de Roc St Martin (à l'Ouest du site Natura 2000) est en régression, sa limite est régressive et située à -8,5 m. Son **état est médiocre** selon sa densité de faisceaux.

f. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2012-2015, on observe sur ce site 26,40 % de discordance positive, 23,72 % de discordance négative et 49,88 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,05) indique un herbier stable.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2015-2018, on observe sur ce site 15,27 % de discordance positive, 22,98 % de discordance négative et 61,76 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,2) indique un herbier avec une tendance stable.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 24,38 % de discordance positive, 1,65 % de discordance négative et 73,97 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,87) indique un herbier à tendance progressive.**

**La dynamique évolutive de l'herbier analysée par télémétrie acoustique puis par photogrammétrie montre un herbier stable entre 2012 et 2018, puis à tendance progressive sur la période 2018-2021, qui sera à confirmer lors du prochain suivi en 2024.**

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (état écologique **moyen** entre 2012 et 2015, et entre 2015 et 2018).

Tableau 19 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende
Masse d'eau côtière	FRDC02f	FRDC02f	FRDC02f	
Nom du site	Grand Travers	Grand Travers	Grand Travers	
Période d'évolution	2012-2015	2015-2018	2018-2021	
% Discordance positive	26	15	24	15 0 0 0 29 51
% Discordance négative	23	22	1	0 23 12
% Concordance	49	61	73	33 73 57
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	20	26	28	4 28 18.2

Le modèle 3D du site Grand Travers en 2021 a été généré à la suite de l'acquisition de **1517 photographies** prises sous l'eau.

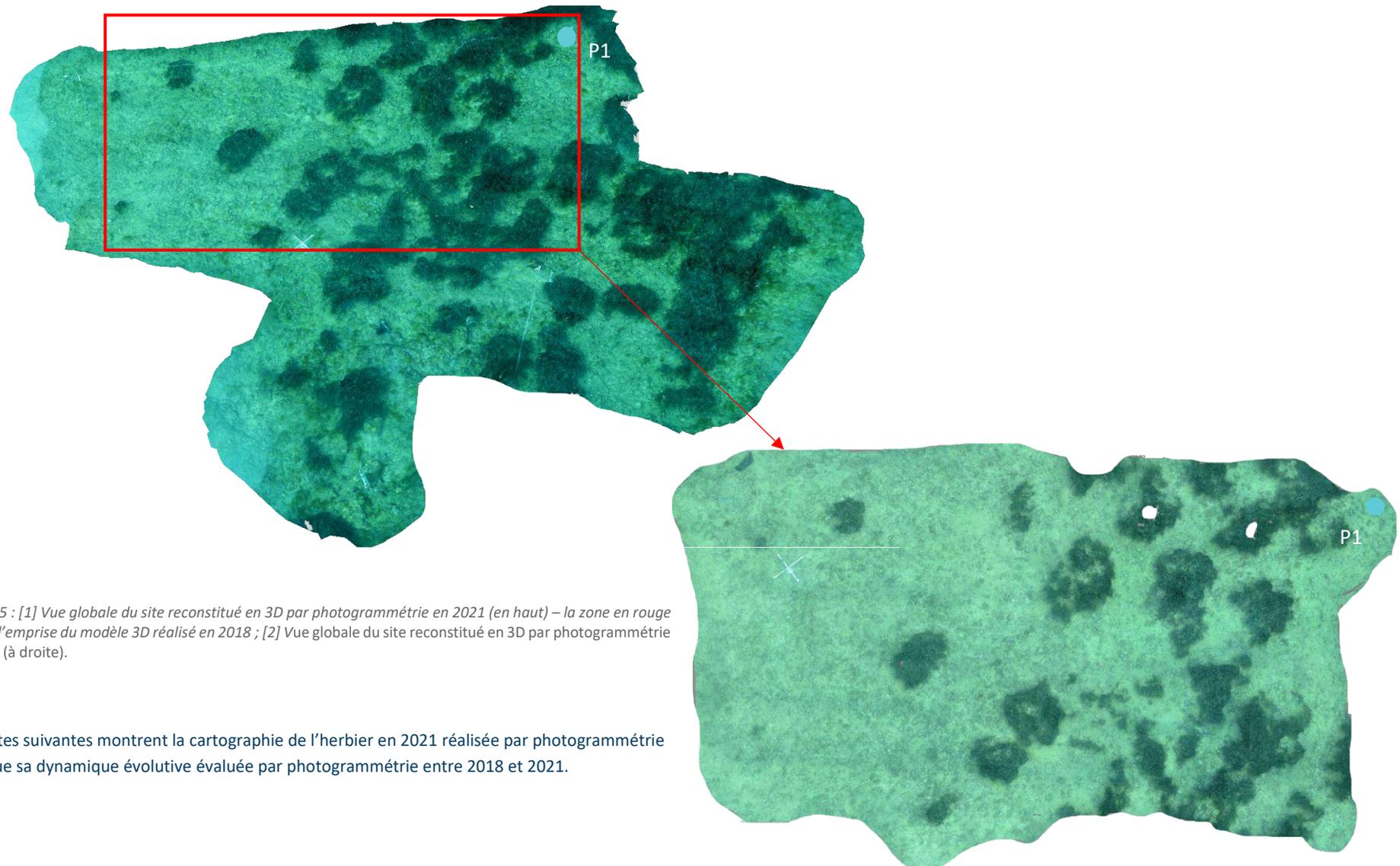


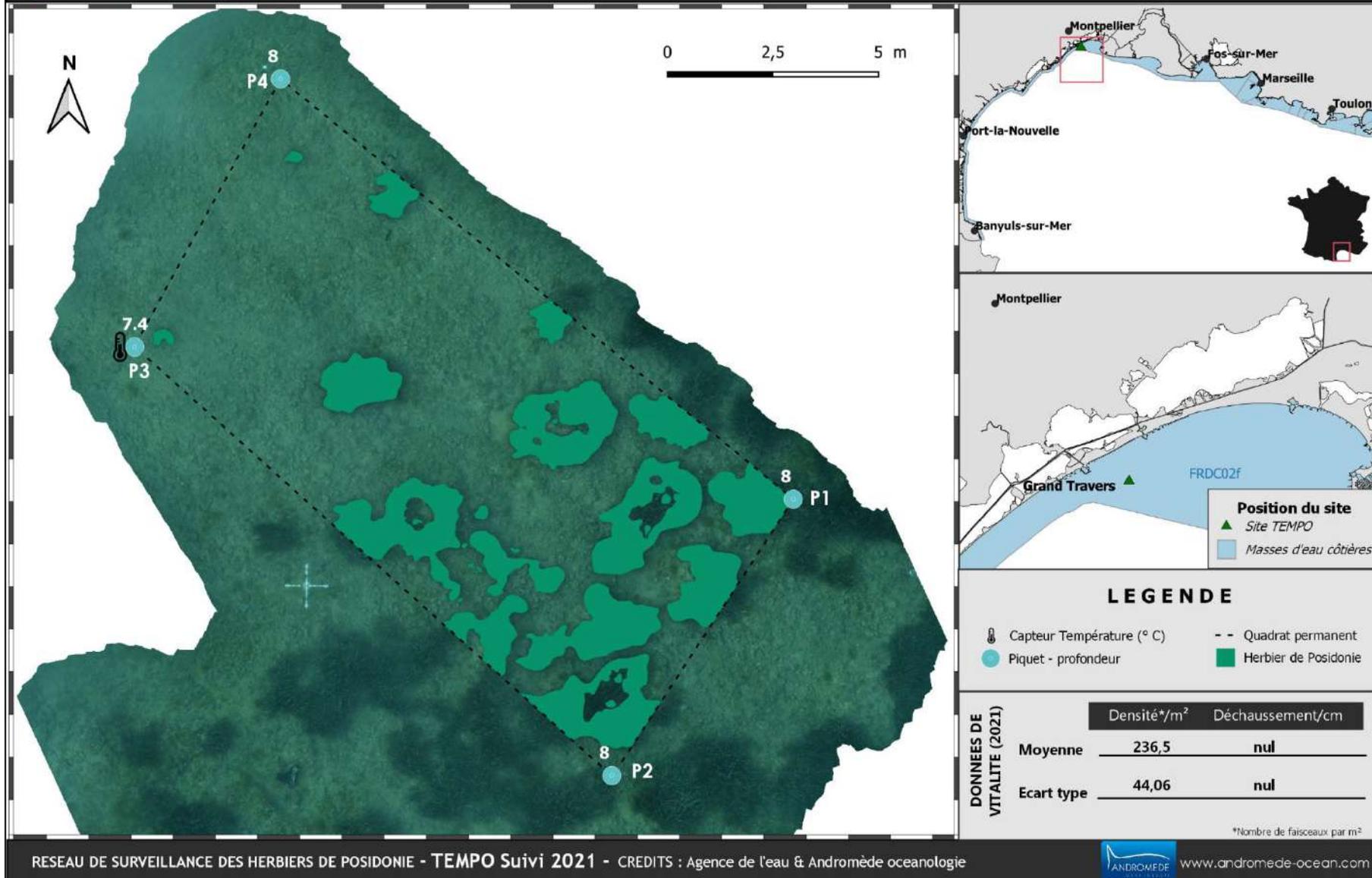
Figure 35 : [1] Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021 (en haut) – la zone en rouge indique l'emprise du modèle 3D réalisé en 2018 ; [2] Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2018 (à droite).

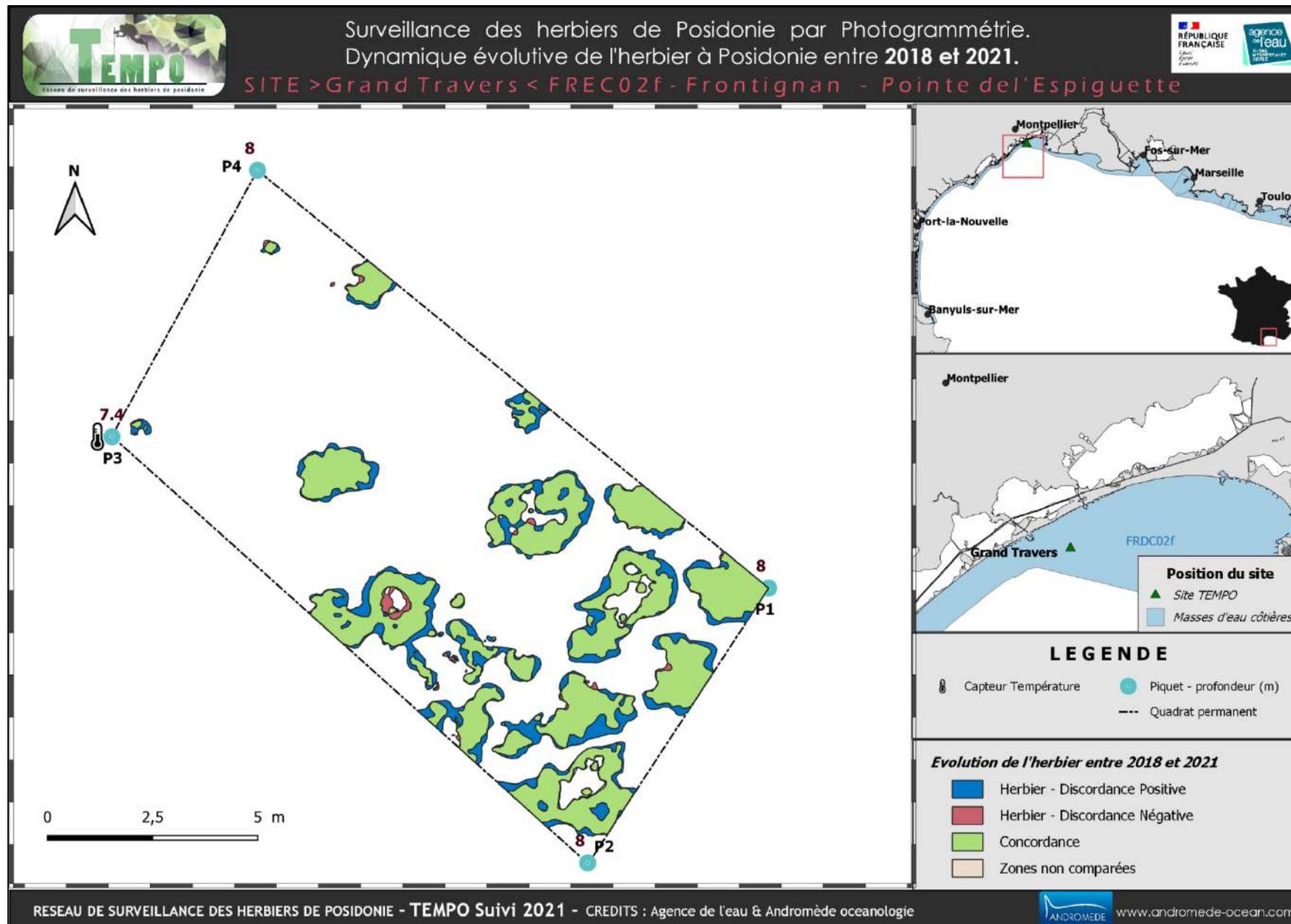
Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.

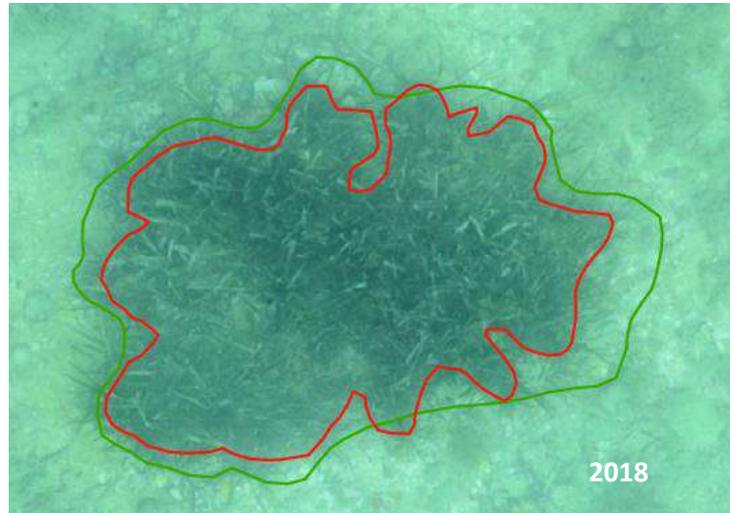
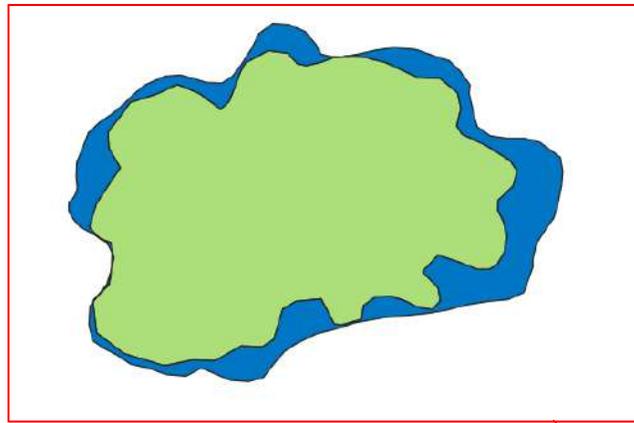


Surveillance des herbiers de Posidonie par Photogrammétrie - 2021.

SITE > Grand Travers < FRECO2f - Frontignan - Pointe de l'Espiguette

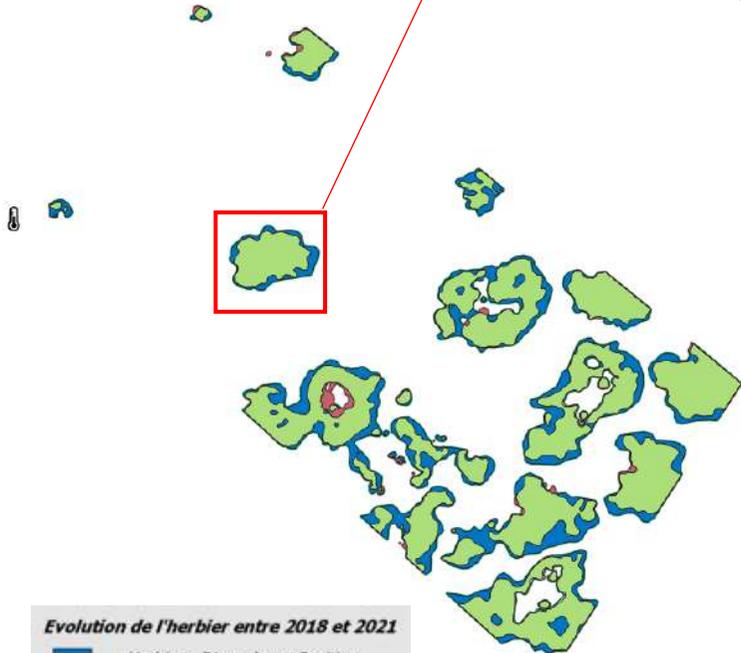






— Délimitation de l'herbier de posidonie en 2021.

— Délimitation de l'herbier de posidonie en 2018.



**Evolution de l'herbier entre 2018 et 2021**

- Herbier - Discordance Positive
- Herbier - Discordance Négative
- Concordance

Figure 36 : Zoom sur le modèle 3D du site le Grand Travers en 2018 (à gauche) et 2021 (à droite) illustrant la progression de l'herbier entre ces deux suivis.



## V.C. Masse d'eau FRDC04

La masse d'eau FRDC04 comprend le site TEMPO : « Bonnieu Nord » qui a été échantillonné en 2012, 2015, 2018 (données de vitalité) et 2016 puis 2018 (cartographie de l'herbier par télémétrie acoustique), puis en 2021.



## V.C.1. Bonnieu Nord (masse d'eau FRDC04) – Limite inférieure et Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale					
Température de l'eau (°C)	18				
Visibilité (m)	15				
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Un peu coquiller par endroit. Feuilles d'herbier couvertes de sédiment fin (difficile pour les comptages de densité).				
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input checked="" type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres : ...	
Remarques	Une bouteille plastique.				
Espèces particulières					
Remarques générales	Quelques gorgones blanches ( <i>Eunicella singularis</i> ) sur blocs coralligènes dispersés dans le sédiment et l'herbier. <i>Codium</i> ( <i>Codium effusum</i> ), girelles ( <i>Coris julis</i> ), castagnoles ( <i>Chromis chromis</i> ), rougets ( <i>Mullus surmuletus</i> ), serrans ( <i>Serranus sp.</i> ), picarels ( <i>Spicara sp.</i> ), crénilables méditerranéens et ocellés ( <i>Symphodus mediterraneus</i> , <i>Sphymphodus ocellatus</i> ), girelle paon ( <i>Thalassoma pavo</i> ). Sur le récif : gorgones blanches ( <i>Eunicella singularis</i> ) et jaunes ( <i>Eunicella cavolinii</i> ), coralligène.				



Figure 37 : Illustrations du site Bonnieu Nord (2021).

Le site de Bonnieu Nord est localisé dans la masse d'eau FREC04, à l'extrémité Est du golfe de Fos. L'herbier se développe sur un fond meuble sous forme de taches isolées (sable localement coquiller). Quatre balises sont ancrées dans le sable entre -12,5 et -13,1 m de profondeur. Les taches d'herbier suivies se situent pied d'un tombant rocheux / coralligène en haut duquel se trouve un herbier continu. Le haut du tombant est à -9 m. On trouve des morceaux de coralligène décrochés dans le substrat meuble parmi les taches d'herbier, avec des gorgones fixées dessus. La présence de blocs rocheux augmente l'hétérogénéité du substrat et la richesse en faune et flore du site.

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 21.233
Longitude :	5 00.872
Date de pose	12/06/2021
Heure de lancement	20h
N° capteur	20125774
Profondeur du capteur	12,30
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes



Figure 38 : Données et photo du capteur posé en 2021.

c. Mesures de vitalité et comparaison régionale – Limite inférieure

Tableau 20 : Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC04	FRDC04	FRDC04	FRDC04	
Nom du site	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	
Année	2012	2015	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.48	0.41	0.49	0.47	0.26 — 0.77 0.51
Type de limite inférieure	3	3	3	3	1 — 5 2.64
EQR' Type de limite inférieure	0.66	0.66	0.66	0.66	0.21 — 1 0.58
Profondeur de la limite inférieure	13	13	13	13	13 — 36 25.62
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25 — 0.94 0.59
Densité de faisceaux (faisceaux/m²)	232	174	242	224	23 — 419 168.52
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.53	0.33	0.56	0.5	0.13 — 0.84 0.36
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	0	2	2	-1 — 10 1.82

La limite inférieure de type **franche en taches** se situe à **13 m** de profondeur.

La **densité moyenne** est de  $232,35 \pm 64,7$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2012, de  $173,75 \pm 46,9$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2015,  $241,5 \pm 52$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2018 et **223,7 ± 44 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2021**. L'herbier est en **état médiocre sur toutes les années de suivi** compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini and Pergent, 2010) ; la densité est **sub-normale inférieure** (Pergent et al., 1995).

Le déchaussement de l'herbier est faible sur toutes les années de suivi (<5 cm).

Les EQR en 2012 (0,480), 2018 (0,490) et 2021 (0,470) sont proches de la moyenne régionale, celui de 2015 (0,413) est en-dessous comparé aux autres sites du réseau TEMPO de la région PACA (plus faible densité de faisceaux en 2015). Ils indiquent **un état moyen du site en 2012, 2015, 2018 et 2021**.

c. *Indices de qualité écologique et comparaison régionale – Profondeur intermédiaire*

L'indice BiPo a été calculé sur ce site en 2015, 2018 et 2021.

Les EQR de l'indice **BiPo** sur le site prospecté en 2015 (0,398), en 2018 (0,496) et en 2021 (0,467) sont proches de la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région PACA. L'EQR indique **un état moyen du site** sur toutes les années suivies.

Les valeurs des différents EQR sont présentées dans le tableau suivant pour chaque année de suivi.

**Le PREI n'est pas calculé sur ce site.**

Tableau 21 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC04	FRDC04	FRDC04	
Nom du site	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.41	0.49	0.47	
Valeur BiPo (PI)	0.4	0.5	0.47	
Valeur PREI (PI)	0	0	0	
Profondeur intermédiaire du site (m)	13	13	13	
Profondeur de la limite inférieure (m)	13	13	13	
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m <sup>2</sup> )	174	242	219	
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m <sup>2</sup> )	174	242	224	
Type de limite inférieure	3	3	3	
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	0	2.5	2.9	
Longueur des feuilles à la PI (mm)	502	310	590	



d. Perturbations observées

Une bouteille en plastique a été observée en 2021.

e. Données historiques

Le site RSP « Martigues » a été mis en place en 1995. Il est localisé dans le golfe légèrement plus au Sud que le site TEMPO « Bonnieu\_Nord », au large de la pointe Bonnieu, au voisinage de la centrale thermique de Lavera. La limite inférieure de l'herbier est située à une profondeur moyenne de -18 mètres. Jusqu'en 2001 (date du dernier suivi) le site RSP montrait une tendance à la régression de l'herbier, avec un recul important et une disparition de nombreuses touffes de posidonies. La densité moyenne de l'herbier de ce site était normale d'après la classification de Pergent-Martini (1994) et Pergent *et al.*, (1995). Deux balises présentaient une densité sub-normale inférieure.

f. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2012-2015, on observe sur ce site 6,09 % de discordance positive, 12,65 % de discordance négative et 81,26 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,35) indique un herbier avec une tendance régressive.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2015-2018, on observe sur ce site 24,02 % de discordance positive, 29,8 % de discordance négative et 46,18 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,11) indique un herbier avec une tendance stable.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 34,15 % de discordance positive, 0,02 % de discordance négative et 65,83 % de concordance. **L'indice d'évolution (1) indique un herbier avec une tendance progressive.**

**La dynamique évolutive montrait un herbier à tendance régressive jusqu'en 2015, qui s'est stabilisée en 2018, et qui présente en 2021 une tendance progressive, à confirmer lors du prochain suivi en 2024.**

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **très bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**moyen état** écologique entre 2012 et 2018).

Tableau 22 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FREC04	FREC04	FREC04	
Nom du site	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	
Période d'évolution	2012-2015	2015-2018	2018-2021	
% Discordance positive	6	24	34	0   69 9.47
% Discordance négative	12	29	0	0   51 8.18
% Concordance	81	46	65	0   100 78.25
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	8	6	8	0   802 108.44

Le modèle 3D du site Bonnieu Nord en 2021 été généré suite à l'acquisition de **989 photographies** prises sous l'eau.

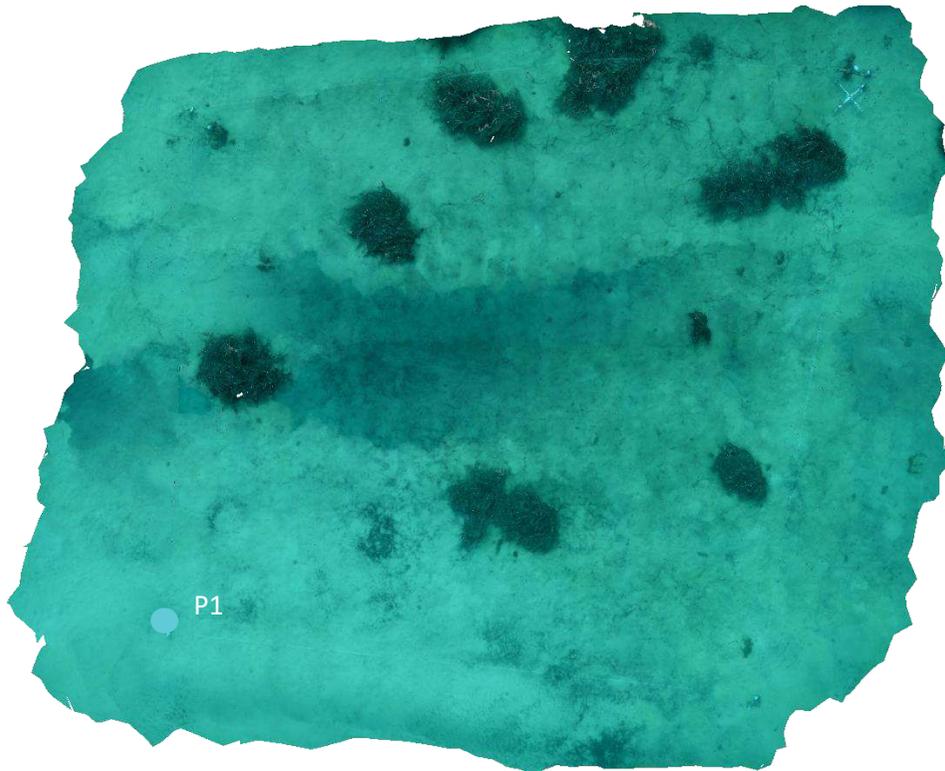


Figure 39 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.

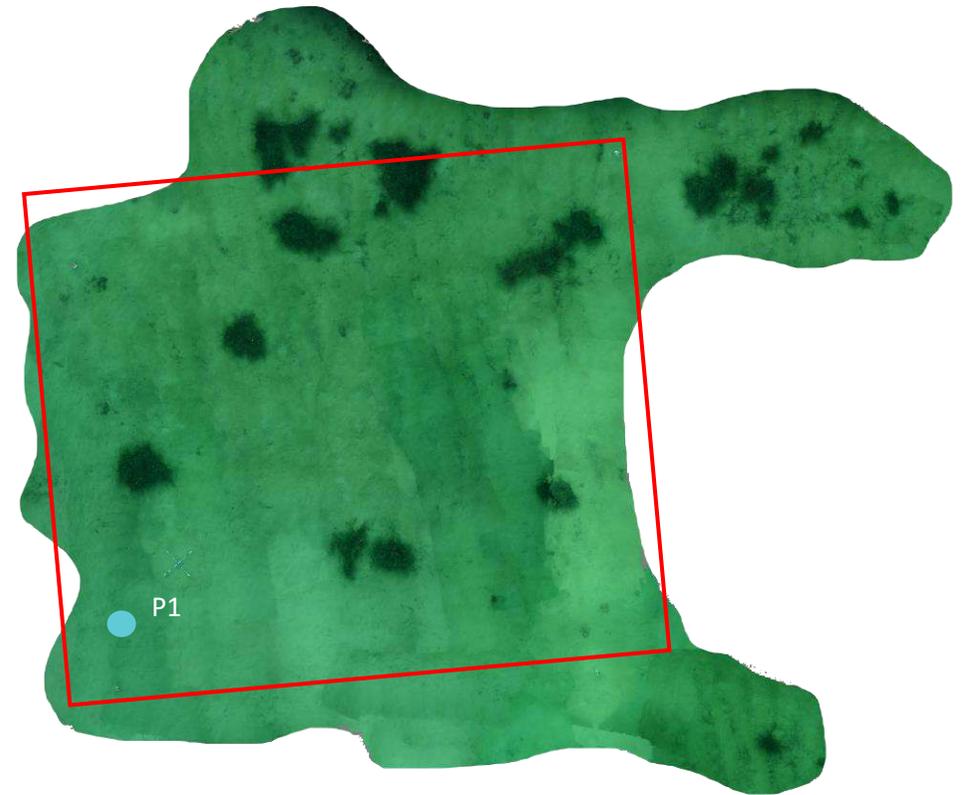
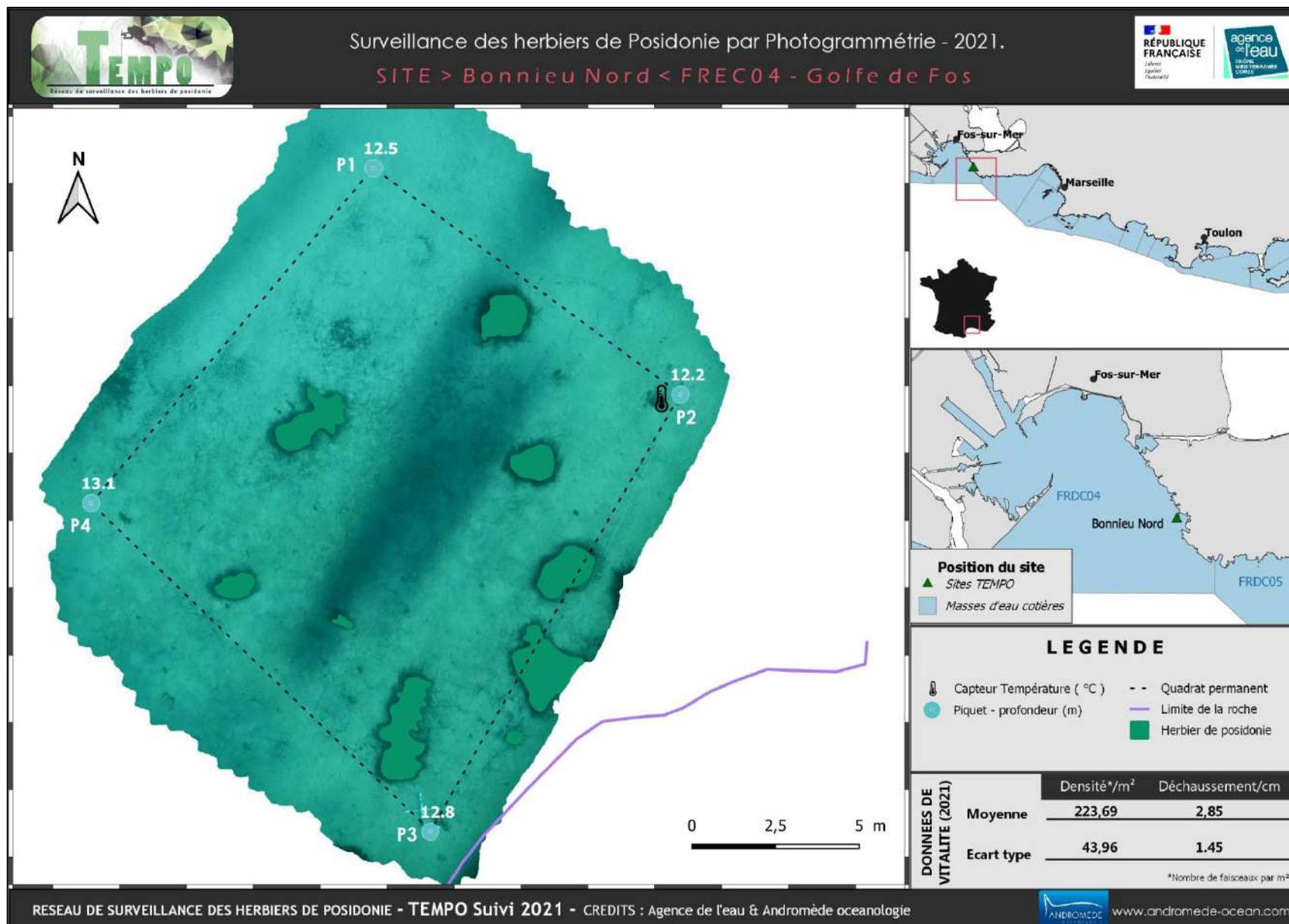
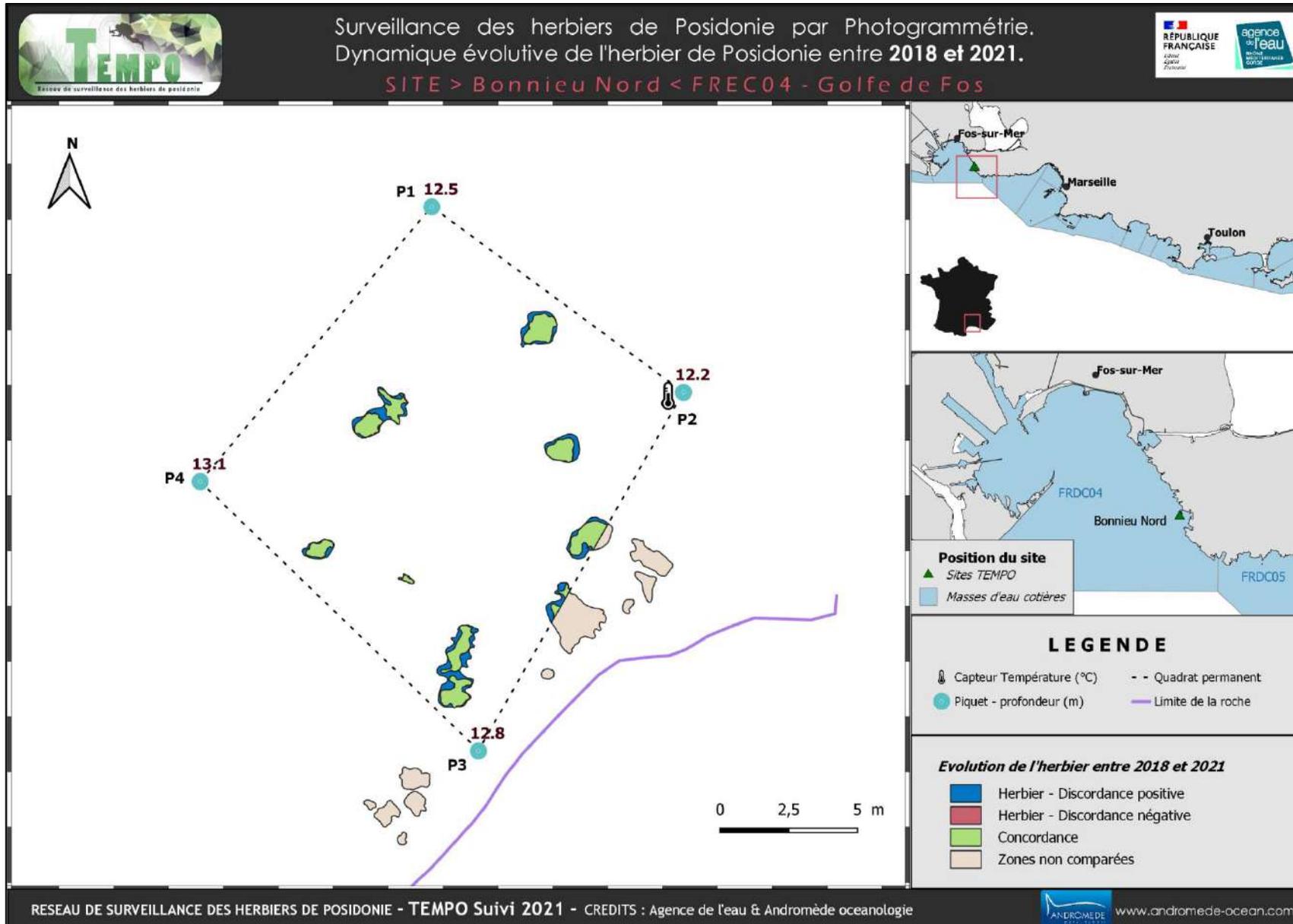


Figure 40 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2018. La zone en rouge indique l'emprise du modèle 3D réalisé en 2021.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.







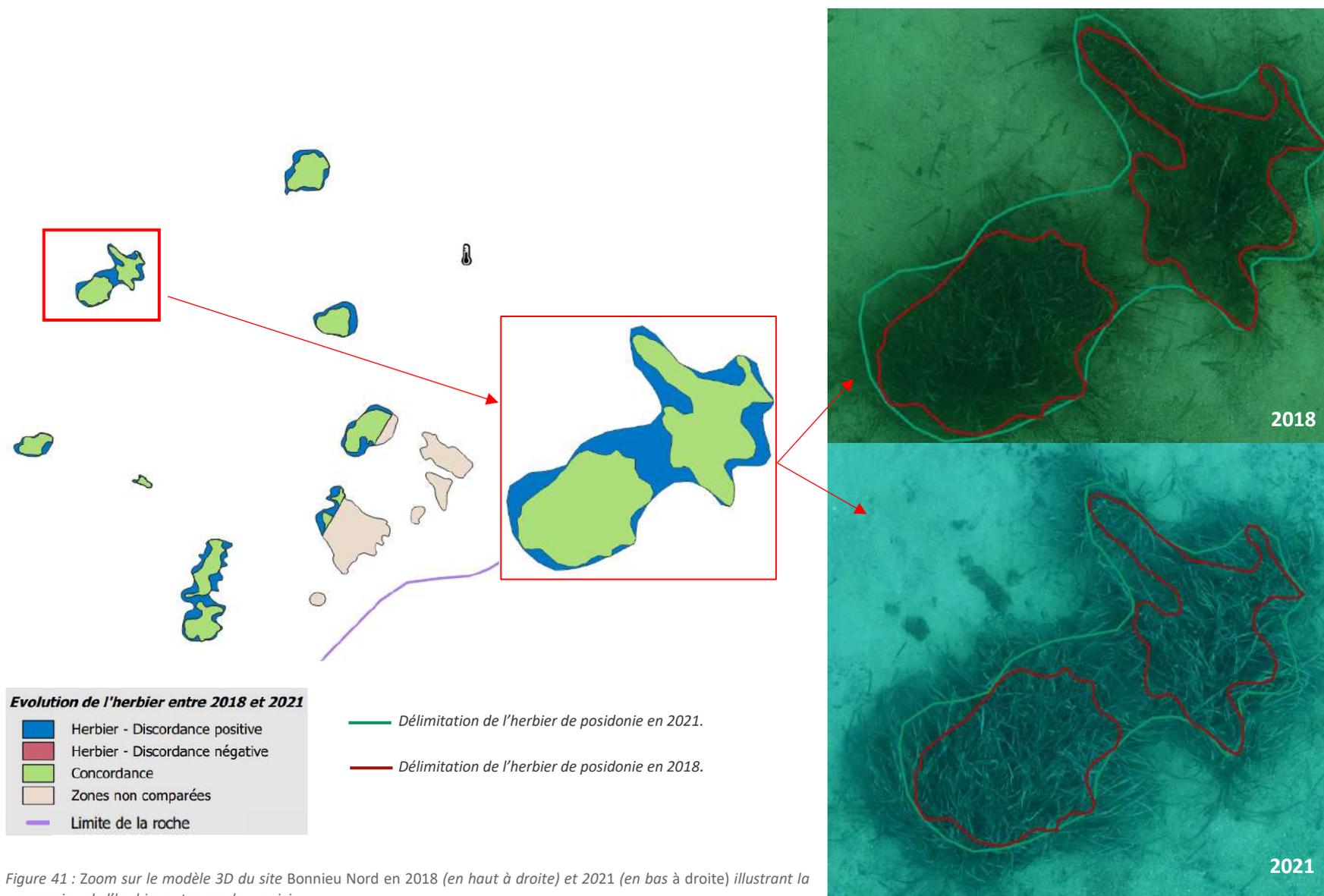
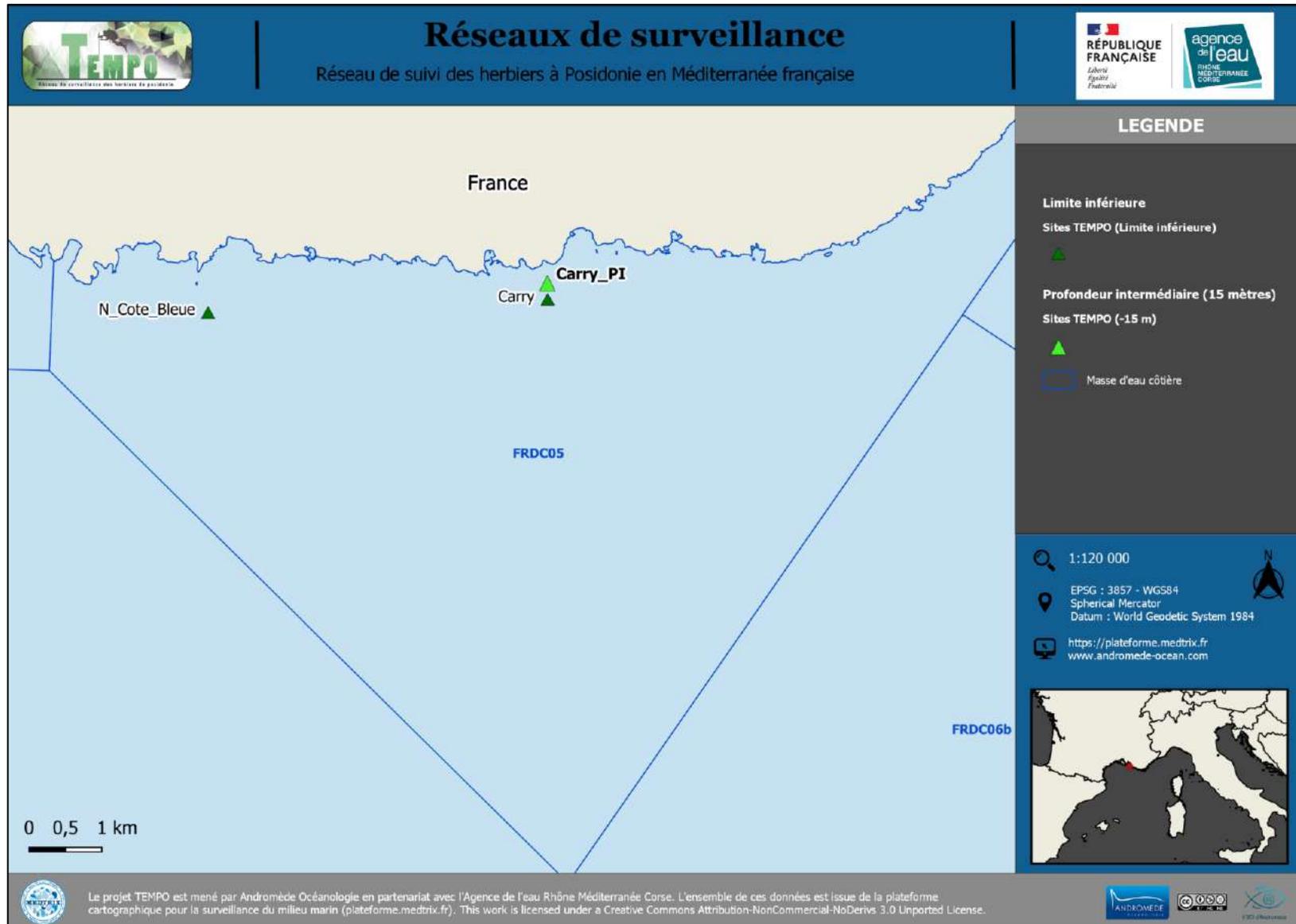


Figure 41 : Zoom sur le modèle 3D du site Bonnieu Nord en 2018 (en haut à droite) et 2021 (en bas à droite) illustrant la progression de l'herbier entre ces deux suivis.

## V.D. Masse d'eau FRDC05

La masse d'eau FRDC05 comprend un site TEMPO à la profondeur intermédiaire, « Carry\_PI » et deux sites TEMPO en limite inférieure : « Carry » échantillonné en 2008, 2012, 2018 (données de vitalité) et 2008, 2012, 2016 et 2018 (cartographie de l'herbier) et « N\_Côte\_Bleue » défini en 2021. Le site Carry ne fait plus l'objet d'un suivi à partir de 2021.

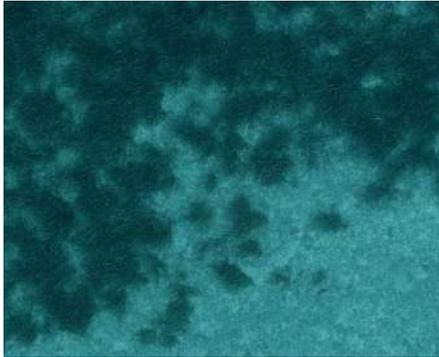


## V.D.1. N\_Côte\_Bleue (masse d'eau FRDC05) – Limite inférieure

a. Présentation du site

Description générale				
Température de l'eau (°C)	16			
Visibilité (m)	15			
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input checked="" type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Sable grossier envasé qui recouvre matte morte. Roche à proximité.			
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques				
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input checked="" type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input checked="" type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques	Fil en travers et structure métallique dans l'herbier			
Espèces particulières	Nombreux codium ( <i>Codium sp.</i> ), un chapon ( <i>Scorpaena scrofa</i> ), un banc de mendoles ( <i>Spicara maena</i> ), castagnoles ( <i>Chromis chromis</i> ), crénilabres, picarels ( <i>Spicara smaris</i> ), serrans ( <i>Serranus sp.</i> ) dans blocs rocheux à côté.			
Remarques générales	Casiers de pêche à côté du site			

Ce nouveau site localisé dans le Parc marin de la Côte Bleue a été balisé en 2021. Il se situe au Sud de l'îlot de l'Aragnon à Martigues. Des investigations en plongée ont été réalisées par le Parc pour définir le secteur, puis par l'équipe d'Andromède Océanologie à l'aide de scooter sous-marin afin de trouver une zone à suivre.



Quatre balises ont été fixées dans le substrat : deux dans le sable à -25,3m et deux autres dans l'herbier à -25 m.

Nous y avons observé de nombreux Codium, un chapon, un banc de mendoles, des castagnoles, des crénilabres, des picarels, et des serrans dans blocs rocheux à côté.

Figure 42 : Illustration du site N\_Côte\_Bleue en limite inférieure de l'herbier (2021).

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 19,146
Longitude :	05 04,980
Date de pose	11/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20101051
Profondeur du capteur (m)	25,3
N° de piquet du quadrat	1
Paramétrage	30 min
Description de la zone	présence d'une structure métallique



Figure 43 : Données et photo du capteur posé en 2021 en limite inférieure.

c. Mesures de vitalité et comparaison régionale

La limite inférieure de type **franche (à fort recouvrement)** avec présence de rhizomes **plagiotropes se situe à -25 m de profondeur.**

La **densité moyenne** est de  $292 \pm 70,8$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2021. L'herbier est en **excellent état** compte tenu de sa densité de faisceaux et de sa profondeur (Pergent *et al.*, 2008 et Pergent-Martini *et al.*, 2010). D'après la classification de Pergent-Martini (1994) et Pergent *et al.*, (1995) la densité est normale pour les quatre années de suivi.

Le déchaussement de l'herbier est faible (<5 cm).

L'EQR site (0.77) se situe bien au-dessus de la moyenne régionale PACA (0.51) traduisant un site en **bon état écologique.**

Tableau 23 : Valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés).

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC06	
Nom du site	N Côte Bleue	
Année	2021	
Valeur EQR LI	0.77	0.26   0.51   0.77
Type de limite inférieure	4	1   2.62   5
EQR' Type de limite inférieure	0.89	0.21   0.58   1
Profondeur de la limite inférieure	25	13   25.62   36
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.74	0.25   0.59   0.94
Densité de faisceaux (faisceaux/m <sup>2</sup> )	292	23   168.52   419
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.67	0.13   0.36   0.84
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	-1   1.82   10



d. Perturbations observées

Nous avons observé un fil de pêche en travers du site et une structure métallique dans le sable, près de laquelle nous avons positionné le capteur de température. Aucune autre pression n'a été relevée.

e. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

La surface couverte par l'herbier dans le quadrat est de 107,07 m<sup>2</sup>. Ce site ayant été balisé en 2021, la dynamique évolutive de l'herbier sera évaluée lors du prochain suivi TEMPO, en 2024.

Le modèle 3D du site N\_Côte\_Bleue en 2021 a été généré à la suite de l'acquisition de **1586 photographies** prises sous l'eau.

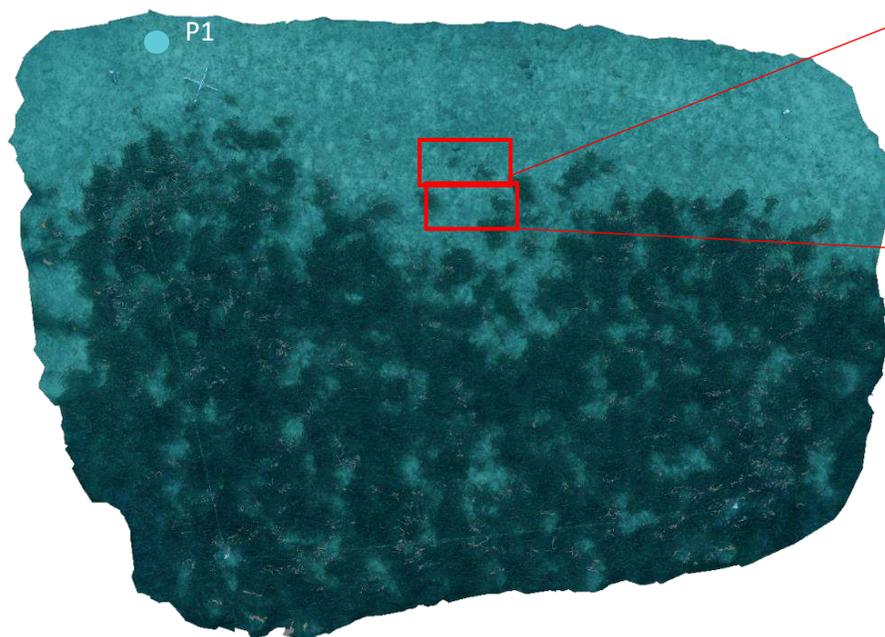


Figure 44 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.

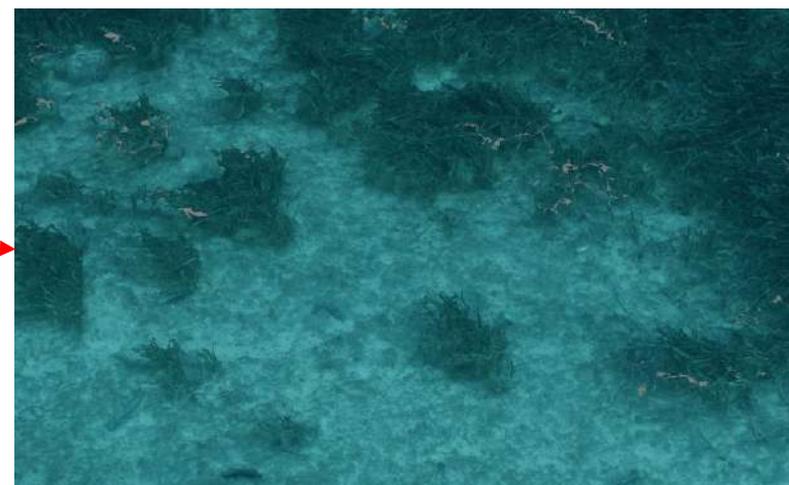
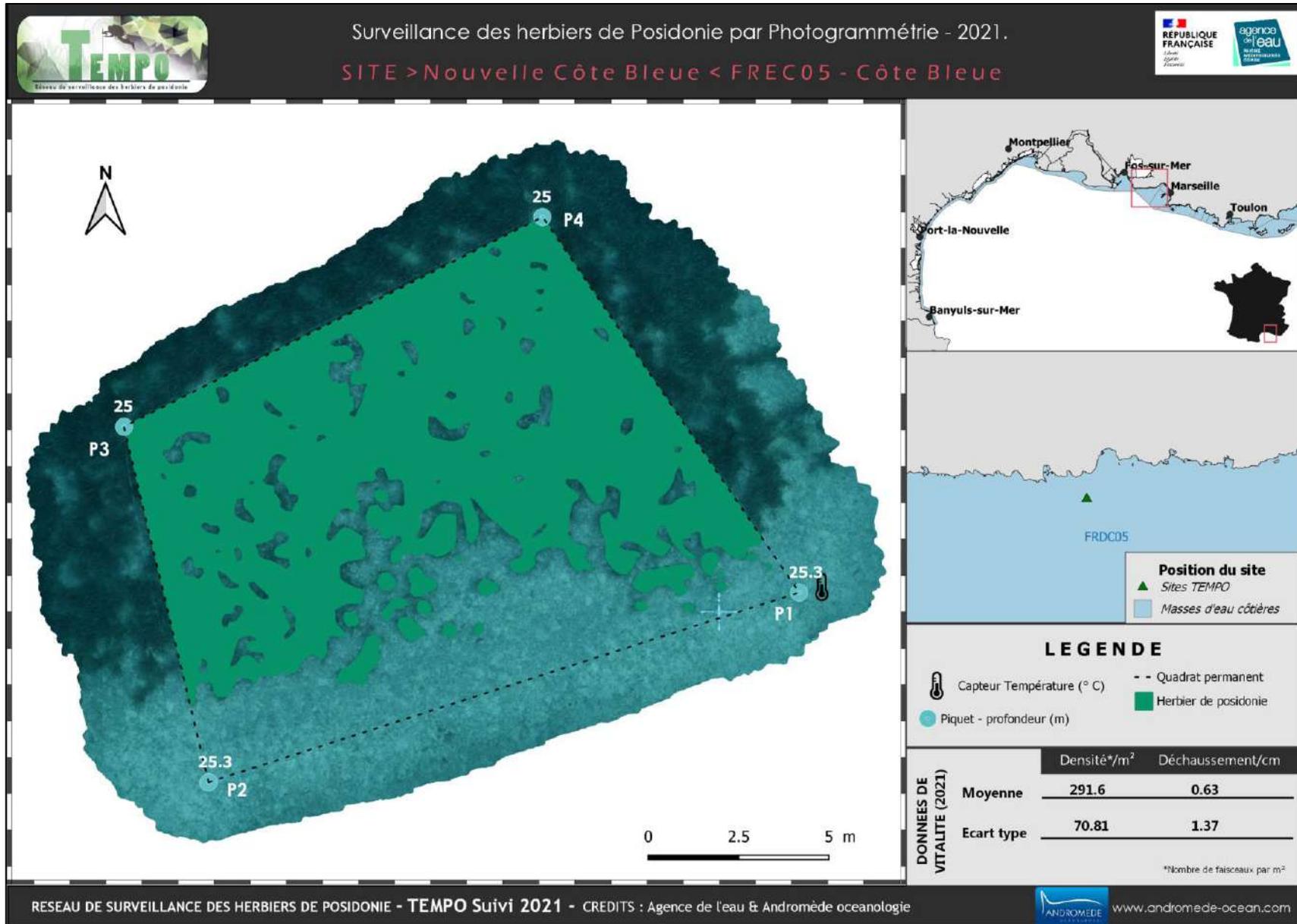


Figure 45 : Vues zoomées du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.

La carte suivante montre la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie.



## V.D.2. Carry\_PI (masse d'eau FRDC05) – Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale	
Température de l'eau (°C)	19
Visibilité (m)	10
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier <input type="checkbox"/> Sable fin <input type="checkbox"/> Matte morte <input type="checkbox"/> Substrat rocheux <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea <input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia <input type="checkbox"/> Algues filamenteuses <input type="checkbox"/> Womersleyella setacea <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	<i>(Superficie du quadrat couverte par les espèces invasives et algues filamenteuses/Taux de recouvrement : <b>Très faible</b> (&lt;20%), <b>Faible</b> (20-40%), <b>Moyen</b> (40-60%), <b>Fort</b> (60-80%) et <b>Très fort</b> (&gt;80%))</i>
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche <input type="checkbox"/> Traces de mouillage <input type="checkbox"/> Structures artificielles <input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés <input type="checkbox"/> Macrodéchets <input type="checkbox"/> Hydrocarbures <input type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques	<i>(Épaisseur et couleur couche oxydée, volume et dangerosité des macrodéchets)</i>
Espèces particulières	
Remarques générales	Quelques feuilles mortes au pied et entre les taches, rhizomes déchaussés dans les taches de sable. Herbier de plaine, fort recouvrement. Quelques girelles, castagnoles, banc de saupes mais faible faune associée



Figure 46 :  
Illustrations  
de l'herbier à -  
15 m (2021).

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 19.479
Longitude :	5 10.006
Date de pose	11/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20125785
Profondeur du capteur (m)	15,7
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Sur une vis à sable dans une petite tâche de sable de 2 m <sup>2</sup>



Figure 47 : Données et photo du capteur posé en 2021 à -15 m.

c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale

Les indices PREI et BiPo ont été calculés sur ce site en 2015, 2018 et 2021.

Indice PREI

Les EQR calculés en 2015 (0,655), 2018 (0,617) et 2021 (0,602) sur la station Carry PI indiquent un bon état écologique. La valeur de l'EQR diminue très légèrement dans le temps, notamment en 2021. Ceci s'explique par le changement de site suivi en limite inférieure, puisque nous remplaçons dans le calcul du PREI pour 2021 les paramètres du site Carry (limite inférieure régressive à -30 m) par ceux de N\_Côte\_Bleue (limite inférieure franche de fort recouvrement à -25 m).

Indice BiPo

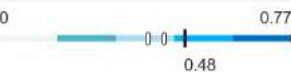
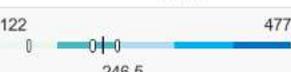
L'EQR de l'indice BiPo sur le site prospecté en 2018 (0,558) est proche de la moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région PACA, il est supérieur à la moyenne régionale en 2021 (0,667), tandis qu'en 2015 il était moins élevé (0,448).

Le site présente en 2018 un meilleur EQR lié à une longueur des feuilles moins élevée ainsi qu'à une densité de faisceaux plus élevée (263 faisceaux, densité normale d'après les grilles de Pergent-Martini, 1995 et Pergent *et al.*, 2010). En 2021 l'EQR est plus élevé puisque nous remplaçons dans le calcul du PREI pour 2021 les paramètres du site Carry (limite inférieure régressive à -30 m) par ceux de N\_Côte\_Bleue (limite inférieure franche de fort recouvrement à -25 m).

L'EQR indique un état moyen du site d'après l'indice BiPo en 2015 qui passe en classe « bon état » en 2018 et en 2021.

Les valeurs des différents EQR sont présentées dans le tableau suivant pour chaque année de suivi.

Tableau 24 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC05	FRDC05	FRDC05	
Nom du site	Carry PI	Carry PI	Carry PI	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.43	0.38	0.77	
Valeur BiPo (PI)	0.45	0.56	0.67	
Valeur PREI (PI)	0.66	0.62	0.6	
Profondeur intermédiaire du site (m)	15.5	15.5	15.5	
Profondeur de la limite inférieure (m)	30	30	25	
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m2)	154	263	233	
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m2)	173	76	292	
Type de limite inférieure	1	1	4	
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	0.4	3.9	0.6	
Longueur des feuilles à la PI (mm)	646	439	450	
Surface foliaire à la PI (cm²/faisceaux)	361	216	275	
Charge épiphytaire à la PI	0.09	0.1	0.19	

## V.E. Masse d'eau FRDC06a

La masse d'eau FRDC06a comprend deux sites TEMPO en limite inférieure « Digue Marseille » et « Digue Marseille\_2 » échantillonnés respectivement en 2008, 2012, 2016, 2021 et en 2018 et 2021 (le site Digue Marseille\_2 avait été mis en place en 2018 car le premier site n'avait pas été retrouvé en raison de la faible visibilité) et un autre à la profondeur intermédiaire (« Digue Marseille PI »).



## V.E.1. Digue Marseille et Digue Marseille\_2 (masse d'eau FREC02ab) - Limite inférieure

a. Présentation du site

Description générale					
Température de l'eau (°C)	18				
Visibilité (m)	6				
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux	<input checked="" type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Sable très grossier coquillier et vase				
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input checked="" type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres : ...	
Remarques	Poteries				
Espèces particulières	une grande nacre morte				
Remarques générales	Herbier peu dense, grandes feuilles				

Dans le secteur de la grande digue de Marseille, deux sites d'herbier positionnés en limite inférieure ont été balisés ces dernières années : Digue\_Marseille et Digue\_Marseille\_2. Ils sont présents dans la masse d'eau FRDC06a, au Sud de la rade de Marseille. L'herbier se développe sur un fond meuble, il est reliquat de l'herbier beaucoup plus vaste qui bordait le littoral de Marseille au XIXème siècle. Ces deux sites sont séparés d'une trentaine de mètres. La très faible visibilité sur la zone ne nous a pas toujours permis de retrouver le site, ainsi un autre site a été balisé lors d'un suivi antérieur. En 2021 nous avons plongé sur les deux sites et réaliser des acquisitions photogrammétriques.

*b. Capteur de température*

Le capteur de température a été positionné à -20 m sur le site Digue\_Marseille\_2 (localisé à 30 m au Sud du site Digue\_Marseille, à la même profondeur).

Capteur de température	
Latitude :	43 18.713
Longitude :	5 21.276
Date de pose	10/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20330379
Profondeur du capteur (m)	20,00
N° de piquet du quadrat	1
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Capteur sur la vis en acier.

En dehors de la limite de l'herbier, sur le sable grossier, on trouve une vis acier, une vis plastique et un piquet géomètre jaune, tous équipés d'un flotteur. Le capteur se trouve sur la vis en acier.



Figure 48 : Données et photo du capteur de température posé en 2021.

*c. Mesures de vitalité et comparaison régionale*

Tableau 25: Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC06a	FRDC06a	FRDC06a	FRDC06a	FRDC06a	FRDC06a	
Nom du site	Digue Marseille 2	Digue Marseille 2					
Année	2008	2012	2015	2021	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.51	0.51	0.45	0.44	0.44	0.44	0.26 - 0.77 0.51
Type de limite inférieure	3	3	3	3	3	3	1 - 5 2.64
EQR' Type de limite inférieure	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.21 - 1 0.58
Profondeur de la limite inférieure	20.4	20.4	20.4	20.8	20.4	20.4	13 - 36 25.62
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.25 - 0.94 0.59
Densité de faisceaux (faisceaux/m²)	220	218	155	136	143	136	23 - 419 168.52
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.49	0.48	0.3	0.28	0.29	0.28	0.13 - 0.84 0.36
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	1	4	5	7	5	-1 - 10 1.82

La limite inférieure **franche** se situe à **20,4 m** de profondeur (Digue\_Marseille 2).

La densité moyenne à -21,4 mètres est de  $220,37 \pm 55,05 / m^2$  en 2008 et  $218,18 \pm 50,11$  faisceaux /m² en 2012. En 2015 elle est de  $155 \pm 48,4$  faisceaux /m² à une profondeur moyenne de -20,8 mètres. En 2018 elle est de  $142,5 \pm 61,6$  faisceaux /m² à une profondeur



moyenne de -20,6 mètres. En 2021 elle est de **136 ± 68,4 faisceaux /m<sup>2</sup>** à une profondeur moyenne de -20,4 mètres.

L'herbier est en **état normal en 2008 et 2012 et en état médiocre depuis 2015** compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini and Pergent, 2010) ; La densité est **normale en 2008 et 2012 et sub-normale inférieure aux suivis postérieurs** (Pergent et al., 1995).

Le déchaussement était faible en 2012 et en 2015 (<5 cm). **En 2018 et en 2021 le déchaussement est moyen** (compris entre 5 et 10 cm).

Les EQR en 2008 (0,510) et 2012 (0,507) sont proches de la valeur moyenne régionale tandis que les EQR en 2015 (0,447), 2018 (0,443) et 2021 (0,440) sont légèrement inférieurs comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région PACA. Ils indiquent **un état moyen du site en 2008, 2012, 2015, 2018 et en 2021.**

*d. Perturbations observées*

Aucune pression particulière n'a été relevée en 2021 hormis la présence de macrodéchets (tas d'assiettes).

*e. Données historiques*

Le site de « Digue Marseille » est un site RSP mis en place en 1986. La limite inférieure était située à une profondeur moyenne de -26,5 mètres. L'eau y est turbide et le substrat est composé de sable grossier. L'herbier était quasi-continu entre les balises 1 et 5 et davantage morcelé au niveau des balises 6 à 11. L'herbier présentait des densités normales à normales supérieures en 2004 dans le sens de la classification (Pergent et al., 1995) ainsi qu'un fort recouvrement. Une évolution progressive de la limite inférieure au niveau de ce site RSP était relevée depuis 2001. La régression dont il a fait l'objet pendant de nombreuses années (construction du port de la Pointe Rouge, aménagements des plages artificielles dans la baie du Prado...) semble s'être complètement arrêtée aux derniers suivis RSP.

*f. Cartographie des herbiers par photogrammétrie*

**Digue Marseille**

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2008-2012, on observe sur ce site 0 % de discordance positive, 4,64 % de discordance négative et 95,36 % de concordance. **L'indice d'évolution (-1) indique un herbier avec une tendance régressive.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2012-2015, on observe sur ce site 14,58 % de discordance positive, 0,94 % de discordance négative et 84,48 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,12) indique un herbier avec une tendance stable.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 0,32 % de discordance positive, 0,05 % de discordance négative et 99,63 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,88) indique un herbier avec une tendance progressive.**

**Les paramètres de vitalité tout comme la dynamique évolutive de l'herbier analysée par télémétrie acoustique puis par photogrammétrie montraient un herbier à tendance régressive entre 2008 et 2015, qui s'est ensuite stabilisé entre 2015 et 2018, et qui montre entre 2018-2021 une tendance progressive, que le prochain suivi permettra de confirmer.**

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier **en bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**moyen état** écologique entre 2012 et 2018).

Tableau 26 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FREC06a	FREC06a	FREC06a	
Nom du site	Digue Marseille	Digue Marseille	Digue Marseille	
Période d'évolution	2008-2012	2012-2015	2018-2021	
% Discordance positive	0	2	14	0 69 9.47
% Discordance négative	4	2	0	0 51 8.18
% Concordance	95	94	84	0 100 78.25
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	141	121	135	0 802 108.44

### Digue Marseille 2

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 14,77 % de discordance positive, 3,59 % de discordance négative et 81,65 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,61) indique un herbier avec une tendance progressive.**

Tableau 27 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FREC06a	
Nom du site	Digue Marseille 2	
Période d'évolution	2018-2021	
% Discordance positive	14	0 69 9.47
% Discordance négative	3	0 51 8.18
% Concordance	81	0 100 78.25
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	43	0 802 108.44

### Digue Marseille

Le modèle 3D du site Digue\_Marseille en 2021 a été généré suite à l'acquisition de **1942 photographies** prises sous l'eau.

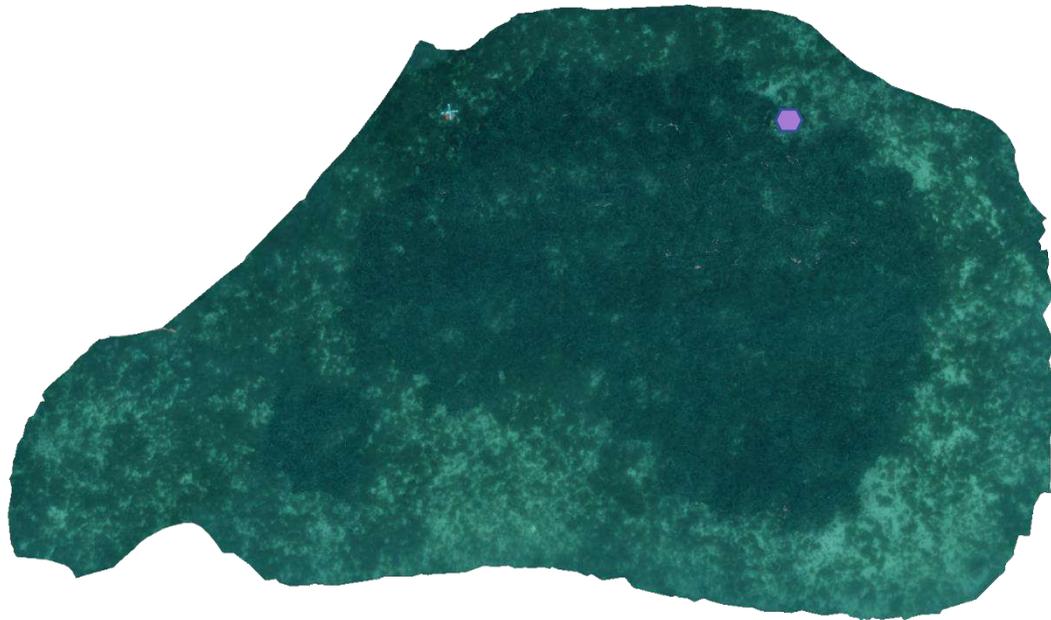


Figure 49 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021. (Point violet = roche).

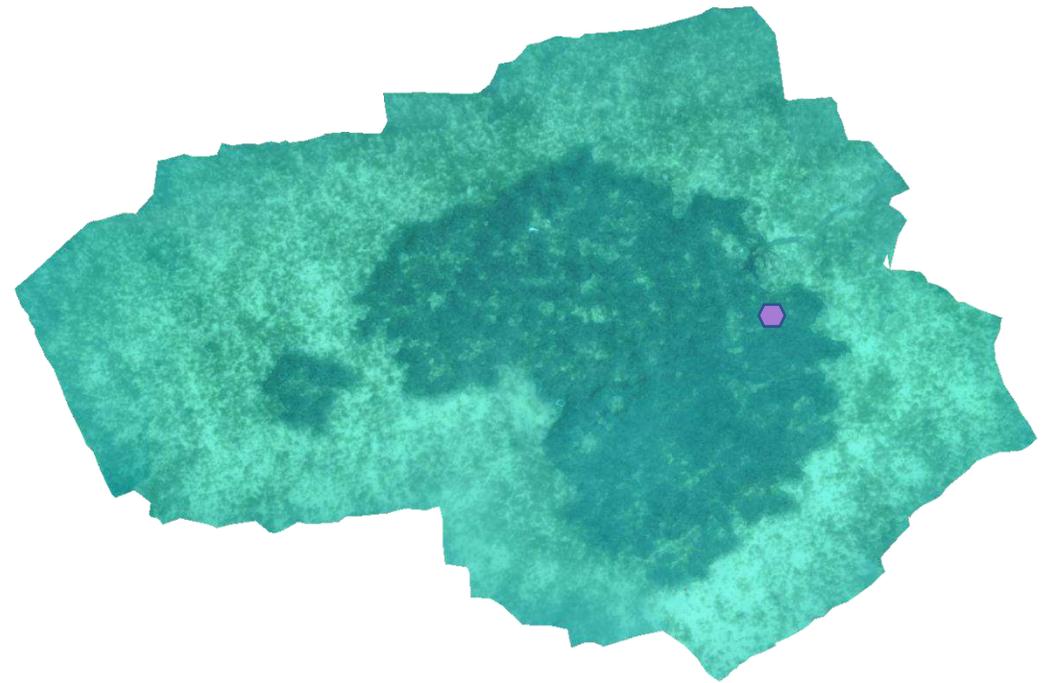
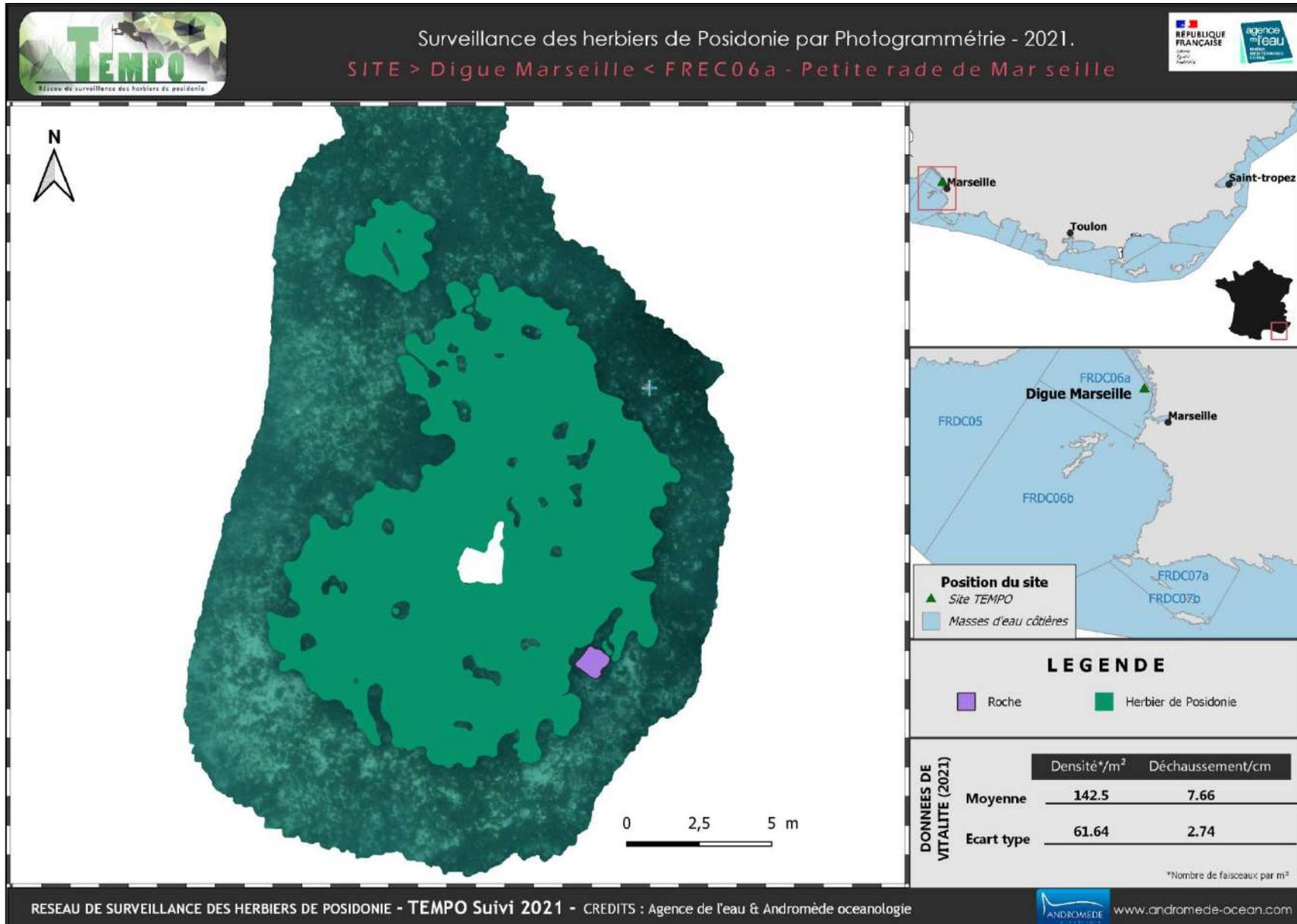
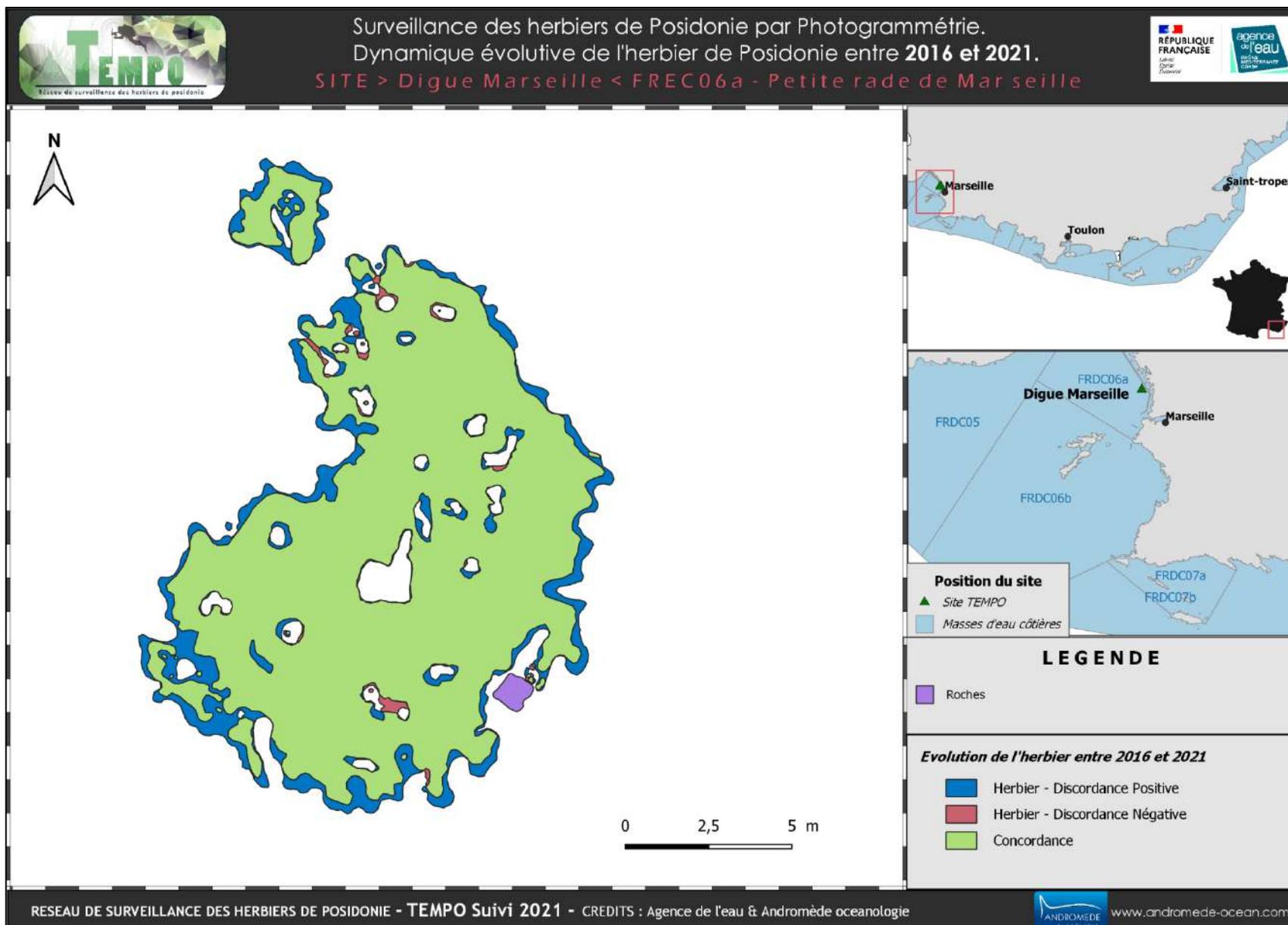


Figure 50 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2016. (Point violet = roche).

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie et sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2016 et 2021.





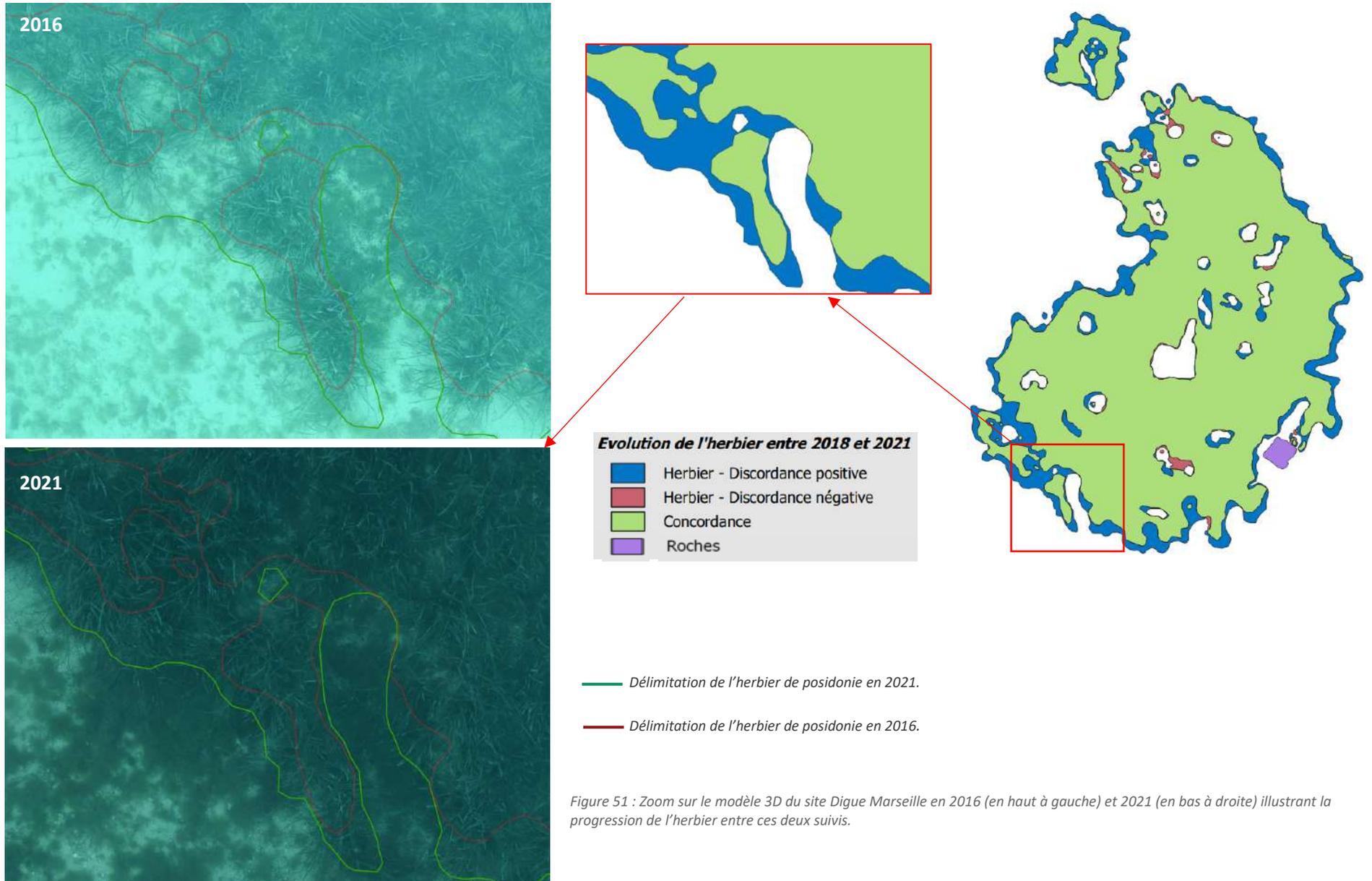


Figure 51 : Zoom sur le modèle 3D du site Digue Marseille en 2016 (en haut à gauche) et 2021 (en bas à droite) illustrant la progression de l'herbier entre ces deux suivis.



### Digue Marseille 2

Le modèle 3D du site Digue\_Marseille\_2 en 2021 a été généré suite à l'acquisition de **1889 photographies** prises sous l'eau.

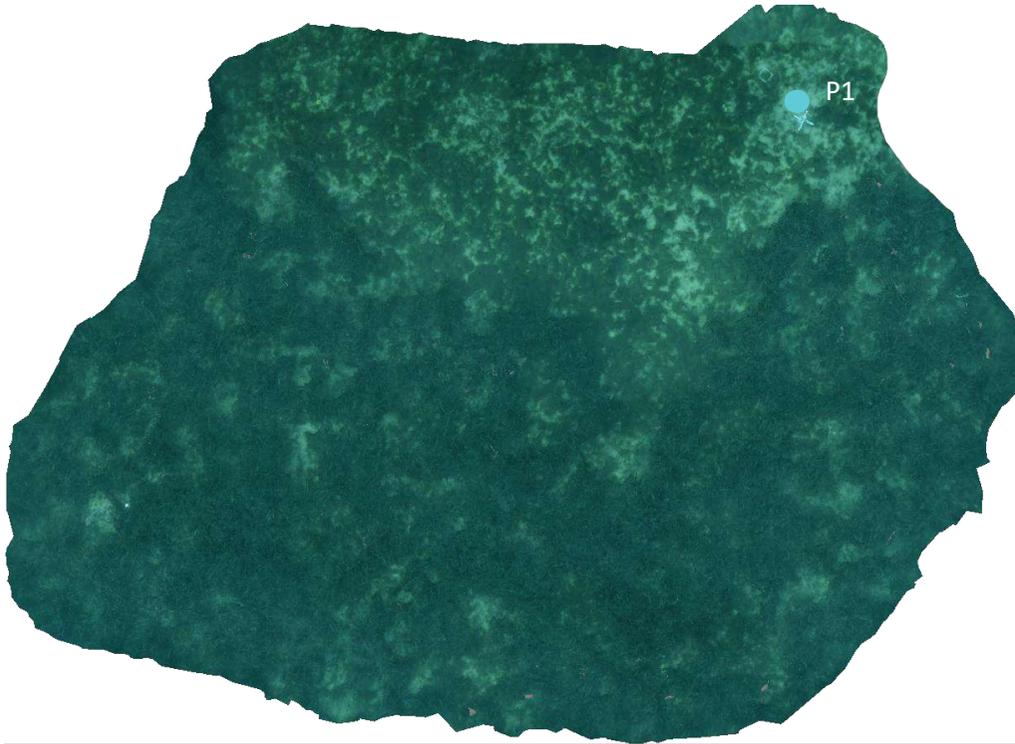


Figure 52 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021

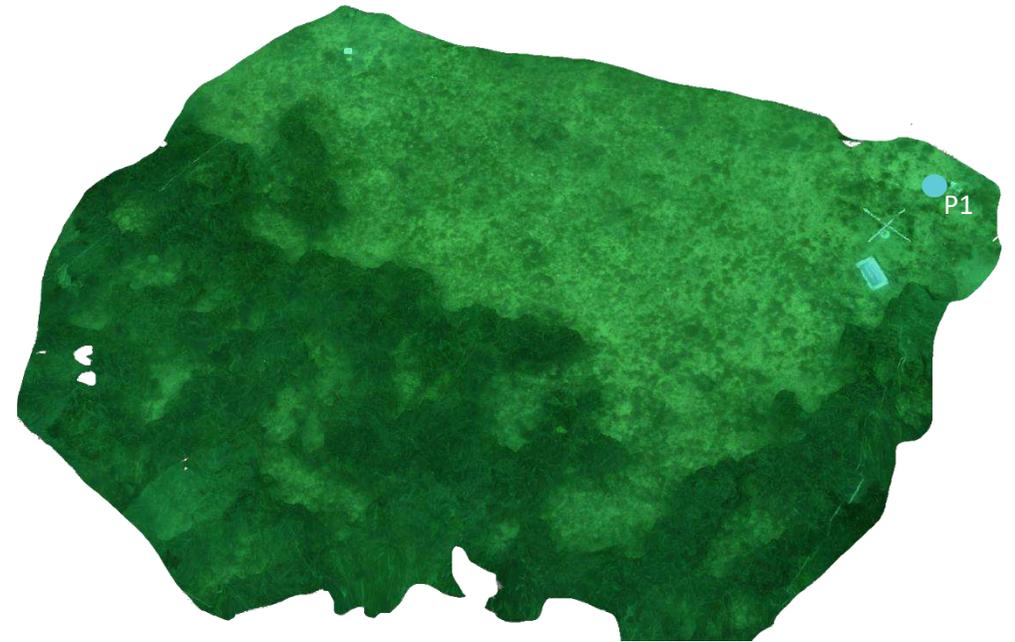
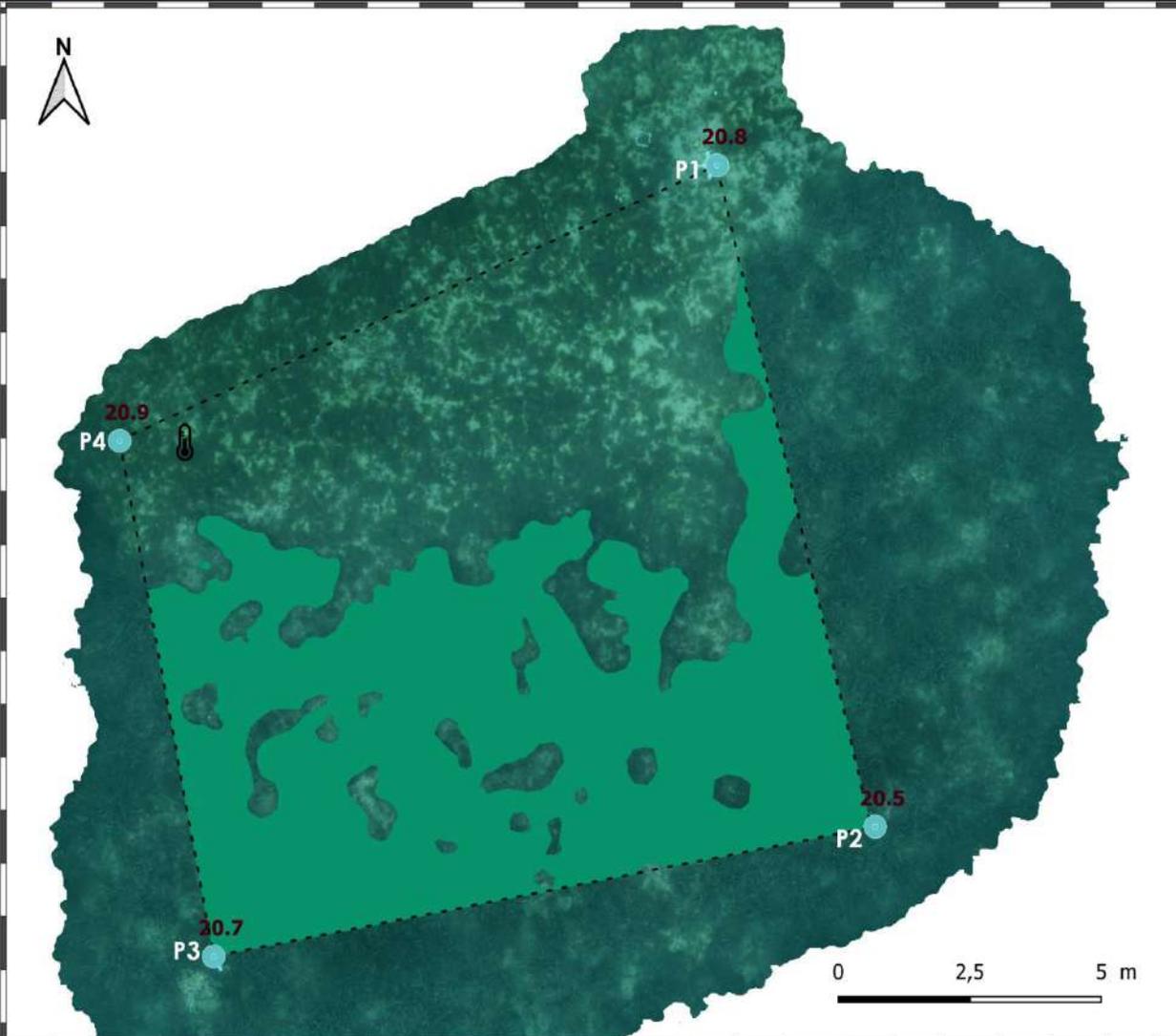


Figure 46 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2018.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie et sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.



Surveillance des herbiers de Posidonie par Photogrammétrie - 2021.  
 SITE > Digue Marseille 2 < FREC06a - Petite rade de Marseille



**Position du site**

- ▲ Site TEMPO
- Masses d'eau côtières

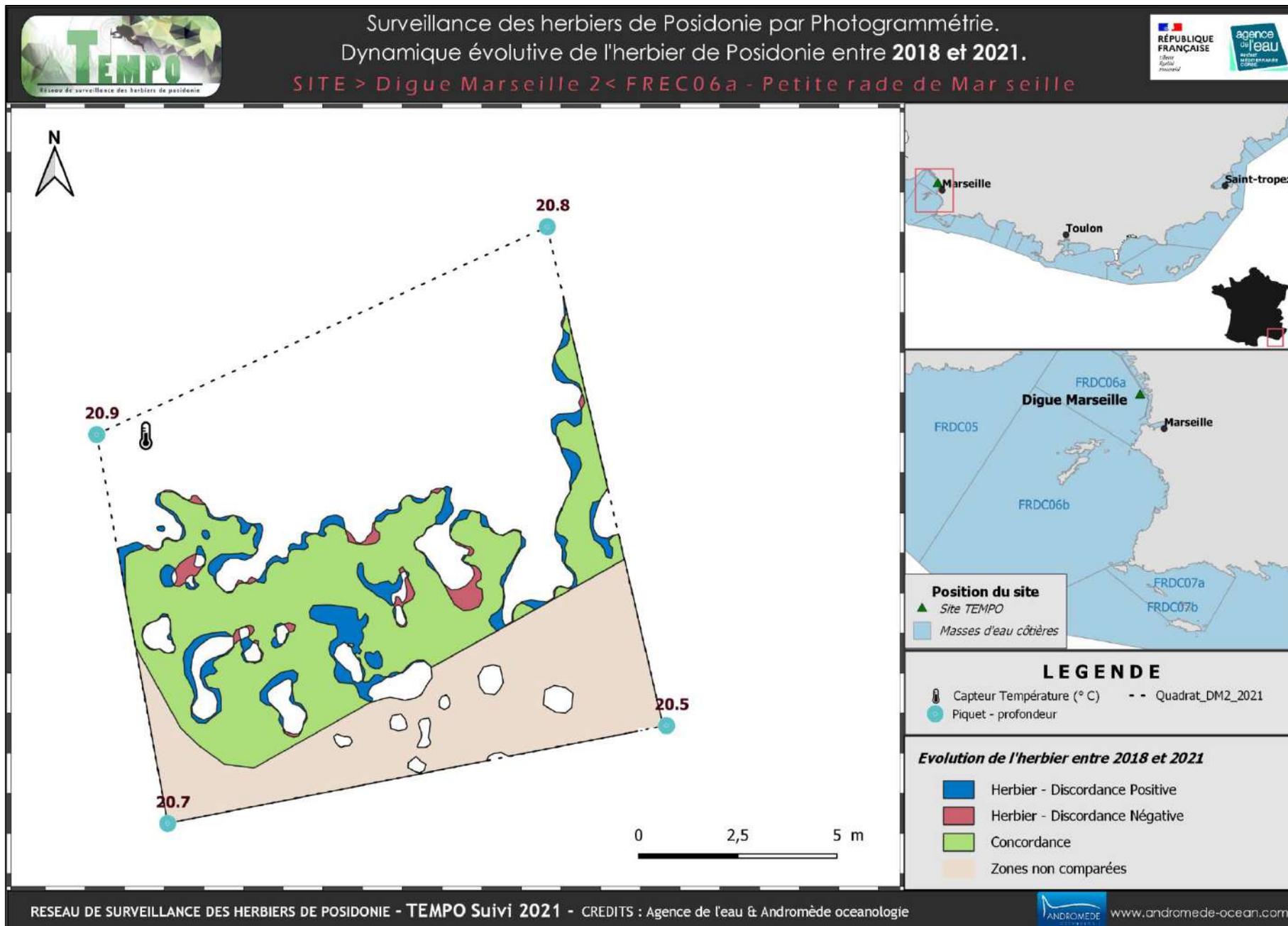
**LEGENDE**

- 🌡️ Capteur Température (° C)
- ⦿ Piquet - profondeur
- - Quadrat\_DM2\_2021
- Herbier de Posidonie

DONNÉES DE VITALITÉ (2021)	Densité*/m <sup>2</sup>	Déchaussement/cm
	Moyenne	135.8
Ecart type	68.44	4.95

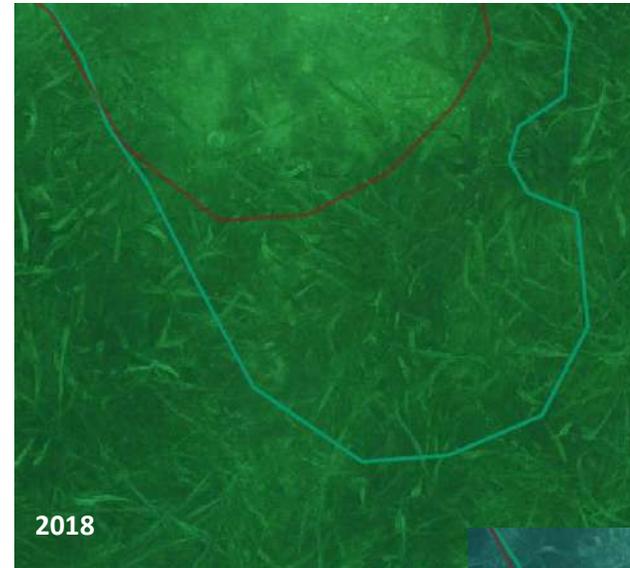
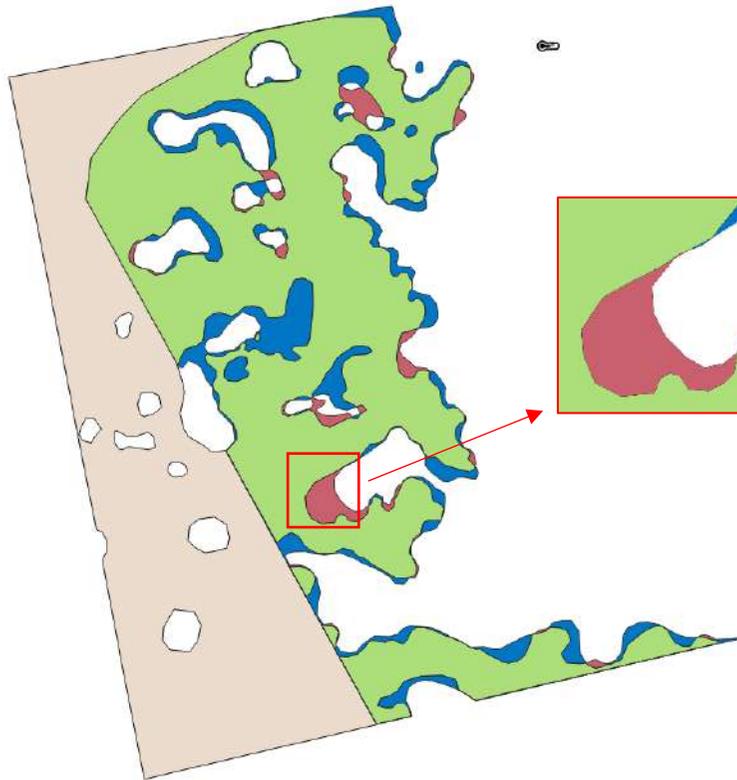
\*Nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>





**Evolution de l'herbier entre 2018 et 2021**

-  Herbier - Discordance positive
-  Herbier - Discordance négative
-  Concordance
-  Zones non comparées



— Délimitation de l'herbier de posidonie en 2021.

— Délimitation de l'herbier de posidonie en 2018.



Figure 53 : Zoom sur le modèle 3D du site Digue Marseille 2 en 2018 (à droite) et 2021 (en bas à droite) illustrant la **régression** de l'herbier entre ces deux suivis



## V.E.2. Digue\_Marseille\_PI (masse d'eau FRDC05) – Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale	
Température de l'eau (°C)	17
Visibilité (m)	7
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier <input type="checkbox"/> Sable fin <input type="checkbox"/> Matte morte <input checked="" type="checkbox"/> Substrat rocheux <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Présence de sable grossier et de rochers parsemés
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea <input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia <input type="checkbox"/> Algues filamenteuses <input type="checkbox"/> Womersleyella setacea <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche <input type="checkbox"/> Traces de mouillage <input type="checkbox"/> Structures artificielles <input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés <input checked="" type="checkbox"/> Macrodéchets <input type="checkbox"/> Hydrocarbures <input type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques	Beaucoup de déchets : tomettes, pavés, tuiles, blocs en tout genre, assiettes...
Espèces particulières	Serrans ( <i>Serranus sp.</i> ), sars, poulpe ( <i>Octopus vulgaris</i> ), bogues ( <i>Boops boops</i> ), castagnoles ( <i>Chromis chromis</i> ), <i>Codium sp.</i> , picarels ( <i>Spicara sp.</i> ) --> plus poissonneux qu'en limite inférieure 'Digue Marseille'
Remarques générales	Les feuilles des posidonies sont très rugueuses. Grandes dalles cassées. Herbier de posidonie sur le sable.



Figure 54 : Illustrations de l'herbier à -15 m (2018).



Ce site est plus poissonneux que celui en limite inférieure.

Figure 55 : Illustrations de l'herbier à -15 m (2021).

**b. Capteur de température**

Aucun capteur n'a été posé en 2021 car celui de 2018 n'a pas été retrouvé sur ce site.

**c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale**

L'indice BiPo a été calculé sur ce site en 2015, 2018 et 2021.

L'EQR de l'indice **BiPo** sur le site prospecté en 2015 (0,508), 2018 (0,427) et 2021 (0,481) est inférieur à la moyenne régionale comparé aux autres sites du réseau TEMPO de la région PACA. Le site présente en 2018 un EQR moins élevé lié à une longueur des feuilles plus faible ainsi qu'à une densité de faisceaux également plus faible (161 faisceaux, densité médiocre d'après les grilles de Pergent *et al.*, 2010). L'EQR indique **un état moyen du site d'après l'indice BiPo en 2015, 2018 et 2021.**

Les valeurs des différents EQR sont présentées dans le tableau suivant pour chaque année de suivi. **Le PREI n'est pas calculé sur ce site.**

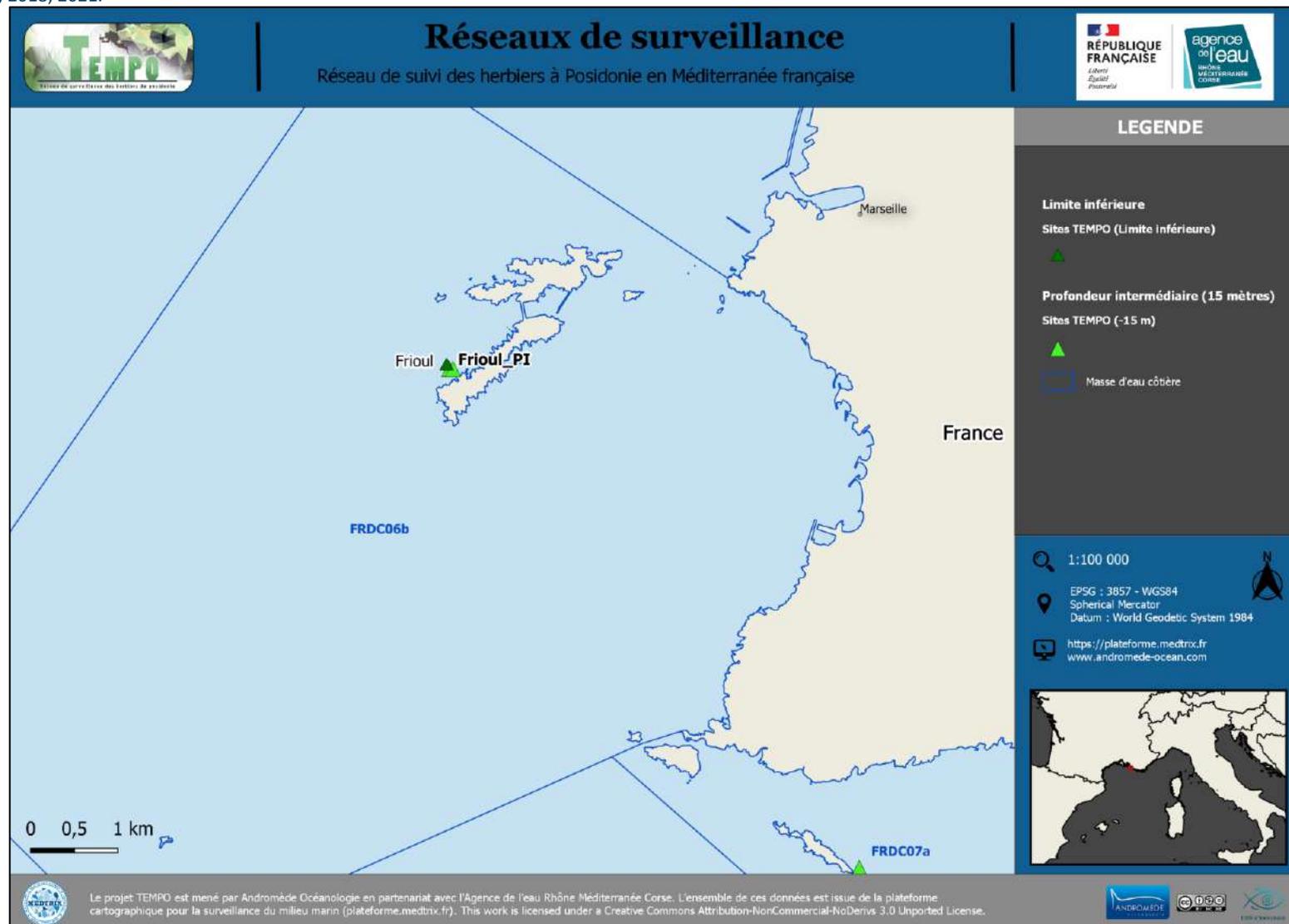
Tableau 28 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC06a	FRDC06a	FRDC06a	
Nom du site	Digue Marseille PI	Digue Marseille PI	Digue Marseille PI	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.45	0.44	0.44	0 0.77 0.48
Valeur BiPo (PI)	0.51	0.43	0.48	0.37 0.75 0.57
Valeur PREI (PI)	0	0	0	0 0.75 0.23
Profondeur intermédiaire du site (m)	15.5	15.5	15.9	13 18 15.04
Profondeur de la limite inférieure (m)	20.4	20.4	20.4	13 36 26.02
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m2)	213	162	148	122 477 246.5
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m2)	155	143	136	0 347 148.21
Type de limite inférieure	3	3	3	1 5 2.76
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	4.7	7.7	5.9	-1.5 10.5 2.44
Longueur des feuilles à la PI (mm)	640	510	680	237 1080 572.64



## V.F. Masse d'eau FRDC06b

La masse d'eau FRDC06b comprend un site TEMPO à la profondeur intermédiaire « Frioul\_PI » échantillonné en 2015, 2018, 2021, et un site TEMPO en limite inférieure « Frioul » échantillonné en 2012, 2015, 2018, 2021.



## V.F.1. Frioul (masse d'eau FRDC06b) – Limite inférieure

a. Présentation du site

Description générale				
Température de l'eau (°C)	17			
Visibilité (m)	8			
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux <input checked="" type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Sable grossier localement coquillé, rhizomes plagiotropes en limite inférieure d'herbier			
Perturbations biologiques	<input checked="" type="checkbox"/> <i>Caulerpa cylindracea</i>	<input type="checkbox"/> <i>Caulerpa taxifolia</i>	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> <i>Womersleyella setacea</i> <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Sur détritique côtier, faible densité (<20 %).			
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macro-déchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques				
Espèces particulières	Nombreux holothuries ( <i>holothuria sp.</i> ), girelles ( <i>Coris julis</i> ), picarels ( <i>Spicara sp.</i> ), gobie, spirographes ( <i>Sabella spalanzanii</i> ), un gros codium ( <i>Codium bursa.</i> )			



Figure 56 : Illustrations du site Frioul en limite inférieure de l'herbier (2021)

Le site Frioul est localisé dans la masse d'eau FREC06b, à l'Ouest de l'archipel du Frioul dans la rade de Marseille, et plus particulièrement au Nord de l'île Pomègues. L'herbier se développe sur un fond meuble (sable, localement sable grossier coquiller). Quatre balises sont positionnées entre -23,2 et -25,6 m. Ce site fait parti du Parc national des Calanques.

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 16.161
Longitude :	5 17.269
Date de pose	10/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20987413
Profondeur du capteur (m)	25,50
N° de piquet du quadrat	1,00
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Capteur sur le piquet 1 dans le sable, herbier, sable, plein d'holothuries



Figure 57 : Données et photo du capteur posé en 2021 en limite inférieure.

c. Mesures de vitalité et comparaison régionale

La limite inférieure était qualifiée de **franche de fort recouvrement lors des précédents suivis** (type 4). **En 2021 nous la qualifions de progressive en raison des nombreux rhizomes plagiotropes observés** (type 5). Elle se situe à **25 m** de profondeur.

La densité moyenne à -24,5 mètres est de 217,65 ± 51,69 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2012, de 171,7 ± 54,8 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2015 à la profondeur moyenne de -24,2 mètres, 212,5 ± 88,7 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2018 à la profondeur moyenne de -24,1 mètres et 217,5 ± 87,8 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2021 à la profondeur moyenne de -25,3 mètres. L'herbier est en **bon état en 2012, 2018 et 2021 et en état normal en 2015** compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini and Pergent, 2010) ; La densité est **normale sur les suivis** (Pergent et al., 1995).

Le déchaussement est faible en 2012, 2015 et 2021 (<5 cm). En 2018 il était moyen (compris entre 5 et 10 cm). En 2021, nous remarquons que l'herbier est localement très déchaussé mais parfois les rhizomes sont enfouis, notamment les rhizomes plagiotropes (très enfouis).

Les EQR en 2012 (0,640), 2015 (0,590), 2018 (0,633) et 2021 (0,677) sont supérieurs à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Sud. Ils indiquent **un état bon du site sur tous les suivis**.

Tableau 29 : Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC06b	FRDC06b	FRDC06b	FRDC06b	
Nom du site	Frioul	Frioul	Frioul	Frioul	
Année	2012	2015	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.64	0.59	0.63	0.68	0.26 - 0.77 0.51
Type de limite inférieure	4	4	4	5	1 - 5 2.64
EQR' Type de limite inférieure	0.89	0.89	0.89	1	0.21 - 1 0.58
Profondeur de la limite inférieure	25	25	25	25	13 - 36 25.62
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.55	0.55	0.55	0.55	0.25 - 0.94 0.59
Densité de faisceaux (faisceaux/m <sup>2</sup> )	218	172	213	218	23 - 419 168.52
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.48	0.33	0.48	0.48	0.13 - 0.84 0.36
Déchaussement de l'herbier (cm)	-1	0	6	4	-1 - 10 1.82

d. Perturbations observées



En 2021 nous avons observé l'espèce *Caulerpa cylindracea* en faible recouvrement (<20 %) sur le détritique côtier en aval de la limite inférieure d'herbier.

Figure 58 : *Caulerpa cylindracea* (2021).

e. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfaique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2012-2015, on observe sur ce site 4,07 % de discordance positive, 11,27 % de discordance négative et 84,66 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,47) indique un herbier avec une tendance régressive.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2015-2018, on observe sur ce site 6,84 % de discordance positive, 6,6 % de discordance négative et 86,56 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,02) indique un herbier stable.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 11,22 % de discordance positive, 0,99 % de discordance négative et 87,79 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,84) indique un herbier avec une tendance progressive.**

**Les paramètres de vitalité (densité de faisceaux) tout comme la dynamique évolutive de l'herbier montraient un herbier à tendance régressive jusqu'en 2015, dont la dynamique s'est stabilisée en 2018, et qui présente en 2021 une tendance progressive, à confirmer lors du prochain suivi en 2024.**

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**moyen état** écologique entre 2012 et 2018).

Tableau 30 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC06b	FRDC06b	FRDC06b	
Nom du site	Frioul	Frioul	Frioul	
Période d'évolution	2012-2015	2015-2018	2018-2021	
% Discordance positive	4	6	11	0 69 9.47
% Discordance négative	11	6	0	0 51 8.18
% Concordance	84	86	87	0 100 78.25
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	63	58	132	0 802 108.44

Le modèle 3D du site Frioul en 2021 a été généré suite à l'acquisition de **1945 photographies** prises sous l'eau. Les figures suivantes montrent l'orthophotographie réalisée en 2021 et en 2018. Ces figures sont suivies de cartes illustrant la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.



Figure 59 : Vue globale du site en 2021.



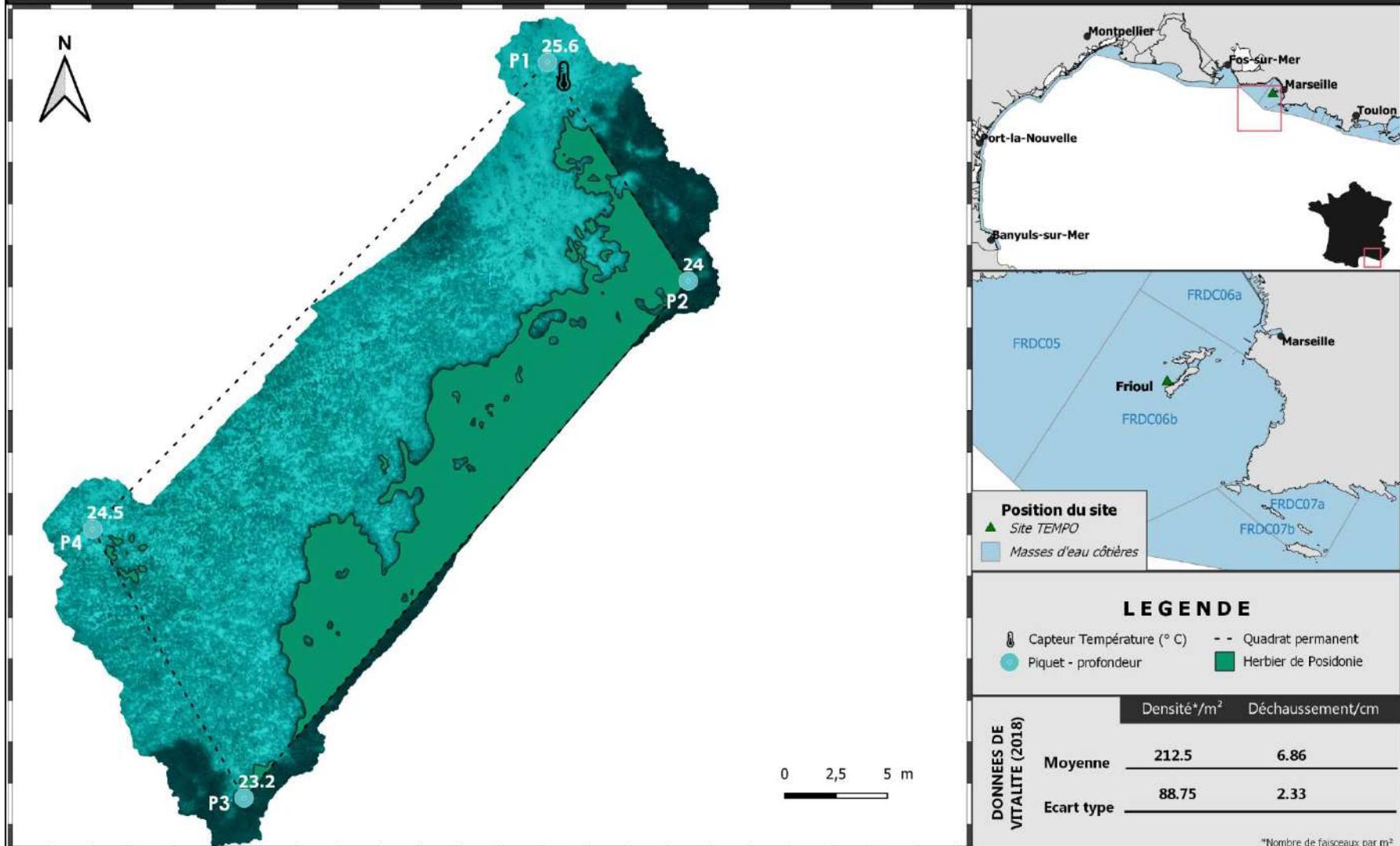
Figure 60 : Vue globale du site en 2018.



Surveillance des herbiers de Posidonie par Photogrammétrie - 2021.



SITE > Frioul < FREC06b - Pointe d'Endoume - Cap Croisette et îles du Frioul



**Position du site**

- ▲ Site TEMPO
- Masses d'eau côtières

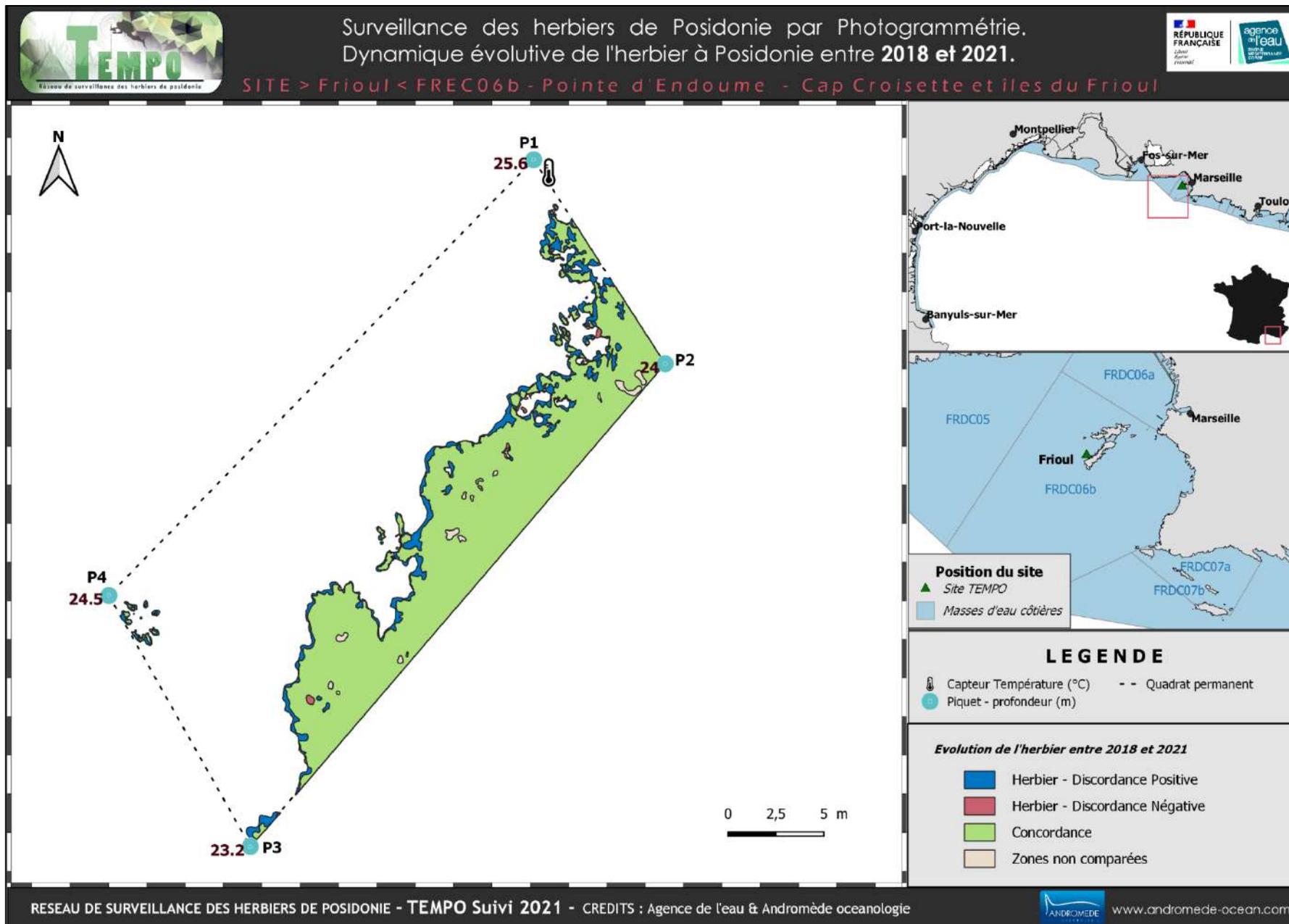
**LEGENDE**

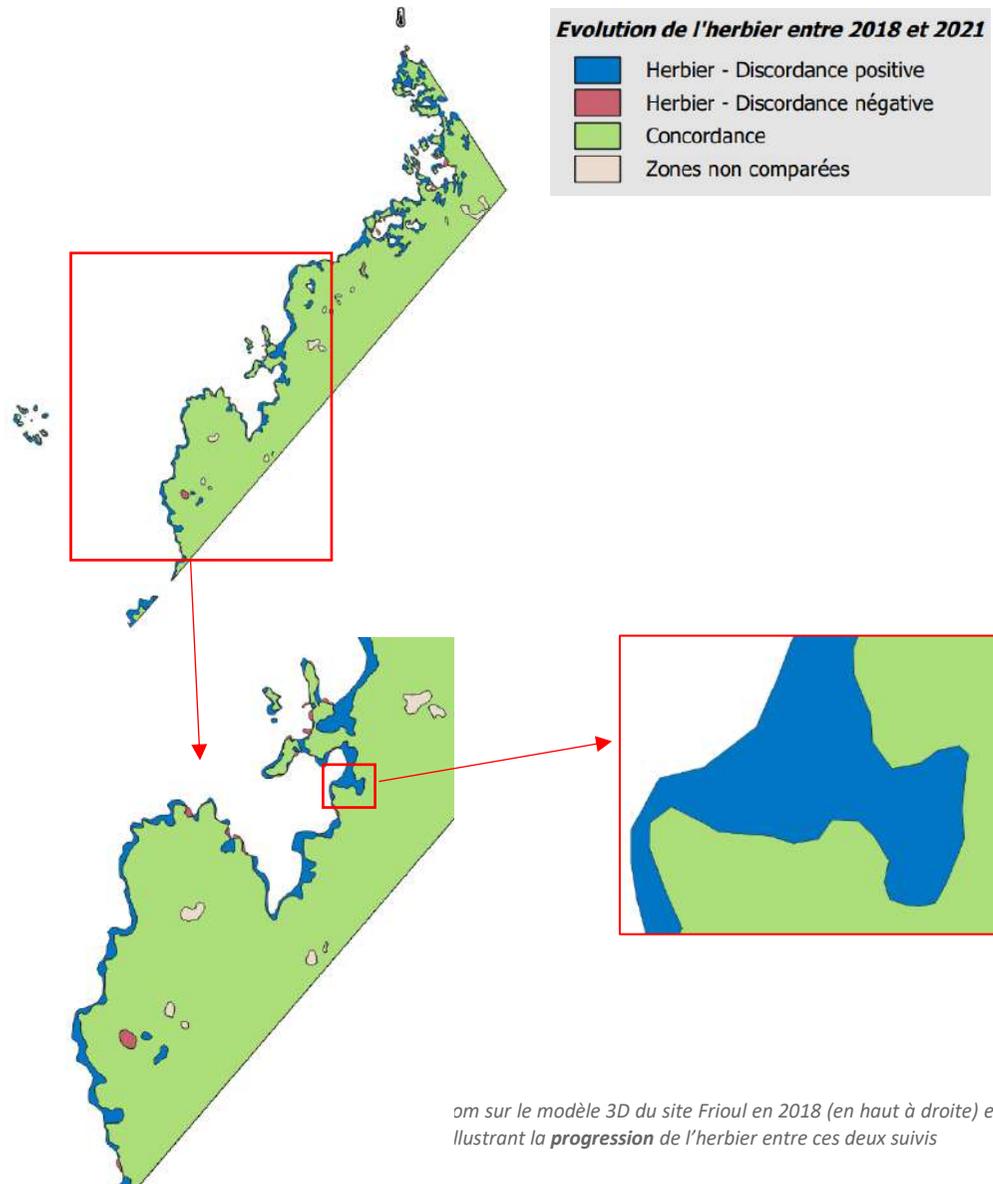
- 📏 Capteur Température (° C)
- ⦿ Piquet - profondeur
- - Quadrat permanent
- Herbier de Posidonie

	Densité*/m <sup>2</sup>	Déchaussement/cm
<b>Moyenne</b>	212.5	6.86
<b>Ecart type</b>	88.75	2.33

\*Nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>







Com sur le modèle 3D du site Frioul en 2018 (en haut à droite) et 2021 (en bas à droite) illustrant la **progression** de l'herbier entre ces deux suivis

— Délimitation de l'herbier de posidonie en 2021.

— Délimitation de l'herbier de posidonie en 2018.



## V.F.2. Frioul PI (masse d'eau FREC06b) – Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale				
Température de l'eau (°C)	16			
Visibilité (m)	10			
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input checked="" type="checkbox"/> Substrat rocheux
Remarques	Herbier en bas de la falaise, avec coralligène et roche. Sable grossier dans les trous			
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea
Remarques				
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché
Remarques				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques				
Espèces particulières	Crénilabre à cinq taches ( <i>Symphodus roissali</i> ), castagnoles ( <i>Chromis chromis</i> ), girelles ( <i>Coris julis</i> ), dorade royale ( <i>Sparus aurata</i> ), petit sar commun ( <i>Diplodus sargus</i> ), pleins de codium ( <i>Codium bursa</i> ).			
Remarques générales	Mesures vitalité faites à 17,3m			



Figure 62 : Illustrations de l'herbier à -15 m (2021).

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 16.134
Longitude :	5 17.348
Date de pose	10/06/2021
Heure de lancement	20h
N° capteur	10528421
Profondeur du capteur (m)	17,3
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Capteur fixé à un rocher en bas de la pente, en limite d'herbier



Figure 63 : Données et photo du capteur posé en 2021 à -15 m

c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale

Les indices PREI et BiPo ont été calculés sur ce site en 2015, 2018 et 2021.

Les EQR de l'indice PREI calculés en 2015 (0,579), 2018 (0,552) et 2021 (0,66) sur la station Frioul PI indiquent un bon état écologique.

L'EQR de l'indice BiPo sur le site prospecté en 2015 (0,555), 2018 (0,593) et 2021 (0,645) est supérieur à la moyenne régionale comparé aux autres sites du réseau TEMPO de la région PACA. Le site présente en 2021 un EQR légèrement supérieur lié notamment à un type de

limite inférieure qui passe de franche à progressive. L'EQR indique un état bon du site d'après l'indice BiPo en 2015, 2018 et 2021.

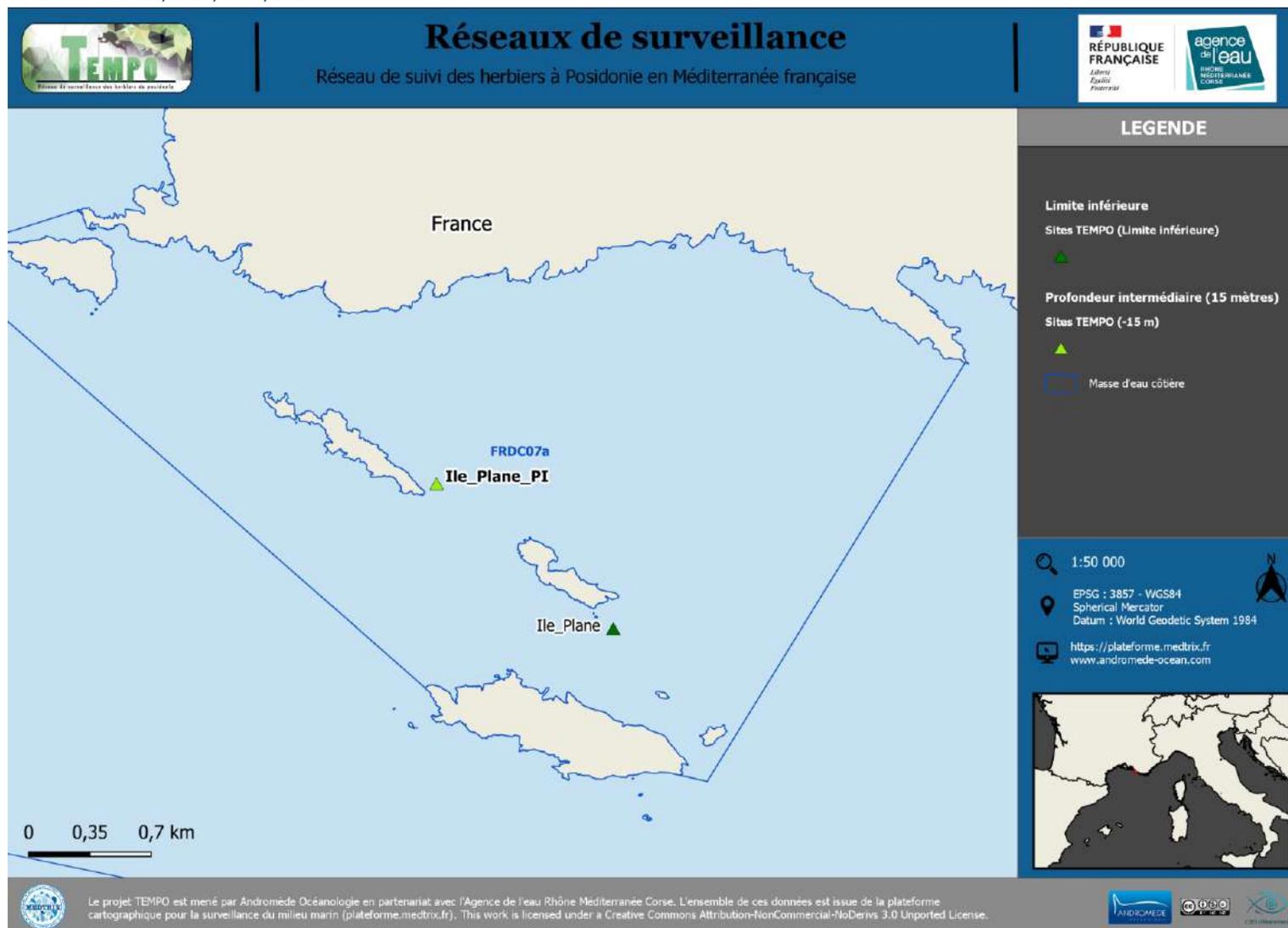
Tableau 31 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC06b	FRDC06b	FRDC06b	
Nom du site	Frioul PI	Frioul PI	Frioul PI	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.59	0.63	0.68	0 0.48 0.77
Valeur BiPo (PI)	0.56	0.59	0.65	0.37 0.57 0.75
Valeur PREI (PI)	0.58	0.55	0.66	0 0.23 0.75
Profondeur Intermédiaire du site (m)	16	16	16.5	13 15.04 18
Profondeur de la limite inférieure (m)	25	25	25	13 26.02 36
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m2)	205	187	278	122 246.5 477
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m2)	172	213	218	0 148.21 347
Type de limite inférieure	4	4	5	1 2.76 5
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	0.8	6.9	4.7	-1.5 2.44 10.5
Longueur des feuilles à la PI (mm)	491	347	530	237 572.64 1080
Surface foliaire à la PI (cm²/faisceaux)	241	207	273	0 96.44 408
Charge épiphytaire à la PI	0.13	0.14	0.14	0 0.05 0.27



## V.G.Masse d'eau FRDC07a

La masse d'eau FRDC07a comprend un site TEMPO à la profondeur intermédiaire « Ile\_Plane\_PI » échantillonné en 2015, 2018, 2021, et un site TEMPO en limite inférieure un site TEMPO : « Ile\_Plane » échantillonné en 2012, 2015, 2018, 2021.



## V.G.1. Ile Plane (masse d'eau FREDC07a) – Limite inférieure

a. Présentation du site

Description générale					
Température de l'eau (°C)	17				
Visibilité (m)	15				
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input checked="" type="checkbox"/> Matte morte	<input checked="" type="checkbox"/> Substrat rocheux	<input checked="" type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	rhodolithes				
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea	<input checked="" type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Asparagopsis sp.				
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché	<input checked="" type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Faisceaux arrachés sur le site, posés sur le fond.				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input checked="" type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...	
Remarques	une sorte de bidon rouillé				
Espèces particulières	Gorgones, ascidies, une grosse dorade royale ( <i>Sparus aurata</i> ), un rouget ( <i>Mullus surmuletus</i> ), un crénilbare méditerranéen ( <i>Symphodus mediterraneus</i> )				
Remarques générales					



Figure 64 : Illustrations du site Ile Plane en limite inférieure de l'herbier (2021).

Le site « Ile Plane » est localisé dans la masse d'eau FREC07a, entre les îles du Riou et Plane, au sein du périmètre du Parc national des Calanques. L'herbier se développe sur un fond de sable grossier, substrat rocheux avec présence de rhodolithes. Quatre piquets sont positionnés entre -24,9 et -27,6 m. En 2021 nous avons observé des gorgones, des ascidies, une grosse dorade royale, un rouget, un crénilabre méditerranéen.



Figure 65 : Illustrations du site Ile Plane en limite inférieure de l'herbier (2021)

b. Capteur de Température

Capteur de température	
Latitude :	43 11.024
Longitude :	5 23.463
Date de pose	09/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	10827969
Profondeur du capteur (m)	26.5
N° de piquet du quadrat	1
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Sur piquet 1 dans sable (avec blocs de coralligène érodés) à la limite de la matte morte et de l'herbier



Figure 66 : Données et photo du capteur posé en 2021 en limite inférieure

c. Mesures de vitalité et comparaison régionales

Les EQR en 2012 (0,650), 2015 (0,670), 2018 (0,617) et 2021 (0,610) sont supérieurs à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Sud. Ils indiquent **un état bon du site en 2012, 2015, 2018 et 2021**.

Tableau 32: Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07a	FRDC07a	FRDC07a	FRDC07a	
Nom du site	Ile Plane	Ile Plane	Ile Plane	Ile Plane	
Année	2012	2015	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.65	0.67	0.62	0.61	0.26 — 0.77 0.51
Type de limite inférieure	5	5	5	5	1 — 5 2.62
EQR' Type de limite inférieure	1	1	1	1	0.21 — 1 0.58
Profondeur de la limite inférieure	26	26	26	26	13 — 36 25.62
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.59	0.59	0.59	0.59	0.25 — 0.94 0.59
Densité de faisceaux (faisceaux/m²)	182	199	119	110	23 — 419 168.52
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.36	0.42	0.26	0.24	0.13 — 0.84 0.36
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	3	5	3	-1 — 10 1.82

La limite inférieure est globalement régressive naturelle mais à tendance **progressive** (présence de rhizomes plagiotropes localement). Elle se situe à **26 m** de profondeur.

La densité moyenne à -24,9 mètres est de 182,3 ± 58,9 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2012, de 199,2 ± 55,1 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2015 à la profondeur moyenne de -25,3 mètres, 119 ± 46,7 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2018 à la profondeur moyenne de -25,3 mètres et **119 ± 62,2 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2021 à la profondeur moyenne de -26,4 mètres.**

L'herbier est en **état normal en 2012, 2018 et 2021, et en état bon en 2015** (valeur limite entre les classes bonne et normale) compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini and Pergent, 2010) ; La densité est **normale sur les suivis** (Pergent et al., 1995).

Le déchaussement est faible en 2012, 2015 et 2021 (<5 cm) tandis qu'il est moyen en 2018 (compris entre 5 et 10 cm – tout en restant proche d'un déchaussement faible).

d. Perturbations observées



En 2021, l'espèce *Asparagopsis sp.* est observée sur le site. Quelques macrodéchets sont rencontrés comme un bidon rouillé (figure ci-dessous). Observation de faisceaux d'herbier arrachés, posés sur le fond.

Figure 67 : Bidon rouillé observé sur le site en 2021.

e. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2012-2015, on observe sur ce site 1,55 % de discordance positive, 18,85 % de discordance négative et 79,6 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,85) indique un herbier avec une tendance régressive.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2015-2018, on observe sur ce site 8,04 % de discordance positive, 6,42 % de discordance négative et 85,53 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,11) indique un herbier avec une tendance stable.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 17,58 % de discordance positive, 1,74 % de discordance négative et 80,68 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,82) indique un herbier avec une tendance progressive.**

**La dynamique évolutive de l'herbier montrait un herbier à tendance régressive jusqu'en 2015, qui s'est stabilisé en 2018, et qui présente en 2021 une tendance progressive, à confirmer lors du prochain suivi en 2024.**

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**moyen état** écologique entre 2012 et 2018).

Tableau 33 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC07a	FRDC07a	FRDC07a	
Nom du site	Ile Plane	Ile Plane	Ile Plane	
Période d'évolution	2012-2015	2015-2018	2018-2021	
% Discordance positive	1	8	17	0 69 9.47
% Discordance négative	18	6	1	0 51 8.18
% Concordance	79	85	80	0 100 78.25
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	40	34	32	0 802 108.44



Le modèle 3D du site Ile Plane en 2021 a été généré à la suite de l'acquisition de **1026 photographies** prises sous l'eau.

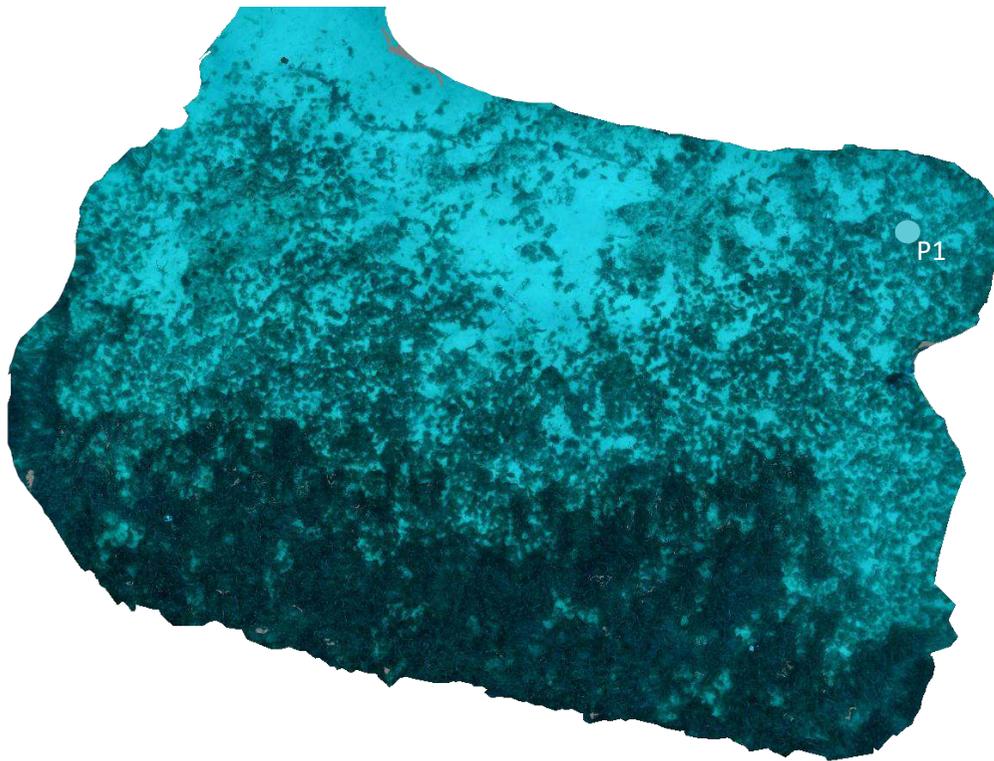


Figure 68 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.

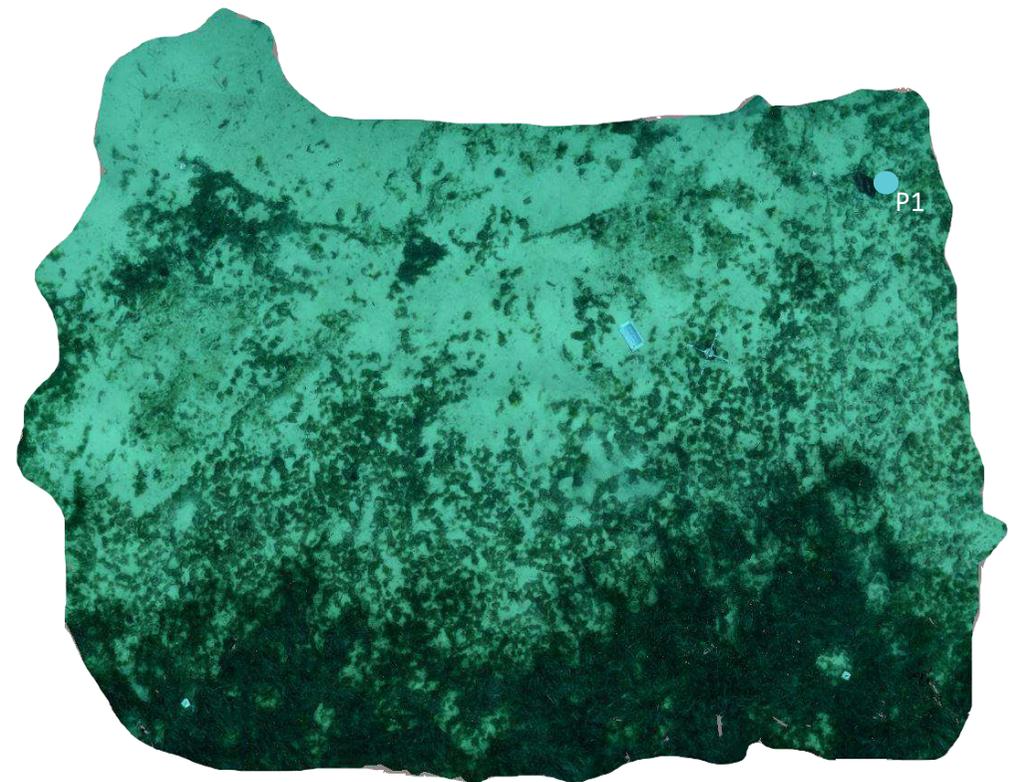
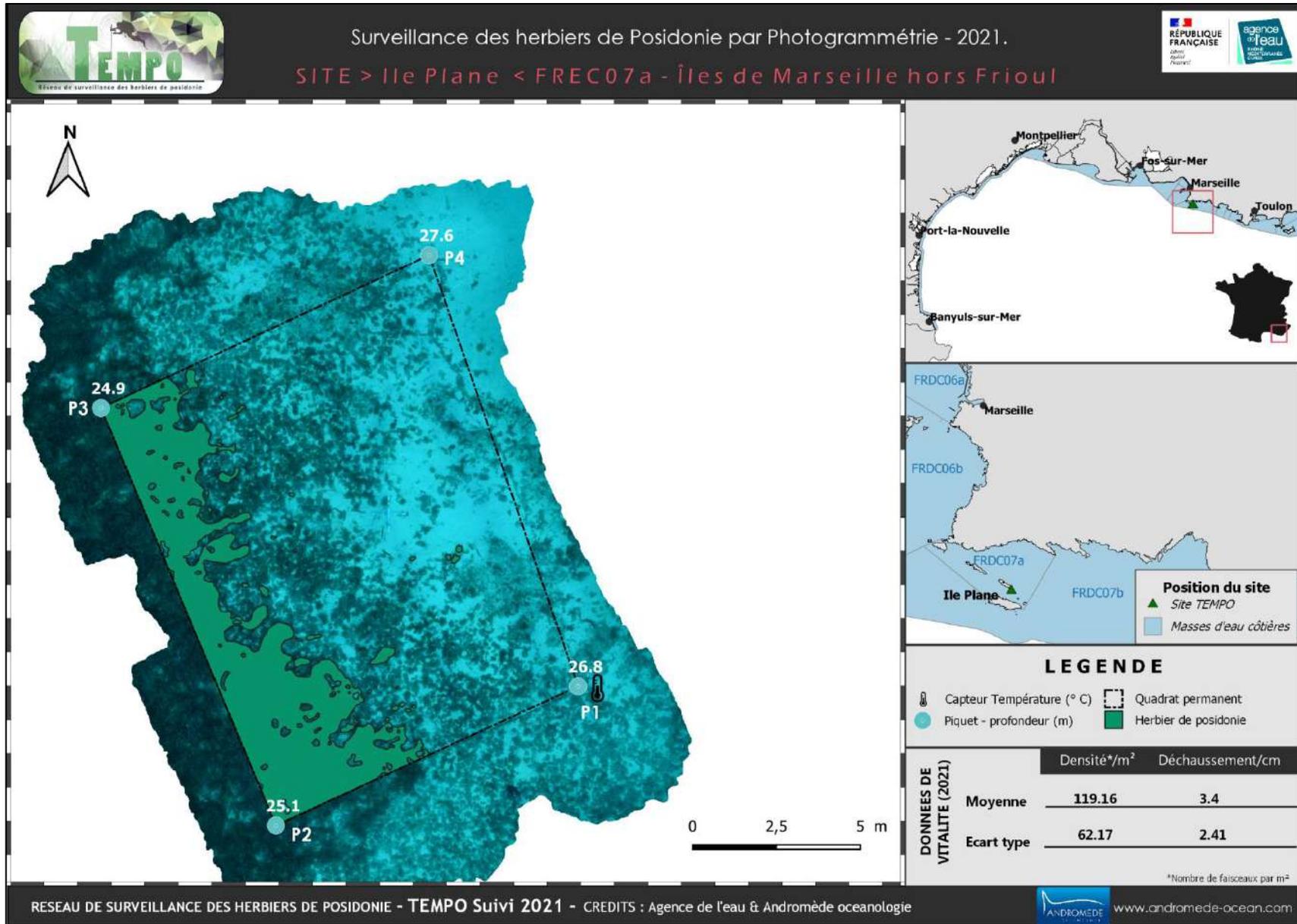
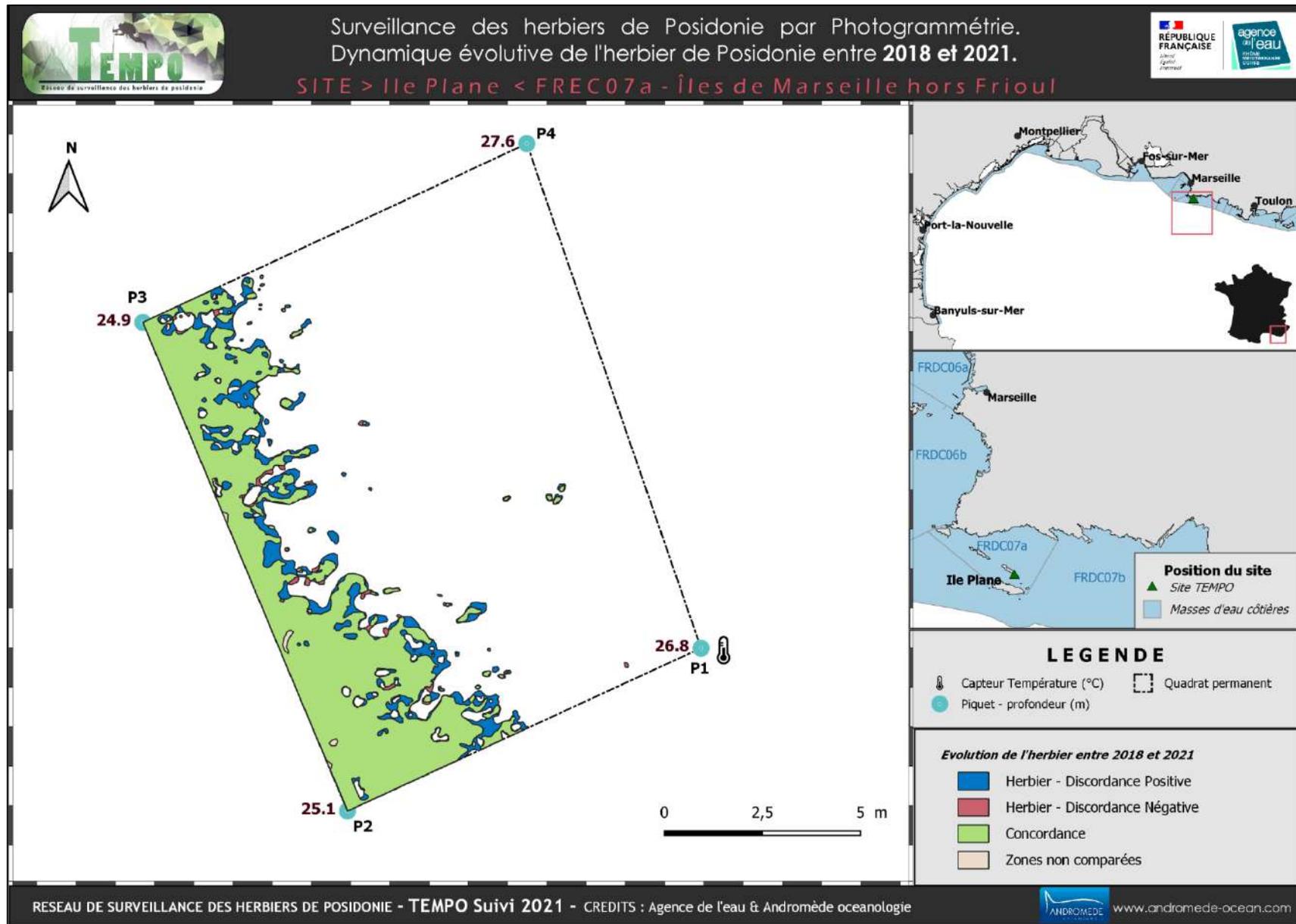
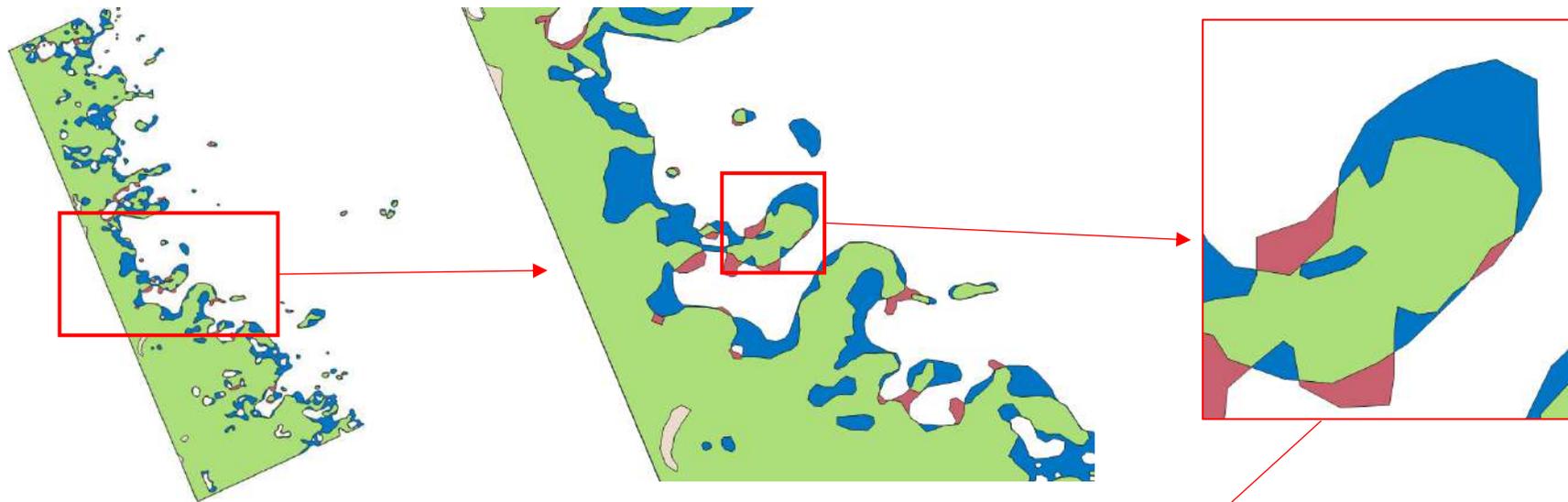


Figure 69 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2018.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.







**Evolution de l'herbier entre 2018 et 2021**

- Herbier - Discordance positive
- Herbier - Discordance négative
- Concordance
- Zones non comparées

— Délimitation de l'herbier de posidonie en 2021.

— Délimitation de l'herbier de posidonie en 2018.



Figure 70 : Zoom sur le modèle 3D du site Ile Plane en 2018 (à gauche) et 2021 (à droite) illustrant la **progression** (flèche rouge) de l'herbier entre ces deux suivis.



## V.G.2. Ile Plane PI (masse d'eau FRDC07a) – Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale	
Température de l'eau (°C)	17
Visibilité (m)	15
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier <input checked="" type="checkbox"/> Sable fin <input type="checkbox"/> Matte morte <input type="checkbox"/> Substrat rocheux <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Présence de rhizomes plagiotropes en limite herbier / sable
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea <input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia <input type="checkbox"/> Algues filamenteuses <input type="checkbox"/> Womersleyella setacea <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche <input type="checkbox"/> Traces de mouillage <input type="checkbox"/> Structures artificielles <input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés <input type="checkbox"/> Macrodéchets <input type="checkbox"/> Hydrocarbures <input type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques	
Espèces particulières	Beaucoup de faune au pied de l'herbier: Comatule de Méditerranée ( <i>Antedon mediterranea</i> ), bryozoaires, nombreux spirographes ( <i>Sabella spalanzanii</i> ) et vers tubicoles (environ 50/m <sup>2</sup> )
Remarques générales	picarels ( <i>Spicara sp.</i> ), rougets ( <i>Mulus surmuletus</i> ), sublet ( <i>Symphodus rostratus</i> ), girelles ( <i>Coris julis</i> ), labre ( <i>Labrus sp.</i> ).



Figure 71 : Illustrations de l'herbier à -15 m (2018).

### b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 11.669
Longitude :	5 22.375
Date de pose	09/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20125776
Profondeur du capteur (m)	15,3
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Piquet dans le sable en bordure de l'herbier (grande tâche de sable)



Figure 72 : Données et photo du capteur posé en 2021 à -15 m.

### c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale

Les indices BiPo et PREI ont été calculés sur ce site en 2015, 2018, 2021.

L'EQR de l'indice **BiPo** sur le site prospecté en 2015 (0,688), 2018 (0,692) et 2021 (0,701) est proche de la valeur maximale régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région PACA. Le site conserve **un bon état écologique depuis 2015**.

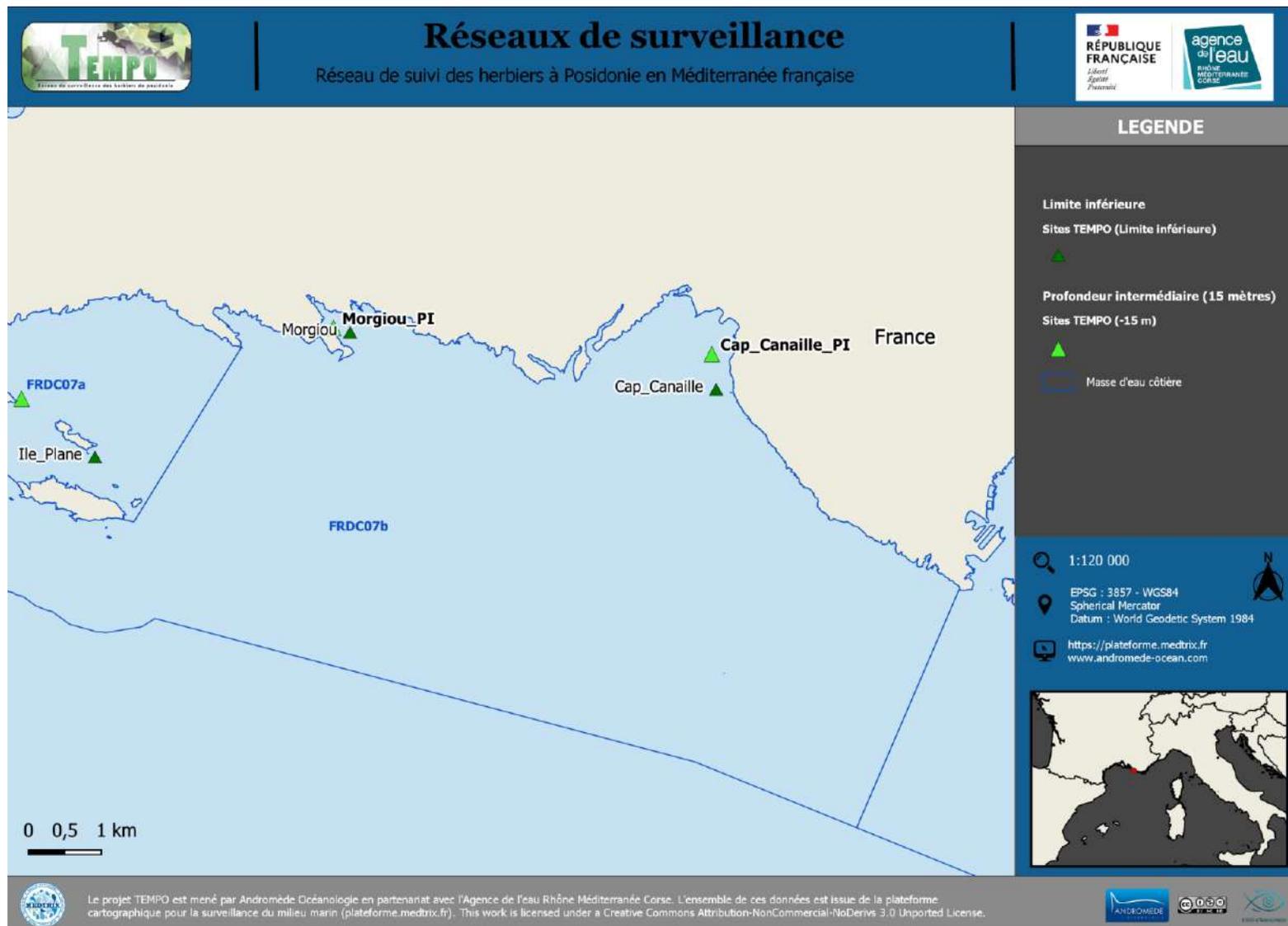
L'EQR de l'indice **PREI** sur le site prospecté en 2015 (0,673), 2018 (0,601) et 2021 (0,627) indique **un état bon du site depuis 2015**.

Tableau 34 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC07a	FRDC07a	FRDC07a	
Nom du site	Ile Plane PI	Ile Plane PI	Ile Plane PI	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.87	0.62	0.61	0 0.77 0.48
Valeur BiPo (PI)	0.89	0.69	0.7	0.37 0.75 0.57
Valeur PREI (PI)	0.67	0.6	0.68	0 0.75 0.23
Profondeur intermédiaire du site (m)	15	15	15	13 18 15.04
Profondeur de la limite inférieure (m)	26	26	26	13 36 26.02
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m <sup>2</sup> )	223	279	253	122 477 246.5
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m <sup>2</sup> )	199	119	119	0 347 148.21
Type de limite inférieure	5	5	5	1 5 2.76
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	3	5.9	3.4	-1.5 10.5 2.44
Longueur des feuilles à la PI (mm)	728	333	400	237 1080 572.64
Surface foliaire à la PI (cm <sup>2</sup> /faisceaux)	312	158	241	0 408 96.44
Charge épiphytaire à la PI	0.14	0.19	0.27	0 0.27 0.05

## V.H.Masse d'eau FRDC07b

La masse d'eau FRDC07b comprend deux sites TEMPO en limite inférieure : « Morgiou » échantillonnés en 2012, 2015, 2018 (site secondaire, non suivi en 2021 ; la fiche est disponible sur MEDTRIX dans le projet TEMPO) et « Cap Canaille » échantillonnés en 2012, 2015, 2018 et 2021 et deux autres à la profondeur intermédiaire (« Morgiou\_PI » et « Cap Canaille PI »).



## V.H.1. Cap\_Canaille (masse d'eau FRDC07b) – Limite inférieure

a. Présentation du site

Description générale				
Température de l'eau (°C)	17			
Visibilité (m)	20			
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux <input checked="" type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Sable coquiller			
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques				
Perturbations physiques	<input checked="" type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input checked="" type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Un long filet de pêche tombé sur sa corde au fond			
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Un vieux parpaing au large de la balise 1			
Espèces particulières	Bogues ( <i>Boops boops</i> ) dans la colonne eau, holothuries ( <i>Holothuria sp.</i> ) dans le sable			
Remarques générales				



Figure 73 : Illustrations du site Cap Canaille en limite inférieure de l'herbier (2021) : herbier de posidonie, grande nacre cassée, vieux parpaing, balise colonisée par des bryozoaires Reteporella sp.

Le site de Cap Canaille est localisé dans la masse d'eau FREC07b, au large de la commune de Cassis, au sein du périmètre du parc national des Calanques. L'herbier se développe sur un fond de sable grossier coquillé. Quatre piquets sont positionnés entre -32,5 et -34 m.

b. Capteur de Température

Capteur de température	
Latitude :	43 11.748
Longitude :	5 32.659
Date de pose	08/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20125783
Profondeur du capteur (m)	33.7
N° de piquet du quadrat	1,00
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Piquet 1 dans le sable hors de la limite

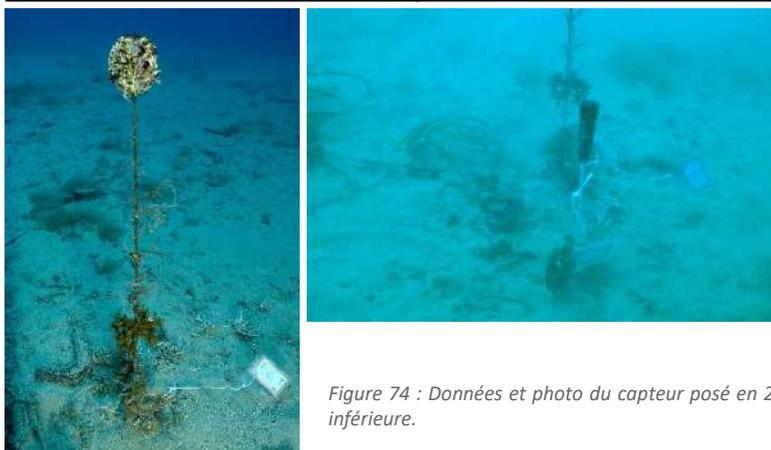


Figure 74 : Données et photo du capteur posé en 2021 en limite inférieure.

c. Mesures de vitalité et comparaison régionales

Tableau 35: Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07b	FRDC07b	FRDC07b	FRDC07b	
Nom du site	Cap Canaille	Cap Canaille	Cap Canaille	Cap Canaille	
Année	2012	2015	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.43	0.43	0.45	0.51	0.26 — 0.77 0.51
Type de limite inférieure	1	1	1	2	1 — 5 2.64
EQR' Type de limite inférieure	0.21	0.21	0.21	0.44	0.21 — 1 0.58
Profondeur de la limite inférieure	33	33	33	33	13 — 36 25.62
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.84	0.84	0.84	0.84	0.25 — 0.94 0.59
Densité de faisceaux (faisceaux/m <sup>2</sup> )	114	113	143	121	23 — 419 168.52
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.25	0.25	0.29	0.26	0.13 — 0.84 0.36
Déchaussement de l'herbier (cm)	-1	-1	0	0	-1 — 10 1.82

La limite inférieure était qualifiée de régressive lors des précédents suivis mais, en 2021, nous l'avons qualifiée de **clairsemée**. Elle se situe à **33 m** de profondeur.

La densité moyenne à -33 mètres est de 113,89 ±54,92 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2012, 112,5 ± 42,4 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2015, 142,5 ± 59 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2018 et **121 ± 29 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2021 à la profondeur moyenne de 33,2 m**. L'herbier est en **état normal en 2012 et en 2015, et bon en 2018 et en 2021** compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini and Pergent, 2010) ; La densité est **normale sur tous les suivis** (Pergent et al., 1995).

Le **déchaussement est très faible sur tous les suivis** (<5 cm).

Les EQR en 2012 (0,433), 2015 (0,433) et 2018 (0,447) sont inférieurs à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Sud. En 2021, l'EQR (0,513) correspond à la valeur moyenne régionale. Ces EQR indiquent **un état moyen du site qui tend à s'améliorer**.

d. Perturbations observées

La baie de Cassis est soumise à une forte pression de pêche, aux impacts du mouillage des grosses unités et est située face au port de Cassis. C'est également une zone de décantation des macrodéchets (Charbonnel *et al.*, 2000).

En 2021 nous avons observé un long filet de pêche posé sur le fond et un vieux parpaing (déjà observé lors des précédents suivis).

e. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfactive de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2012-2015, on observe sur ce site 3,19 % de discordance positive, 12,39 % de discordance négative et 84,42 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,59) indique un herbier avec une tendance régressive**.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2015-2018, on observe sur ce site 3,19 % de discordance positive, 4,11 % de discordance négative et 92,7 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,13) indique un herbier avec une tendance stable**.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 17,92 % de discordance positive, 5,47 % de discordance négative et 76,61 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,53) indique un herbier avec une tendance progressive**.

Les paramètres de vitalité et la dynamique évolutive de l'herbier analysée par télémétrie acoustique puis par photogrammétrie, montrait un herbier à **tendance régressive jusqu'en 2015, qui s'est stabilisée en 2018 et qui présente un herbier à tendance progressive en 2021, à confirmer lors du prochain suivi**.

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**état bon** entre 2012 et 2015 et état écologique **moyen** entre 2015 et 2018).

Tableau 36 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC07b	FRDC07b	FRDC07b	
Nom du site	Cap Canaille	Cap Canaille	Cap Canaille	
Période d'évolution	2012-2015	2015-2018	2018-2021	
% Discordance positive	3	3	17	0 9.47 69
% Discordance négative	12	4	5	0 8.18 51
% Concordance	84	92	76	0 78.25 100
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	115	104	21	0 108.44 802



Le modèle 3D du site Cap Canaille en 2021 a été généré suite à l'acquisition de **1320 photographies** prises sous l'eau.

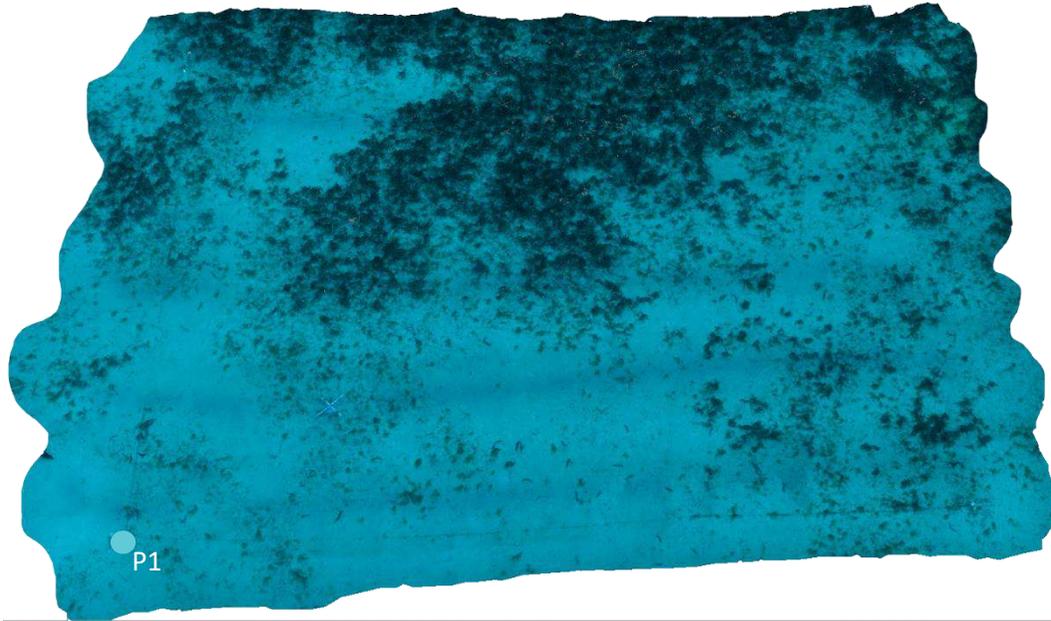


Figure 75 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.

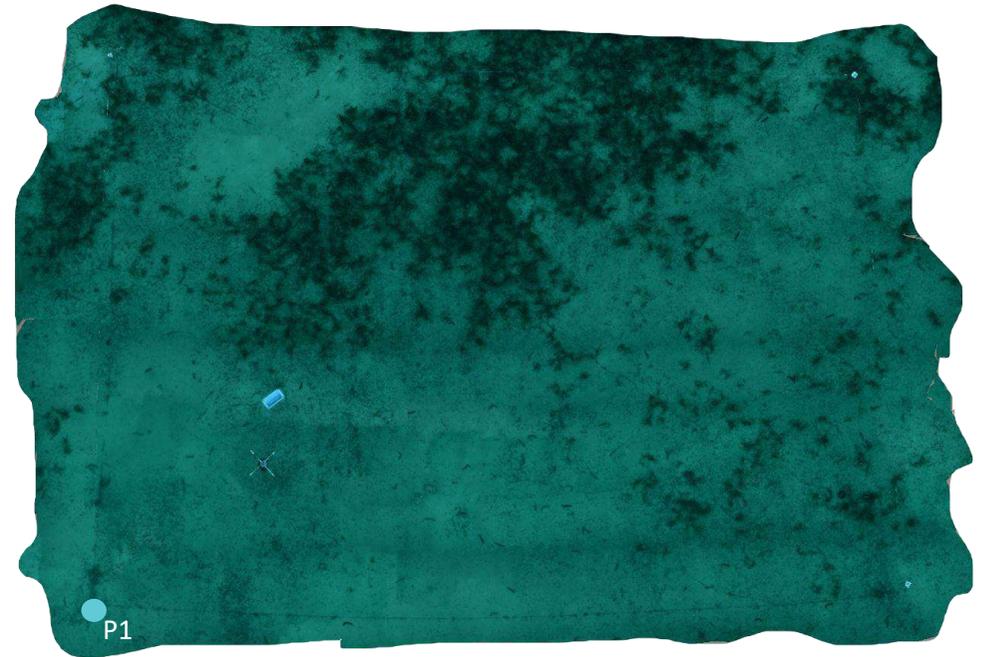


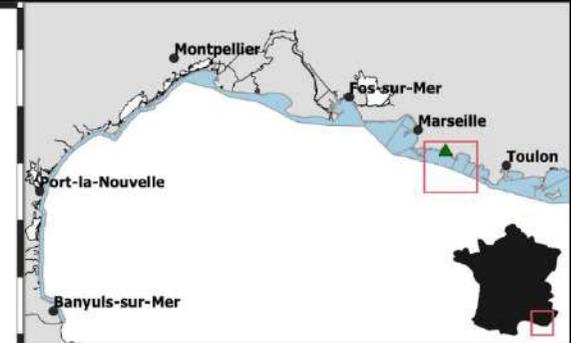
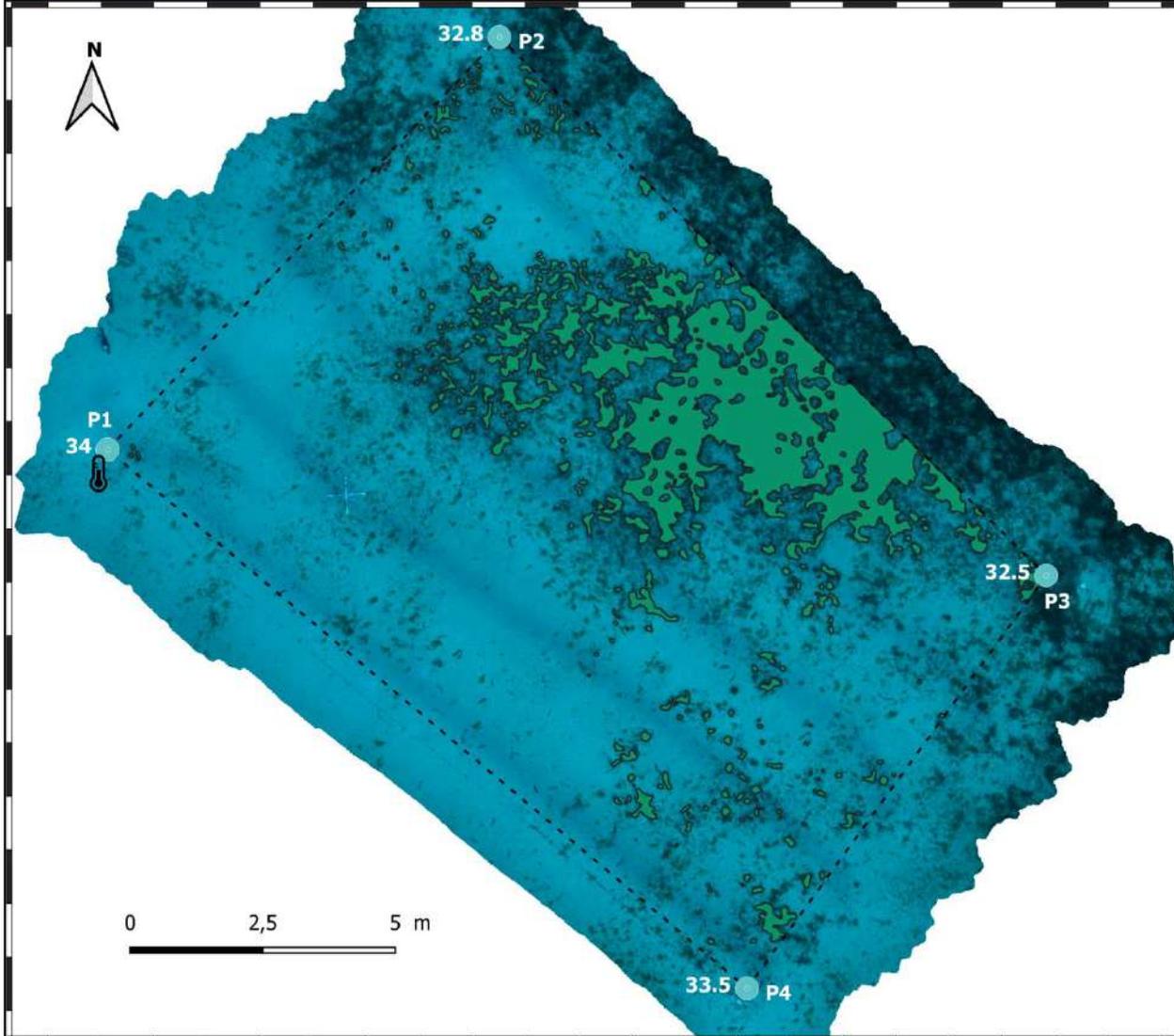
Figure 76 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2018.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.



Surveillance des herbiers de Posidonie par Photogrammétrie - 2021.

SITE > Cap Canaille < FREC07b - Cap Croisette - Bec de l'Aigle



**Position du site**

- ▲ Site TEMPO
- Masses d'eau côtières

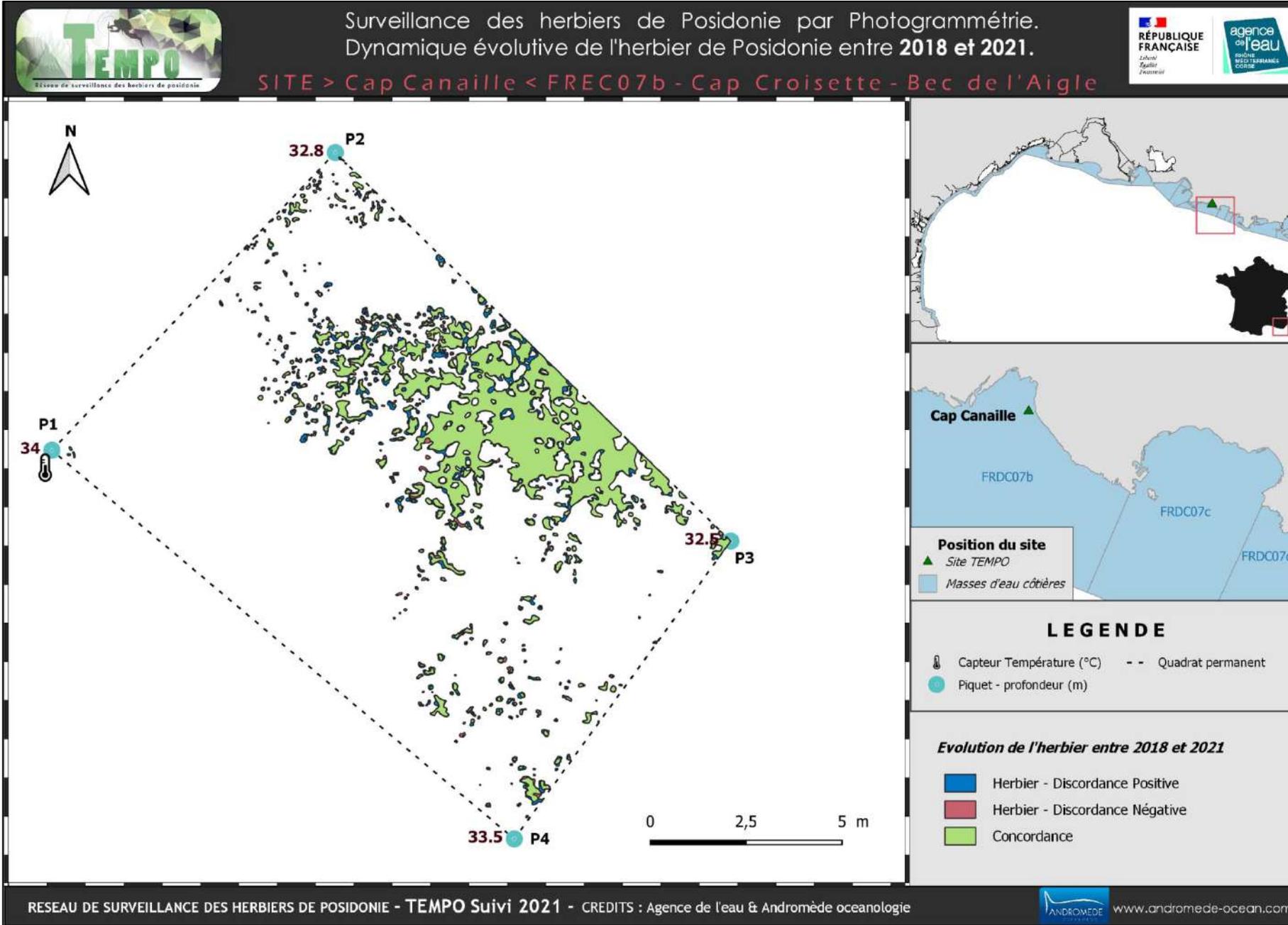
**LEGENDE**

- 📍 Capteur Température (°C)
- Piquet - profondeur (m)
- - Quadrat permanent
- Herbier de posidonie

DONNÉES DE VITALITÉ (2021)	Densité*/m <sup>2</sup>	Déchaussement/cm
	Moyenne	120.8
Ecart type	58.7	0.51

\*Nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>





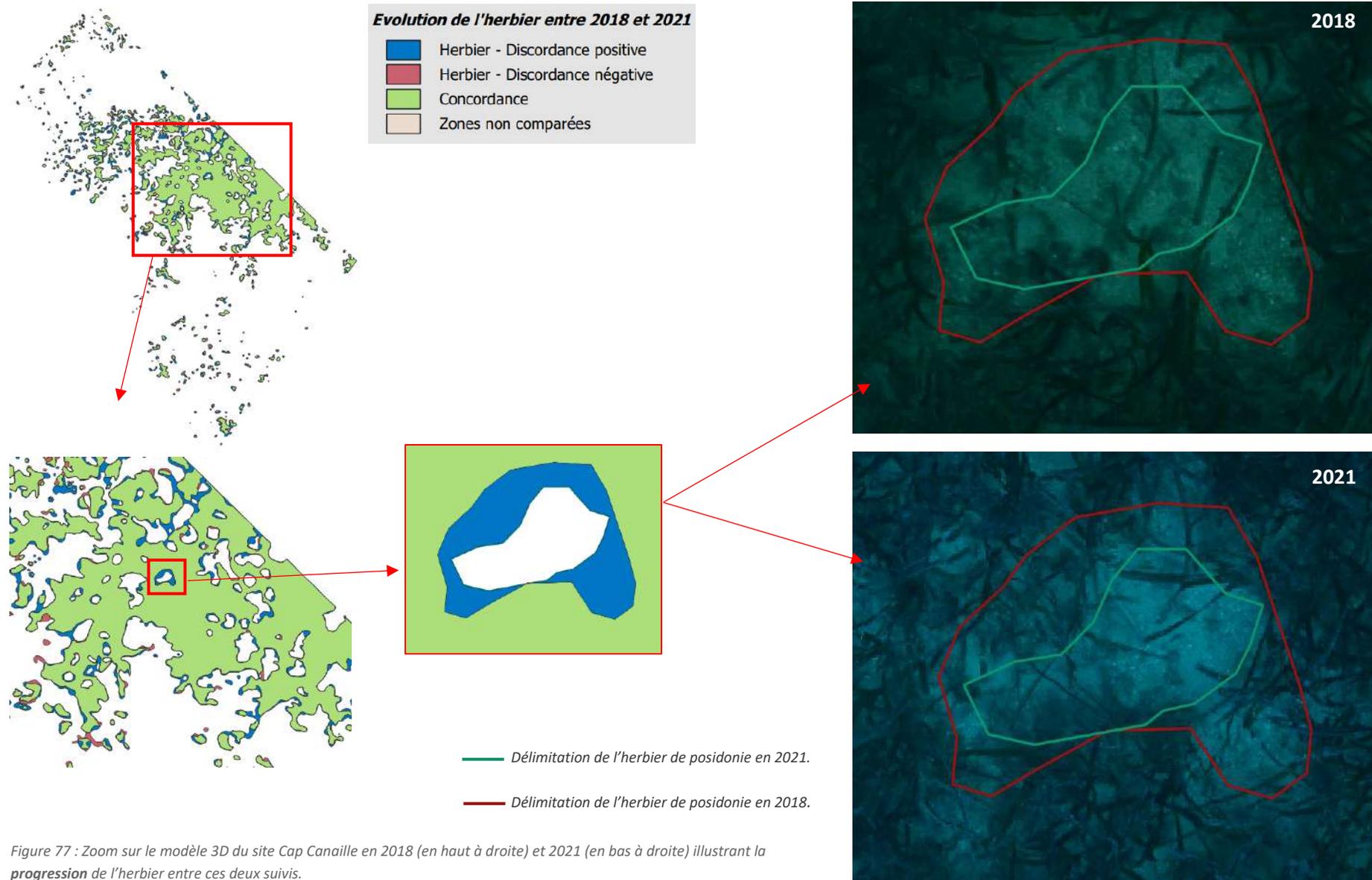


Figure 77 : Zoom sur le modèle 3D du site Cap Canaille en 2018 (en haut à droite) et 2021 (en bas à droite) illustrant la progression de l'herbier entre ces deux suivis.



## V.H.2. Cap Canaille PI (masse d'eau FRDC07b) – Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale				
Température de l'eau (°C)	18			
Visibilité (m)	20			
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input checked="" type="checkbox"/> Substrat rocheux <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Sable coquillier, grosses coquilles vides et gastéropodes en balade dans le sable			
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques				
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques				
Espèces particulières				
Remarques générales	Nombreux holothuries ( <i>Holothuria sp.</i> ) dans herbier, quelques bryozoaires, spirographes ( <i>Sabella spalanzanii</i> ).			



Figure 78 : Illustrations de l'herbier à -15 m (2018).

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 12.147
Longitude :	5 32.595
Date de pose	08/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20987451
Profondeur du capteur (m)	15.6
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Au démarrage d'une langue de sable qui rentre dans l'herbier à partir d'une très grande tache de sable



Figure 79 : Données et photo du capteur posé en 2021 à -15 m (ancien capteur à gauche, nouveau capteur à droite).

c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale

Les indices BiPo et PREI ont été calculés sur ce site en 2015, 2018, 2021.

L'EQR de l'indice **BiPo** sur le site prospecté en 2015 (0,573), 2018 (0,617) et 2021 (0,614) est supérieure à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Sud. Le site conserve **un bon état écologique depuis 2015**. Il est légèrement meilleur en 2018 et 2021 car la densité de faisceaux est plus importante qu'en 2015.

L'EQR de l'indice **PREI** sur le site prospecté en 2015 (0,712), 2018 (0,643) et 2021 (0,711) indique **un état bon du site depuis 2015**.

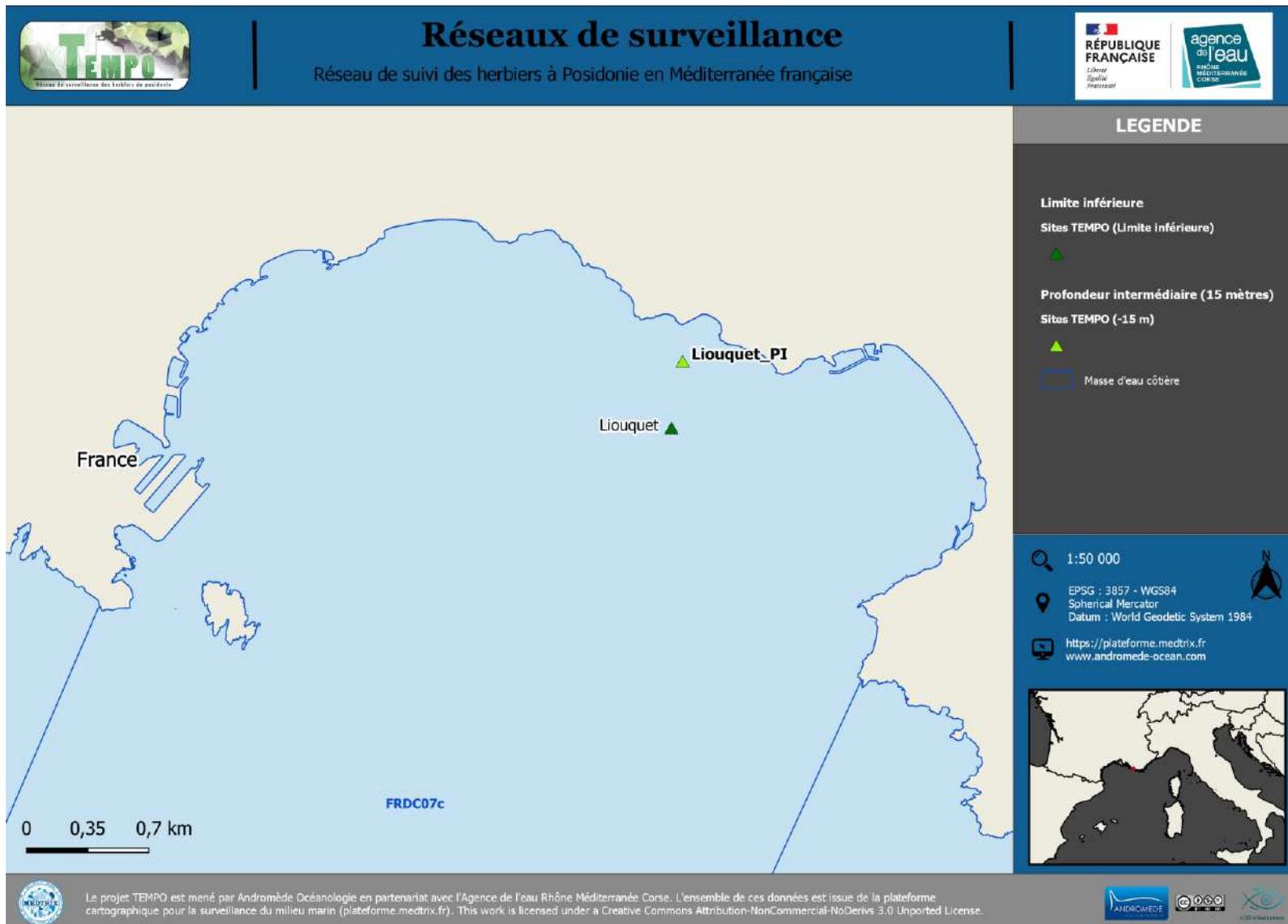
Tableau 37 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07b	FRDC07b	FRDC07b	
Nom du site	Cap Canaille PI	Cap Canaille PI	Cap Canaille PI	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.43	0.45	0.51	0 0.48 0.77
Valeur BiPo (PI)	0.57	0.62	0.61	0.37 0.57 0.75
Valeur PREI (PI)	0.71	0.64	0.71	0 0.23 0.75
Profondeur intermédiaire du site (m)	15	15	15.5	13 15.04 18
Profondeur de la limite inférieure (m)	33	33	33	13 26.02 36
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m2)	242	300	315	122 246.5 477
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m2)	113	143	121	0 148.21 347
Type de limite inférieure	1	1	2	0 2.76 5
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	-1.4	0.6	0.5	-1.5 2.44 10.5
Longueur des feuilles à la PI (mm)	744	477	570	237 572.64 1080
Surface foliaire à la PI (cm <sup>2</sup> /faisceaux)	349	193	248	0 96.44 408
Charge épiphytaire à la PI	0.14	0.17	0.2	0 0.05 0.27



## V.I. Masse d'eau FRDC07c

La masse d'eau FRDC07c comprend un site TEMPO en limite inférieure : « Liouquet » échantillonné en 2008, 2012, 2015, 2018 et 2021 et un autre à la profondeur intermédiaire (« Liouquet PI »).



## V.I.1. Liouquet (masse d'eau FRDC07c) – Limite inférieure

a. Présentation du site

Description générale				
Température de l'eau (°C)	18			
Visibilité (m)	10			
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input checked="" type="checkbox"/> Sable fin	<input checked="" type="checkbox"/> Matte morte	<input checked="" type="checkbox"/> Substrat rocheux <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Sable fin sur matte morte localement envasée, des dalles rocheuses avec grosse anémone, algues rouges encroustantes, axinelles			
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input checked="" type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Faible (20%) - uniquement sur l'herbier			
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques				
Espèces particulières	Holothuries ( <i>Holothuria sp.</i> ), anémones ( <i>Anemonia viridis</i> , <i>Cribrinopsis crassa</i> ), nombreuses éponges ( <i>Axinelles sp.</i> ) sur substrat meuble, étoiles de mer ( <i>Echinaster sepositus</i> ), ascidies <i>Microcosmus sp.</i> , une colonie de <i>Cladocora caespitosa</i> , une gorgone blanche ( <i>Eunicella singularis</i> )			
Remarques générales	Mucilage sur herbier			



Figure 80 : Illustrations du site Liouquet en limite inférieure de l'herbier (2021) avec dans l'ordre des photos *Anemonia viridis*, *Cribrinopsis crassa*, *Eunicella singularis* et herbier couvert de mucilage.



Le site du Liouquet est localisé dans la masse d'eau FREC07c, dans la baie de La Ciotat. L'herbier se développe sur un fond meuble (sable grossier et sable fin sur matre morte localement envasée) et le site présente des dalles rocheuses hébergeant anémones, gorgones, madréporaires, éponges, ... Deux piquets sont ancrés dans la roche et un dans le substrat meuble entre -32,4 et -32,8 m.

b. Capteur de Température

Capteur de température	
Latitude :	43 10.423
Longitude :	0,00
Date de pose	07/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20987421
Profondeur du capteur (m)	32,20
N° de piquet du quadrat	3
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	A la limite sable-herbier



Figure 81 : Données et photo du capteur posé en 2021 en limite inférieure

c. Mesures de vitalité et comparaison régionales

Les EQR en 2008 (0,497), 2012 (0,487), 2015 (0,503), 2018 (0,470) et 2021 (0,487) sont proches de la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région PACA. Ils indiquent **un état moyen du site**.

Tableau 38: Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	
Nom du site	Liouquet	Liouquet	Liouquet	Liouquet	Liouquet	
Année	2008	2012	2015	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.5	0.49	0.5	0.47	0.49	0.26 — 0.77 0.51
Type de limite inférieure	2	2	2	2	2	1 — 5 2.64
EQR' Type de limite inférieure	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.21 — 1 0.58
Profondeur de la limite inférieure	32.1	32.9	32.9	32.9	32.9	13 — 36 25.62
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.81	0.84	0.84	0.84	0.84	0.25 — 0.94 0.59
Densité de faisceaux (faisceaux/m <sup>2</sup> )	108	61	101	25	58	23 — 419 168.52
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.24	0.18	0.23	0.13	0.18	0.13 — 0.84 0.36
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	0	-1	0	-1	-1 — 10 1.82

La limite inférieure **clairemée naturelle à tendance régressive** se situe à **-32,5 m** avec des faisceaux isolés rencontrés jusqu'à -33 m.

La densité moyenne à -32,5 mètres est 108 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2008, 61,29 ± 47,36 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2012 et de 100,8 ± 35,6 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2015 à la profondeur moyenne de -33 mètres. En 2018 nous n'observons que des faisceaux isolés et un seul faisceau est compté à chaque fois dans le quadrat soit une densité de 25 faisceaux/m<sup>2</sup>. **En 2021, la densité moyenne est 58 ± 45,1 faisceaux /m<sup>2</sup>**. L'herbier est en état normal en 2008 et 2015, médiocre en 2012, 2018, et 2021 compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini and Pergent, 2010) ; La densité est normale sur les quatre suivis (Pergent et al., 1995). **Le déchaussement est nul** sur tous les suivis.

#### d. Perturbations observées

En 2021 on observe des algues filamenteuses (environ 20 % de recouvrement) uniquement sur l'herbier, ce qui rend la cartographie par photogrammétrie délicate à traiter.

#### e. Données historiques

Le site de « La Ciotat » est un site RSP situé à 250 mètres au Nord-Ouest du site TEMPO et qui a été mis en place initialement en 1986, puis re-balisé en 1999. Il est implanté dans une ancienne zone marine protégée. La limite inférieure est située à une profondeur moyenne de -33 mètres, l'eau y est turbide et le substrat est plutôt vaso-sableux, composé de matre morte recouverte de particules fines. Lors du suivi de 2004, l'herbier était très dispersé, composé de petites touffes et d'îlots avec des feuilles sont recouvertes de base et d'algues : globalement l'herbier était en régression.

#### f. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2008-2012, on observe sur ce site 0,82 % de discordance positive, 17,51 % de discordance négative et 81,67 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,91) indique un herbier en régression.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2012-2015, on observe sur ce site 3,58 % de discordance positive, 14,34 % de discordance négative et 82,08 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,6) indique un herbier avec une tendance régressive.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2015-2018, on observe sur ce site 3,86 % de discordance positive, 6,3 % de discordance négative et 89,83 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,24) indique un herbier avec une tendance légèrement régressive tendant à se stabiliser.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 30,46 % de discordance positive, 28,38 % de discordance négative et 41,16 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,04) indique un herbier avec une tendance stable.**

**La dynamique évolutive de l'herbier montrait un herbier en régression jusqu'en 2015 et qui se stabilise depuis 2018.**

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**moyen état écologique** entre 2012 et 2018).

Tableau 39 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	
Nom du site	Liouquet	Liouquet	Liouquet	Liouquet	
Période d'évolution	2008-2012	2012-2015	2015-2018	2018-2021	
% Discordance positive	0	3	3	30	0   69 9.47
% Discordance négative	17	14	6	28	0   51 8.18
% Concordance	81	82	89	41	0   100 78.25
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	65	59	49	5	0   802 108.44

Le modèle 3D du site Liouquet en 2021 a été généré suite à l'acquisition de **861 photographies** prises sous l'eau.



Figure 82 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.



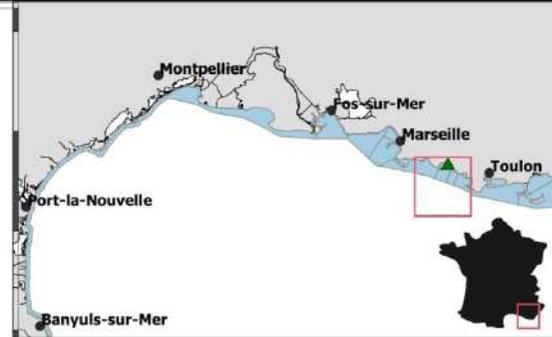
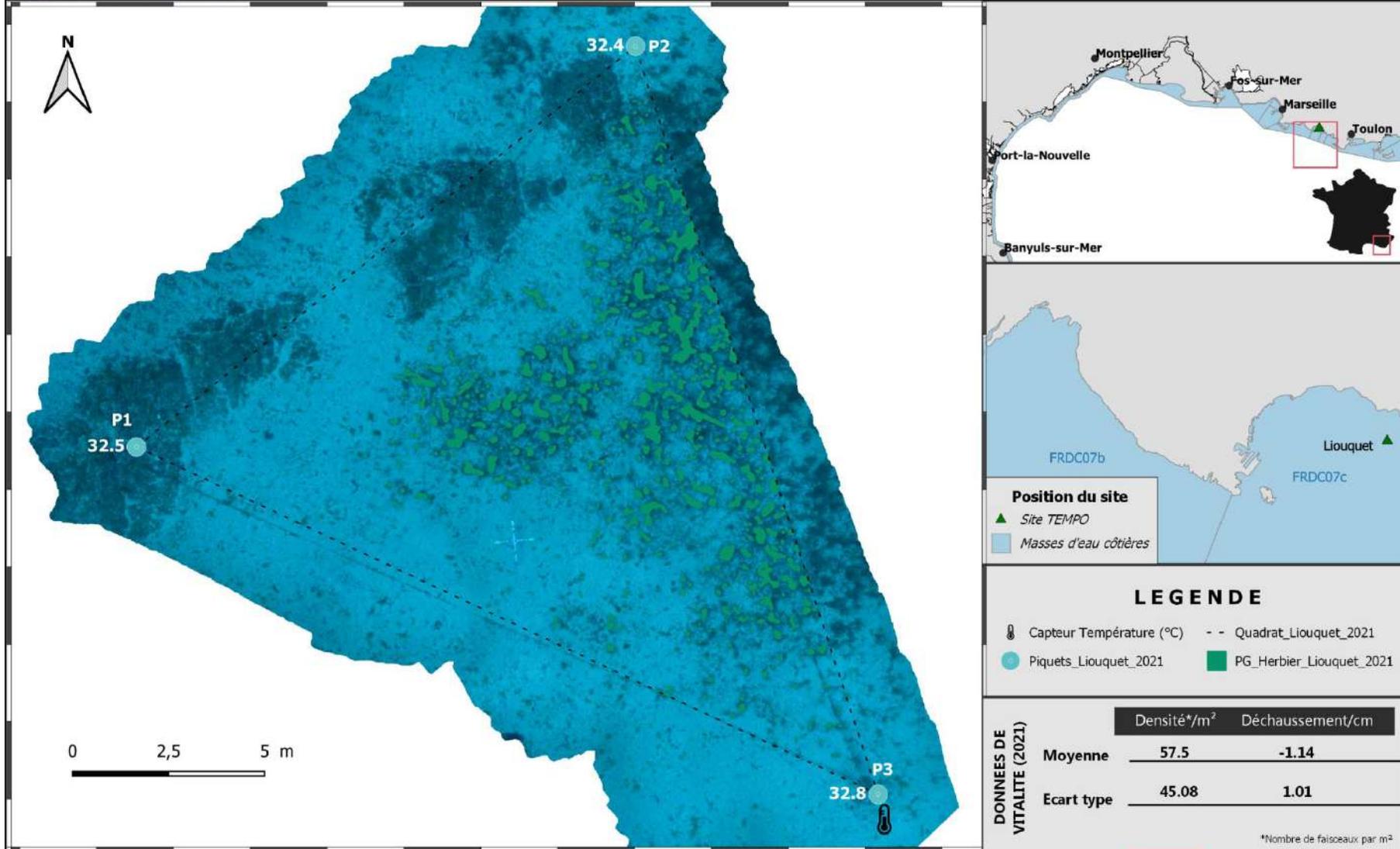
Figure 83 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2018.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.



Surveillance des herbiers de Posidonie par Photogrammétrie - 2021.

SITE > Liouquet < FREC07c - Bec de l'Aigle - Pointe de la Fauconnière



**Position du site**

- ▲ Site TEMPO
- Masses d'eau côtières

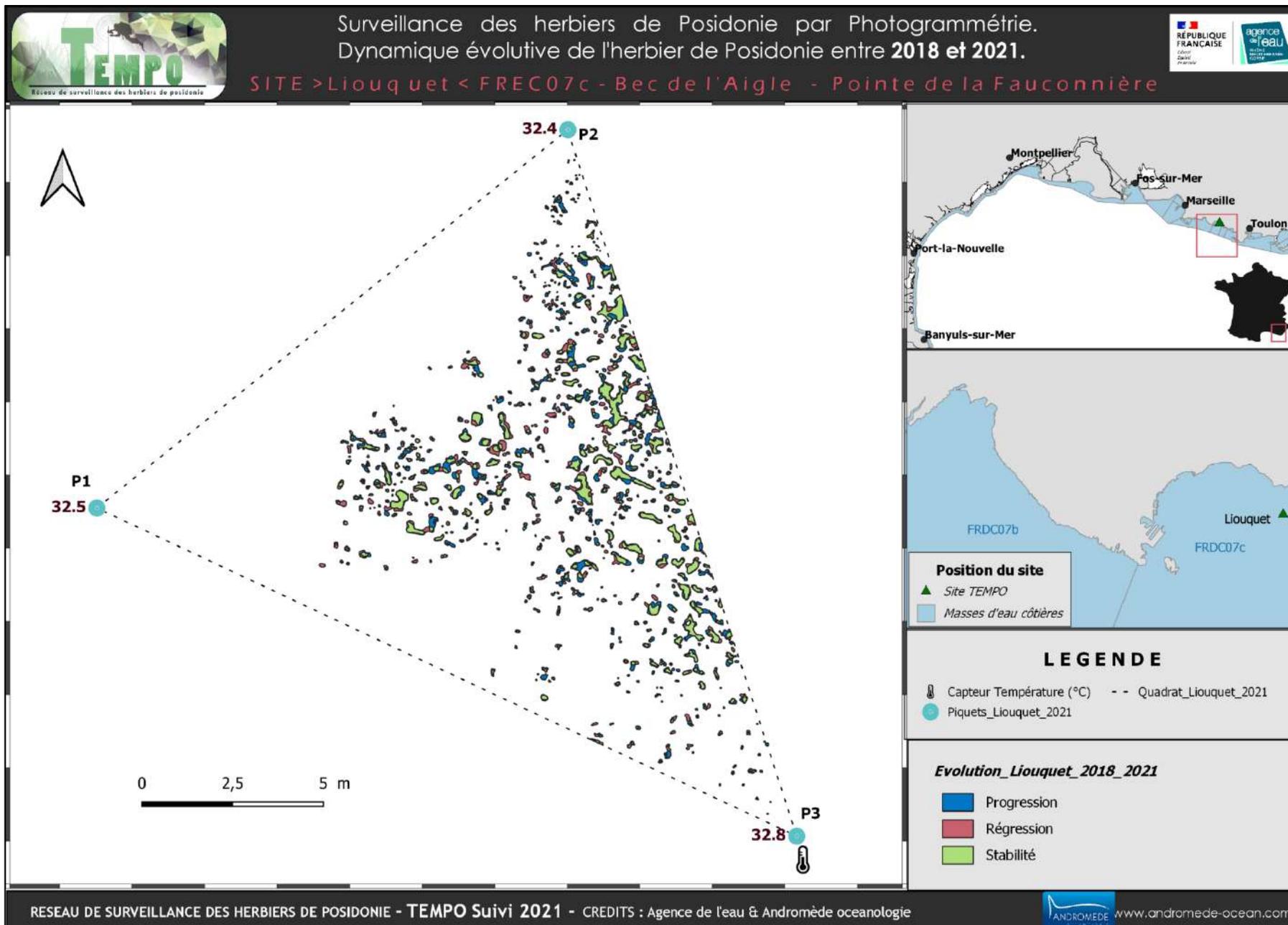
**LEGENDE**

- 🌡️ Capteur Température (°C)
- Quadrat\_Liouquet\_2021
- Piquets\_Liouquet\_2021
- PG\_Herbier\_Liouquet\_2021

DONNEES DE VITALITE (2021)	Densité*/m <sup>2</sup>	Déchaussement/cm
	Moyenne	57.5
Ecart type	45.08	1.01

\*Nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>





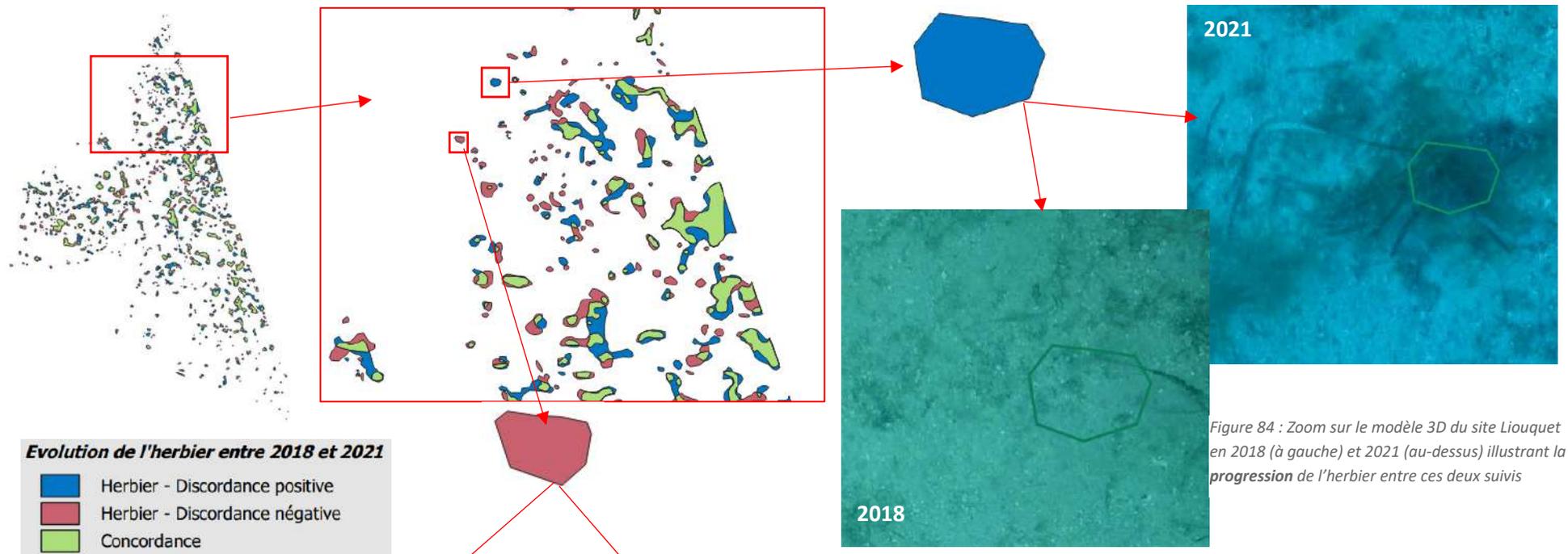


Figure 84 : Zoom sur le modèle 3D du site Liouquet en 2018 (à gauche) et 2021 (au-dessus) illustrant la progression de l'herbier entre ces deux suivis



— Délimitation de l'herbier de posidonie en 2021.  
 — Délimitation de l'herbier de posidonie en 2018.

Figure 85 : Zoom sur le modèle 3D du site Liouquet en 2018 (à gauche) et 2021 (à gauche de cette légende) illustrant la régression de l'herbier entre ces deux suivis.



## V.I.2. Liouquet PI (masse d'eau FRDC07c) – Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale	
Température de l'eau (°C)	18
Visibilité (m)	10
Nature du fond	<input type="checkbox"/> Sable grossier <input checked="" type="checkbox"/> Sable fin <input type="checkbox"/> Matte morte <input type="checkbox"/> Substrat rocheux <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	présence de rhizomes plagiotropes en bordure de la matte morte.
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea <input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia <input type="checkbox"/> Algues filamenteuses <input type="checkbox"/> Womersleyella setacea <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche <input type="checkbox"/> Traces de mouillage <input type="checkbox"/> Structures artificielles <input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	trou dans la matte
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés <input type="checkbox"/> Macrodéchets <input type="checkbox"/> Hydrocarbures <input type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques	
Espèces particulières	Girelles ( <i>Coris julis</i> ), labres ( <i>Labrus sp.</i> ), castagnoles ( <i>Chromis chromis</i> ), serrans ( <i>Serranus sp.</i> ), picarels ( <i>Spicara smaris</i> ), sars ( <i>Diplodus sp.</i> ), juvéniles de symphodus et crénilabres. Holothuries ( <i>Holothuira sp.</i> ) sur le sable, bryozoaires érigés au pied de l'herbier, quelques <i>Codium</i> dans l'herbier
Remarques générales	



Figure 86 : Illustrations de l'herbier à -15 m (2021).

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 10.721
Longitude :	5 39.863
Date de pose	07/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20125784
Profondeur du capteur (m)	15,6
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Dans le sable fin à 2-3 m en dessous de la limite de l'herbier, près de petites taches d'herbier



Figure 87 : Données et photo du capteur posé en 2021 à -15 m (ancien capteur à gauche, nouveau capteur à droite).

c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale

L'indice BiPo a été calculé sur ce site en 2015, 2018, 2021.

L'EQR de l'indice BiPo sur le site prospecté en 2015 (0,555), 2018 (0,596) et 2021 (0,641) augmente au cours des suivis et est supérieur à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Sud depuis 2015. Le site conserve **un bon état écologique depuis 2015**.

**Le PREI n'est pas calculé sur ce site.**

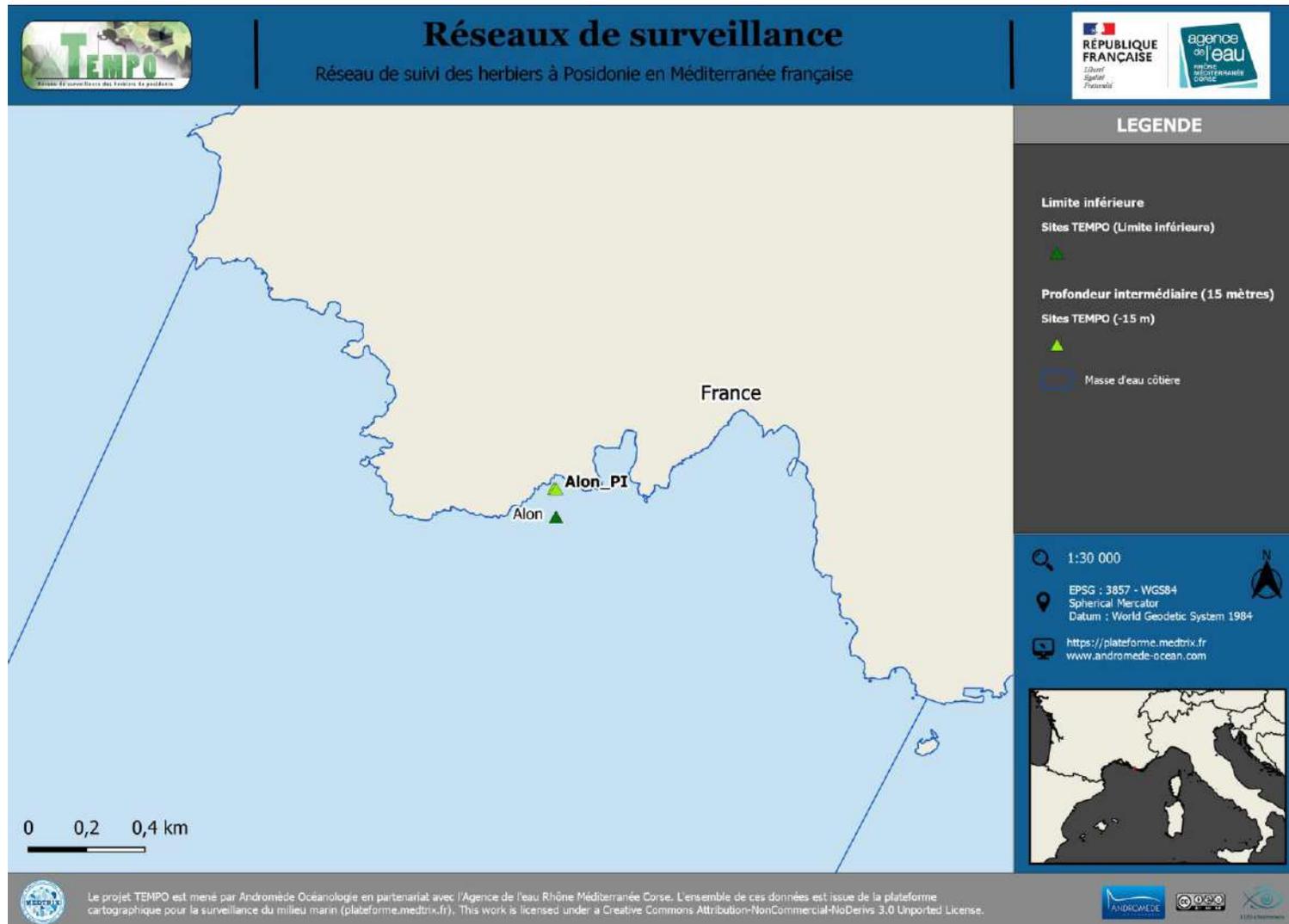
Tableau 40 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	
Nom du site	Liouquet PI	Liouquet PI	Liouquet PI	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.5	0.47	0.49	0 0.77 0.48
Valeur BiPo (PI)	0.56	0.6	0.64	0.37 0.75 0.57
Valeur PREI (PI)	0	0	0	0 0.75 0.23
Profondeur intermédiaire du site (m)	15	15	14.8	13 18 15.04
Profondeur de la limite inférieure (m)	32.9	32.9	32.9	13 36 26.02
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m2)	187	318	278	122 477 246.5
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m2)	101	25	58	0 347 148.21
Type de limite inférieure	2	2	2	1 5 2.76
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	-1.3	0	-1.1	-1.5 10.5 2.44
Longueur des feuilles à la PI (mm)	655	520	420	237 1080 572.64
Surface foliaire à la PI (cm²/faisceaux)	0	0	0	0 408 96.44
Charge épiphytaire à la PI	0	0	0	0 0.27 0.05



## V.J. Masse d'eau FRDC07d

La masse d'eau FRDC07c comprend un site TEMPO en limite inférieure : « Alon » échantillonné en 2008, 2012, 2015, 2018 et 2021 et un autre à la profondeur intermédiaire (« Alon PI »).



## V.J.1. Alon (masse d'eau FRDC07d) – Limite inférieure

a. Présentation du site

Description générale				
Température de l'eau (°C)	16			
Visibilité (m)	13			
Nature du fond	<input type="checkbox"/> Sable grossier	<input checked="" type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux
Remarques	Sable fin, un peu coquillier			
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea
Remarques				
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché
Remarques	gros bout trainant depuis longtemps pres du piquet 3			
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macro-déchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques				
Espèces particulières	Nombreux holothuries ( <i>Holothuria sp.</i> ) dans le sable, petits labridés; girelles ( <i>Coris julis</i> ), oursins ( <i>Sphaerechinus granularis</i> ), ver plat bleu et jaune, castagnoles ( <i>Chromis chromis</i> )			
Remarques générales				



Figure 88 : Illustrations du site Alon en limite inférieure de l'herbier (2021).

Le site d'Alon est localisé dans la masse d'eau FREC07d au large de la commune de St Cyr sur Mer. L'herbier se développe sur un fond meuble (sable fin, un peu coquiller) Quatre balises sont ancrées dans le sable entre -22,1 et -22,8 m. Ce site est localisé dans une zone relativement préservée.

b. Capteur de Température

Capteur de température	
Latitude :	43 08.605
Longitude :	5 42.307
Date de pose	14/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20987416
Profondeur du capteur (m)	22,30
N° de piquet du quadrat	1,00
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Dans le sable près du piquet 1, à 5 m de la limite



Figure 89 : Données et photo du capteur posé en 2021 en limite inférieure (ancien capteur à gauche, nouveau capteur à droite).

c. Mesures de vitalité et comparaison régionales

Les EQR en 2012 (0,567), 2015 (0,583), 2018 (0,560) et 2021 (0,623) sont supérieurs à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Sud. Ils indiquent **un état bon du site**.

Tableau 41: Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07d	FRDC07d	FRDC07d	FRDC07d	
Nom du site	Alon	Alon	Alon	Alon	
Année	2012	2015	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.57	0.58	0.56	0.62	0.26 — 0.77 0.51
Type de limite inférieure	3	3	3	3	1 — 5 2.84
EQR' Type de limite inférieure	0.66	0.66	0.66	0.66	0.21 — 1 0.58
Profondeur de la limite inférieure	22	22	22	22	13 — 36 25.62
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.44	0.44	0.44	0.44	0.25 — 0.94 0.59
Densité de faisceaux (faisceaux/m²)	262	262	251	338	23 — 419 168.52
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.6	0.65	0.58	0.77	0.13 — 0.84 0.36
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	0	8	-1	-1 — 10 1.82

La limite inférieure de type **franche de faible recouvrement** se situe à **22,4 m** de profondeur.

La densité moyenne à -22,3 mètres est de 262,1 ± 77,6 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2012, de 281,7 ± 45,5 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2015 à la profondeur moyenne de -22,3 mètres, de 250,8 ± 95 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2018 à la profondeur moyenne de -22,4 mètres et 338± 87,5 faisceaux /m<sup>2</sup> en 2021 à la profondeur moyenne de 22 mètres. L'herbier est en **état bon en 2018, 2015 et en 2012 et en excellent état en 2021** compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini and Pergent, 2010).

Le déchaussement est faible (<5 cm) en 2012, 2015 et 2021, et moyen (5-10 cm) en 2018.

d. Perturbations observées

En 2021 nous avons observé un gros bout trainant sur le fond.

e. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2012-2015, on observe sur ce site 3,69 % de discordance positive, 10,5 % de discordance négative et 85,81 % de concordance. **L'indice d'évolution (-0,48) indique un herbier stable, à tendance régressive localement.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2015-2018, on observe sur ce site 14,93 % de discordance positive, 2,29 % de discordance négative et 82,78 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,73) indique un herbier avec une tendance progressive.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 9,92 % de discordance positive, 1,33 % de discordance négative et 88,75 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,76) indique un herbier avec une tendance progressive.**

**Les paramètres de vitalité sont globalement stables et la dynamique évolutive analysée par télémétrie acoustique puis par photogrammétrie montre un herbier à tendance progressive depuis 2015.**

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **moyen état** écologique entre 2018 et 2021 (35 % d'augmentation de densité de faisceaux combinés à 10 % de progression). Aux suivis précédents l'indicateur de dynamique évolutive indiquant un **bon état** écologique (entre 2015 et 2018) et un **état écologique médiocre** (entre 2012 et 2015).

Tableau 42 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC07d	FRDC07d	FRDC07d	
Nom du site	Alon	Alon	Alon	
Période d'évolution	2012-2015	2015-2018	2018-2021	
% Discordance positive	3	14	9	0 69 9.47
% Discordance négative	10	2	1	0 51 8.18
% Concordance	85	82	88	0 100 78.25
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	99	104	68	0 802 108.44



Le modèle 3D du site Alon en 2021 a été généré suite à l'acquisition de **1720 photographies** prises sous l'eau.

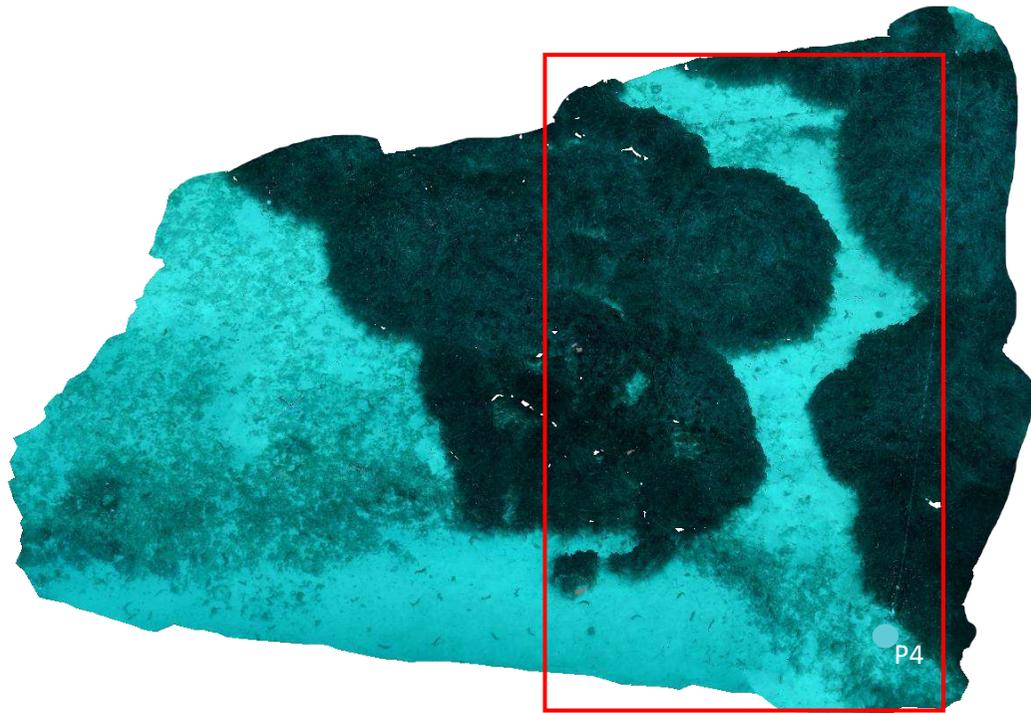


Figure 90 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021. La zone en rouge indique l'emprise du modèle 3D réalisé en 2018.

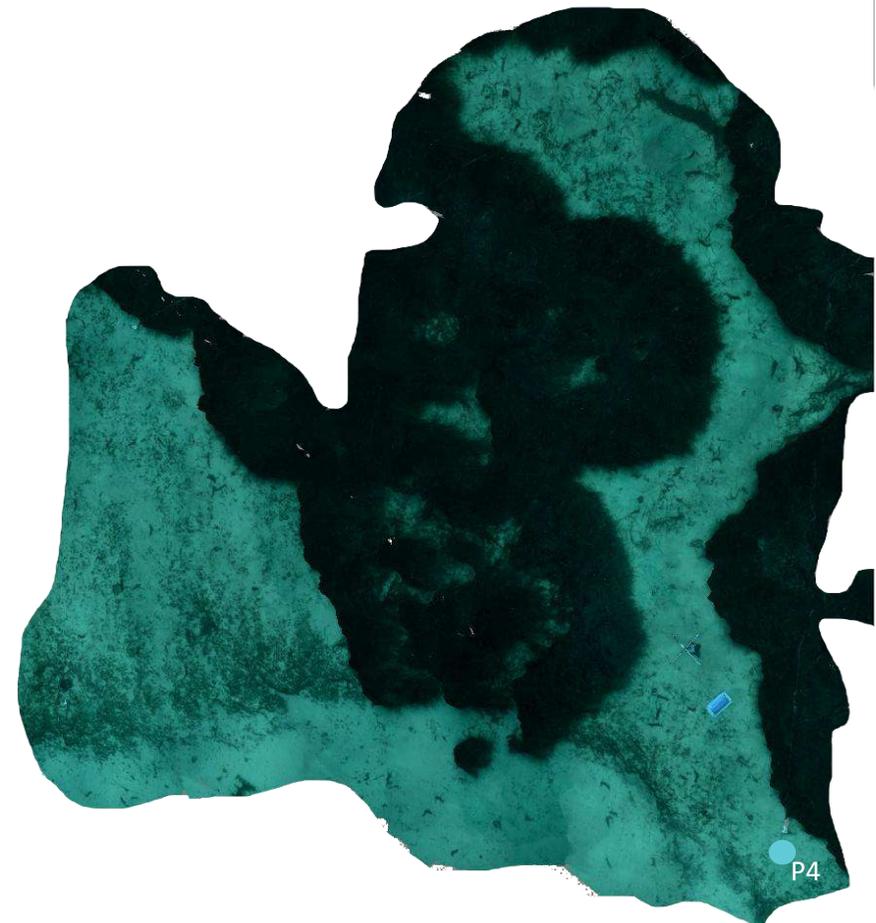


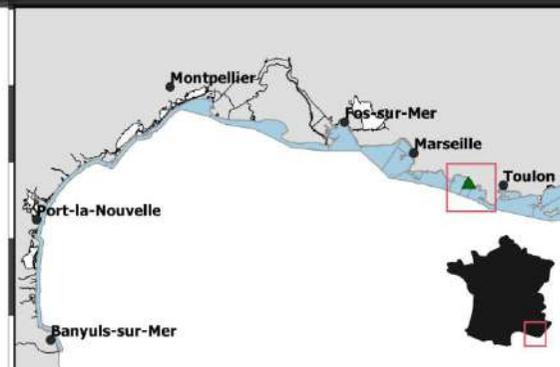
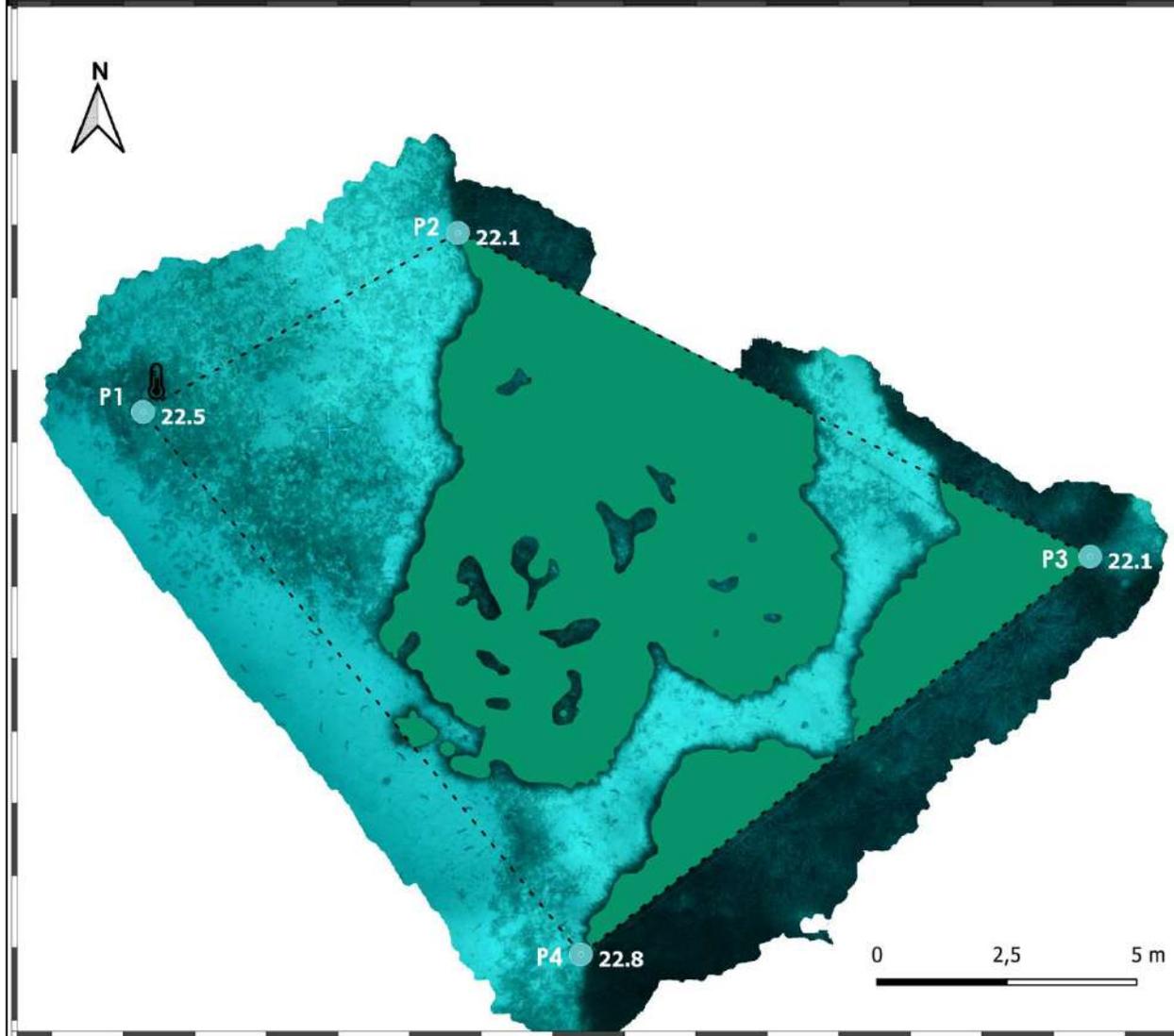
Figure 91 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2018.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.



Surveillance des herbiers de Posidonie par Photogrammétrie - 2021.

SITE > Alon < FREC07d - Pointe de la Fauconnière - îlot Pierreplane



**Position du site**

- ▲ Site Alon
- Masses d'eau PACA/Occitanie

**LEGENDE**

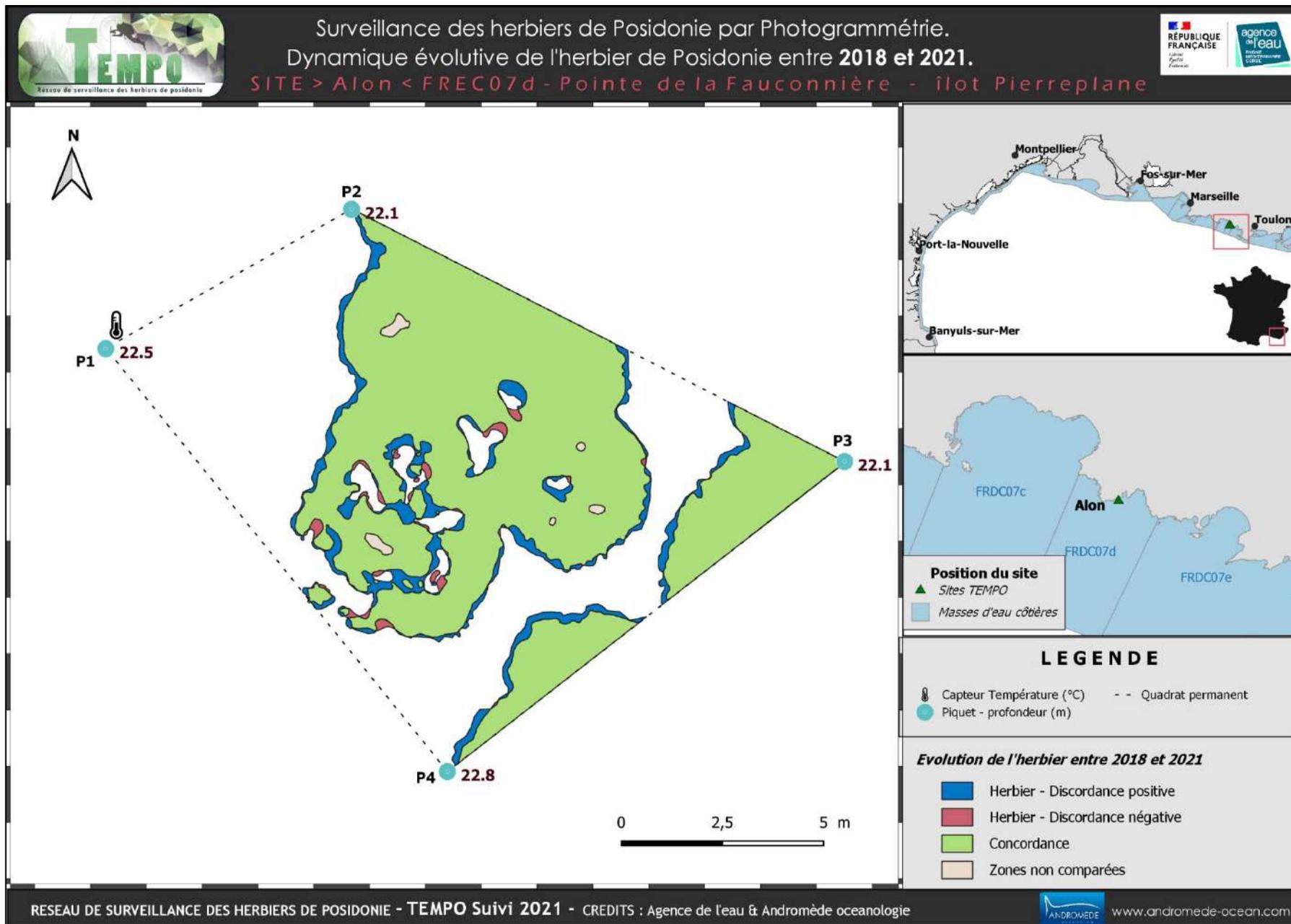
- 📍 Capteur Température (° C)
- ⊖ Piquet - profondeur (m)
- Quadrat permanent
- Herbier de posidonie

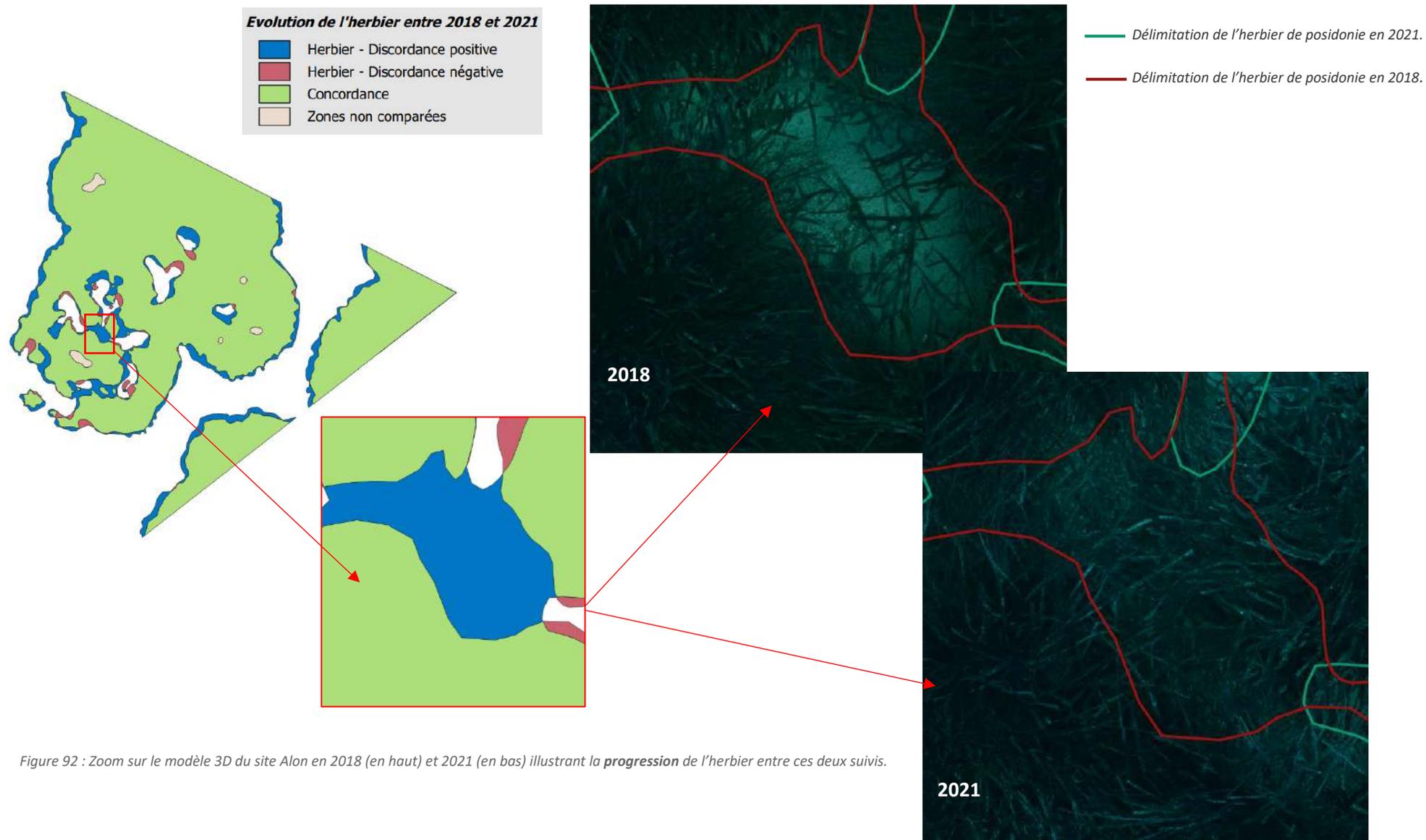
**DONNEES DE VITALITE (2021)**

	Densité*/m <sup>2</sup>	Déchaussement/cm
Moyenne	338,33	-1,26
Ecart type	87,52	1,22

\*Nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>







## V.J.2. Alon PI (masse d'eau FRDC07d) – Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale				
Température de l'eau (°C)	19			
Visibilité (m)	10			
Nature du fond	<input type="checkbox"/> Sable grossier	<input checked="" type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux
Remarques	En contrebas d'une falaise, herbier en taches sur sable fin et roche.			
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea
Remarques				
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché
Remarques				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...
Remarques				
Espèces particulières				
Remarques générales	Un corb ( <i>Sciaena umbra</i> ), une dorade royale ( <i>Sparus aurata</i> ), castagnoles ( <i>Chromis chromis</i> ), labridés, sars communs ( <i>Diplodus sargus</i> ), grosses holothuries ( <i>Holothuria sp.</i> )			



Figure 93 : Illustrations de l'herbier à -15 m (2021).

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 08.680
Longitude :	5 42.308
Date de pose	14/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20125779
Profondeur du capteur (m)	18
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Ancien capteur de 2018 non retrouvé, mise en place d'un nouveau capteur sur une vis à sable dans le sable à coté d'une tache d'herbier. Nouveau point GPS

Figure 94 : Données du capteur posé en 2021 à -15 m (ancien capteur non retrouvé, nouvelles coordonnées GPS pour le capteur).

c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale

L'indice BiPo a été calculé sur ce site en 2015, 2018, 2021.

L'EQR de l'indice BiPo sur le site prospecté en 2015 (0,600), 2018 (0,596) et 2021 (0,621) augmente au cours des suivis et est supérieur à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Sud. Le site conserve **un bon état écologique depuis 2015**.

**Le PREI n'est pas calculé sur ce site.**

Tableau 43 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07d	FRDC07d	FRDC07d	
Nom du site	Alon PI	Alon PI	Alon PI	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.58	0.56	0.62	
Valeur BiPo (PI)	0.6	0.6	0.62	
Valeur PREI (PI)	0	0	0	
Profondeur intermédiaire du site (m)	16	16	18	
Profondeur de la limite inférieure (m)	22	22	22	
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m2)	272	350	300	
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m2)	282	251	338	
Type de limite inférieure	3	3	3	
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	0.5	8.9	-1.3	
Longueur des feuilles à la PI (mm)	744	610	760	
Surface foliaire à la PI (cm²/faisceaux)	0	0	0	
Charge épiphytaire à la PI	0	0	0	

## V.K. Masse d'eau FRDC07e

La masse d'eau FRDC07e comprend un site TEMPO en limite inférieure : « Embiez Nord » échantillonné en 2008, 2012, 2015, 2018 (site secondaire, non suivi en 2021 ; la fiche est disponible sur MEDTRIX dans le projet TEMPO) et un autre à la profondeur intermédiaire (« Embiez Nord PI »).



## V.K.1. Embiez Nord PI (masse d'eau FRDC07e) – Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale				
Température de l'eau (°C)	17			
Visibilité (m)	7			
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux
<b>Remarques</b>				
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea
<b>Remarques</b>	(Superficie du quadrat couverte par les espèces invasives et algues filamenteuses/Taux de recouvrement : <b>Très faible</b> (<20%), <b>Faible</b> (20-40%), <b>Moyen</b> (40-60%), <b>Fort</b> (60-80%) et <b>Très fort</b> (>80%)			
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché
<b>Remarques</b>				
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input checked="" type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...
<b>Remarques</b>	1 bouteille en verre			
Espèces particulières	<i>Echinaster sepositus</i> ; <i>Reteporella grimaldii</i>			
<b>Remarques générales</b>	Herbier à très très longues feuilles, épaisseur fine à moyenne, peu épiphytées.			

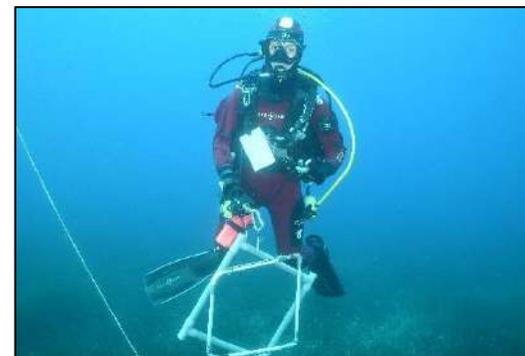


Figure 95 : Illustrations de l'herbier à -15 m (2021).

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 04.980
Longitude :	5 46.046
Date de pose	14/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	10950619
Profondeur du capteur (m)	14
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Dans une petite tâche de sable qui se referme (en forme de cœur) au milieu de l'herbier



Figure 96 : Données et photo du capteur posé en 2021 à -15 m (ancien capteur à gauche, nouveau capteur à droite).

c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale

L'indice BiPo a été calculé sur ce site en 2015, 2018, 2021 et l'indice PREI a été calculé en 2015 et 2018.

L'EQR de l'indice **BiPo** sur le site prospecté en 2015 (0,623), 2018 (0,620) et 2021 (0,662) est supérieur à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Sud. Le site conserve **un bon état écologique depuis 2015**.

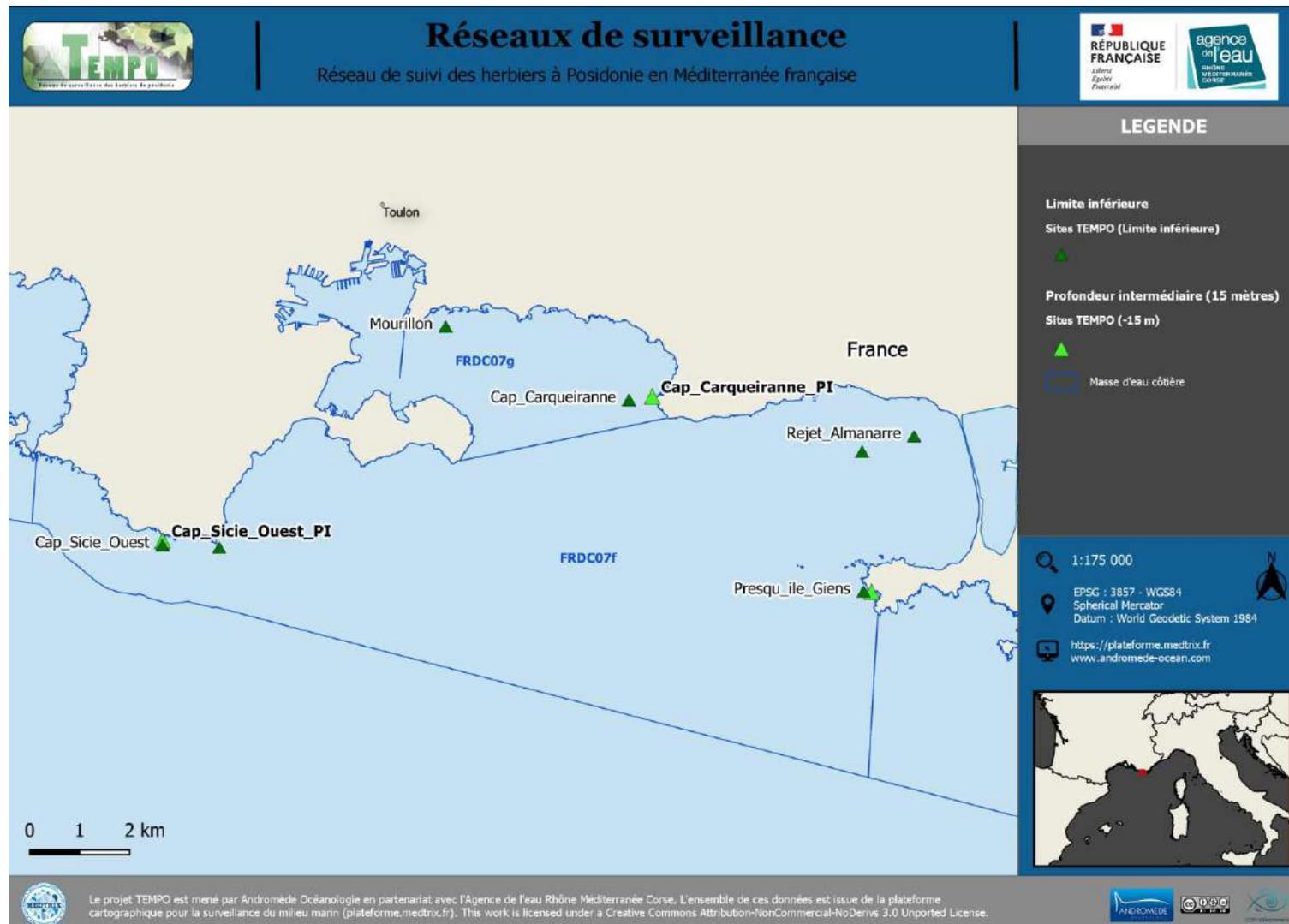
L'EQR de l'indice **PREI** sur le site prospecté en 2015 (0,712) et 2018 (0,697) indique **un état bon du site en 2018 et en 2015**.

Tableau 44 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07e	FRDC07e	FRDC07e	
Nom du site	Embiez Nord PI	Embiez Nord PI	Embiez Nord PI	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.48	0.49	0	0 0.48 0.77
Valeur BiPo (PI)	0.62	0.62	0.66	0.37 0.57 0.75
Valeur PREI (PI)	0.71	0.7	0	0 0.23 0.75
Profondeur intermédiaire du site (m)	13.5	13.5	14	13 15.04 18
Profondeur de la limite inférieure (m)	30	30	30	13 26.02 36
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m2)	320	326	327	122 246.5 477
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m2)	125	149	0	0 148.21 347
Type de limite inférieure	2	2	2	1 2.76 5
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	-1	1.6	0	-1.5 2.44 10.5
Longueur des feuilles à la PI (mm)	676	660	770	237 572.64 1080
Surface foliaire à la PI (cm²/faisceaux)	282	263	0	0 96.44 408
Charge épiphytaire à la PI	0.08	0.14	0	0 0.05 0.27

## V.L. Masse d'eau FRDC07f

La masse d'eau FRDC07f comprend deux sites suivis dans le cadre du réseau TEMPO en limite inférieure : « Cap Sicié Ouest » suivi en 2021 et « Presqu'île de Giens » suivi en 2022, trois autres sites localisés en limite inférieure et suivis dans le cadre des stations d'épuration de TPM (Rejet Almanarre, Cap Sicié Est et Giens), et deux autres à la profondeur intermédiaire (« Cap Sicié Ouest » suivi en 2021 et « Presqu'île de Giens PI » suivi en 2022).



## V.L.1. Cap Sicié Ouest (masse d'eau FRDC07f) – Limite inférieure

a. Présentation du site

Description générale					
Température de l'eau (°C)	18	Nombreux faisceaux plagiotropes dans les tâches en dessous du tombant de matte morte.			
Visibilité (m)	15				
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier	<input type="checkbox"/> Sable fin	<input type="checkbox"/> Matte morte	<input type="checkbox"/> Substrat rocheux	<input checked="" type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	Sable grossier et coquillé				
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea	<input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia	<input type="checkbox"/> Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Womersleyella setacea	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche	<input type="checkbox"/> Traces de mouillage	<input type="checkbox"/> Structures artificielles	<input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché	<input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques					
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés	<input checked="" type="checkbox"/> Macrodéchets	<input type="checkbox"/> Hydrocarbures	<input type="checkbox"/> Autres: ...	
Remarques	Grande corde au fond.				
Espèces particulières	Poulpe ( <i>Octopus vulgaris</i> )				
Remarques générales					



Figure 97 : Illustrations du site Cap Sicié Ouest en limite inférieure de l'herbier (2021).

Le site « Cap Sicié Ouest » est localisé dans la masse d'eau FREC07f. L'herbier se développe sur un fond de sable grossier coquillé. Les piquets sont positionnés entre -29,1 et -30,8 m, avec présence d'un long tombant de matre morte de 70 cm de haut orienté Est-Ouest.

b. Capteur de Température

Capteur de température	
Latitude :	43 02.697
Longitude :	5 50.384
Date de pose	15/06/2021
Heure de lancement	20h
N° capteur	10950625
Profondeur du capteur (m)	30,80
N° de piquet du quadrat	piquet 1
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Mis sur le piquet 1. Ancien capteur non trouvé il était sensé être entre le piquet 1 et 4.



Figure 98 : Données et photo du capteur posé en 2021 en limite inférieure.

c. Mesures de vitalité et comparaison régionales

Les EQR entre 2009 (0,630) et 2021 (0,703) sont supérieurs à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région PACA. Ils indiquent **un état bon du site**.

Tableau 45: Comparaison des valeurs de l'EQR du site TEMPO (et des EQR' associés) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	
Nom du site	Cap Sicie Ouest					
Année	2009	2013	2015	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.63	0.66	0.62	0.65	0.7	0.26 — 0.51 — 0.77
Type de limite inférieure	3	3	3	3	3	1 — 2.64 — 5
EQR' Type de limite inférieure	0.85	0.89	0.89	0.89	0.89	0.21 — 0.58 — 1
Profondeur de la limite inférieure	30	30	30	30	31	13 — 25.62 — 36
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.74	0.74	0.74	0.74	0.78	0.25 — 0.59 — 0.94
Densité de faisceaux (faisceaux/m²)	122	179	108	173	207	23 — 168.52 — 419
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.26	0.35	0.24	0.33	0.44	0.13 — 0.38 — 0.84
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	1	1	0	-1	-1 — 1.82 — 10

La limite inférieure **franche en taches de fort recouvrement** se situe à une profondeur moyenne de **-31 mètres** (30 mètres lors des suivis antérieurs) avec **des zones de limite progressive**.

La densité moyenne à -29,7 mètres est de  $179 \pm 43,6$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2013,  $107,5 \pm 55,6$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2015 à -31 mètres,  $173 \pm 40$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2018 à -30 mètres et  $207 \pm 56,4$  faisceaux /m<sup>2</sup> en 2021 à -30,8 mètres. La mesure de densité effectuée en 2009 était de 122 faisceaux/m<sup>2</sup>. L'herbier est en **état normal en 2015, bon en 2013 et 2018 et excellent en 2021 (normal en 2009)** compte tenu de sa densité de faisceaux d'après la classification (Pergent-Martini and Pergent, 2010) ; La densité est **normale sur tous les suivis** (Pergent et al., 1995).

Le **déchaussement est faible à tous les suivis** (<5 cm).

d. Perturbations observées

En 2021 nous avons observé une grande corde au fond.

e. Cartographie des herbiers par photogrammétrie

L'évolution de la densité de faisceaux (en %) couplée à la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de discordance négative et/ou de discordance positive) entre chaque période, nous permet de suivre la dynamique évolutive de l'herbier.

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2009-2013, on observe sur ce site 29,45 % de discordance positive, 13,39 % de discordance négative et 57,16 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,37) indique un herbier stable avec une tendance progressive.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2013-2015, on observe sur ce site 52,66 % de discordance positive, 13,18 % de discordance négative et 34,15 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,6) indique un herbier avec une tendance progressive.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2015-2018, on observe sur ce site 41,37 % de discordance positive, 4,62 % de discordance négative et 54,02 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,8) indique un herbier en progression.**

Au niveau de la surface comparable du quadrat pour la période 2018-2021, on observe sur ce site 28,11 % de discordance positive, 2,99 % de discordance négative et 68,90 % de concordance. **L'indice d'évolution (0,81) indique un herbier en progression.**

La **dynamique évolutive de l'herbier analysée par télémétrie acoustique puis par photogrammétrie** montre un herbier stable à tendance progressive entre 2009 et 2013, et un herbier en progression depuis 2013.

L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021. Les précédents suivis montraient un herbier en **très bon** écologique.

Tableau 46 : Comparaison, pour les différentes périodes d'évolution, des pourcentages de discordance positive, négative et de concordance (au niveau de la surface comparable du quadrat) avec les autres sites TEMPO.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	
Nom du site	Cap Sicie Ouest	Cap Sicie Ouest	Cap Sicie Ouest	Cap Sicie Ouest	
Période d'évolution	2009-2013	2013-2015	2015-2018	2018-2021	
% Discordance positive	29	52	41	28	0   69 9.47
% Discordance négative	13	13	4	2	0   51 8.18
% Concordance	57	34	54	68	0   100 78.25
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	8	29	40	42	0   802 108.44

Le modèle 3D du site Cap Sicié Ouest en 2021 a été généré suite à l'acquisition de **1446 photographies** prises sous l'eau.

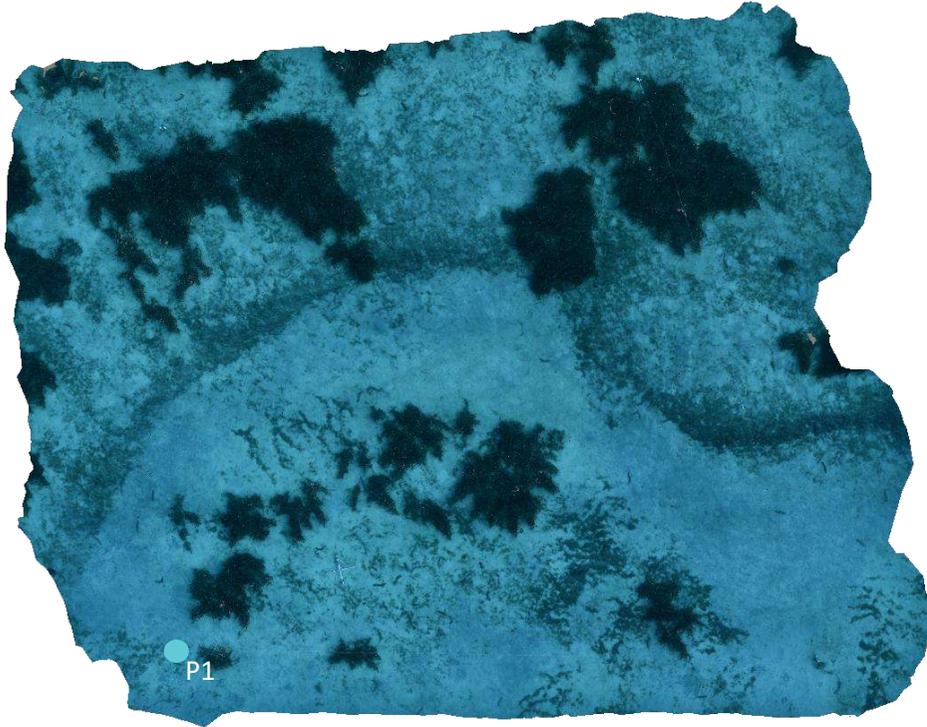


Figure 99 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2021.

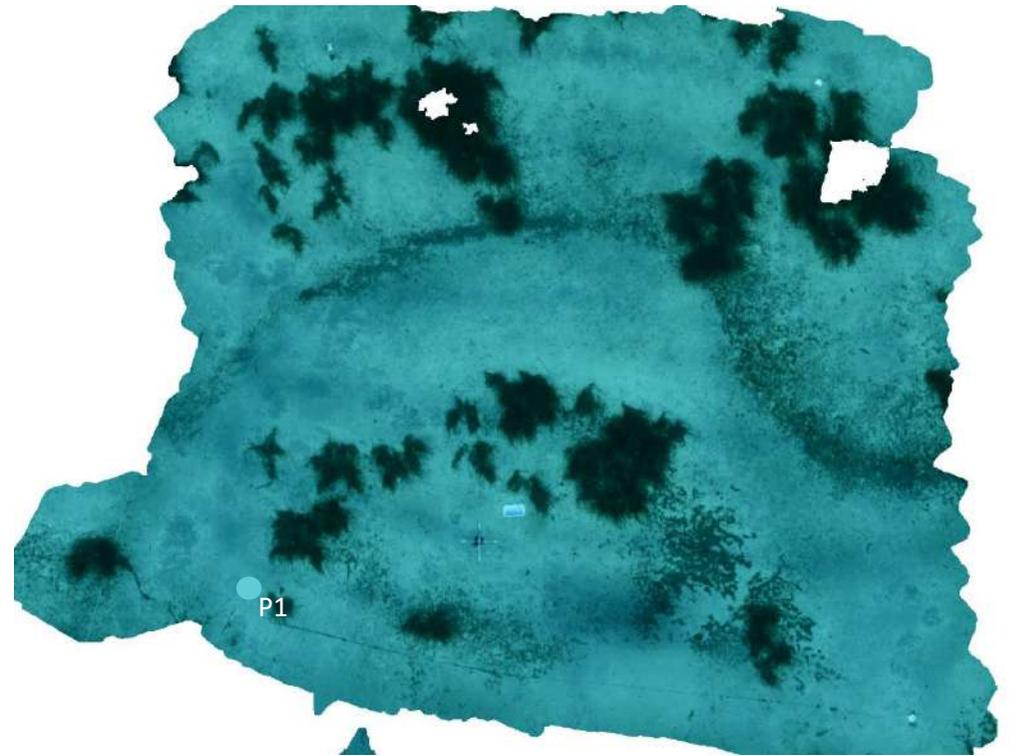
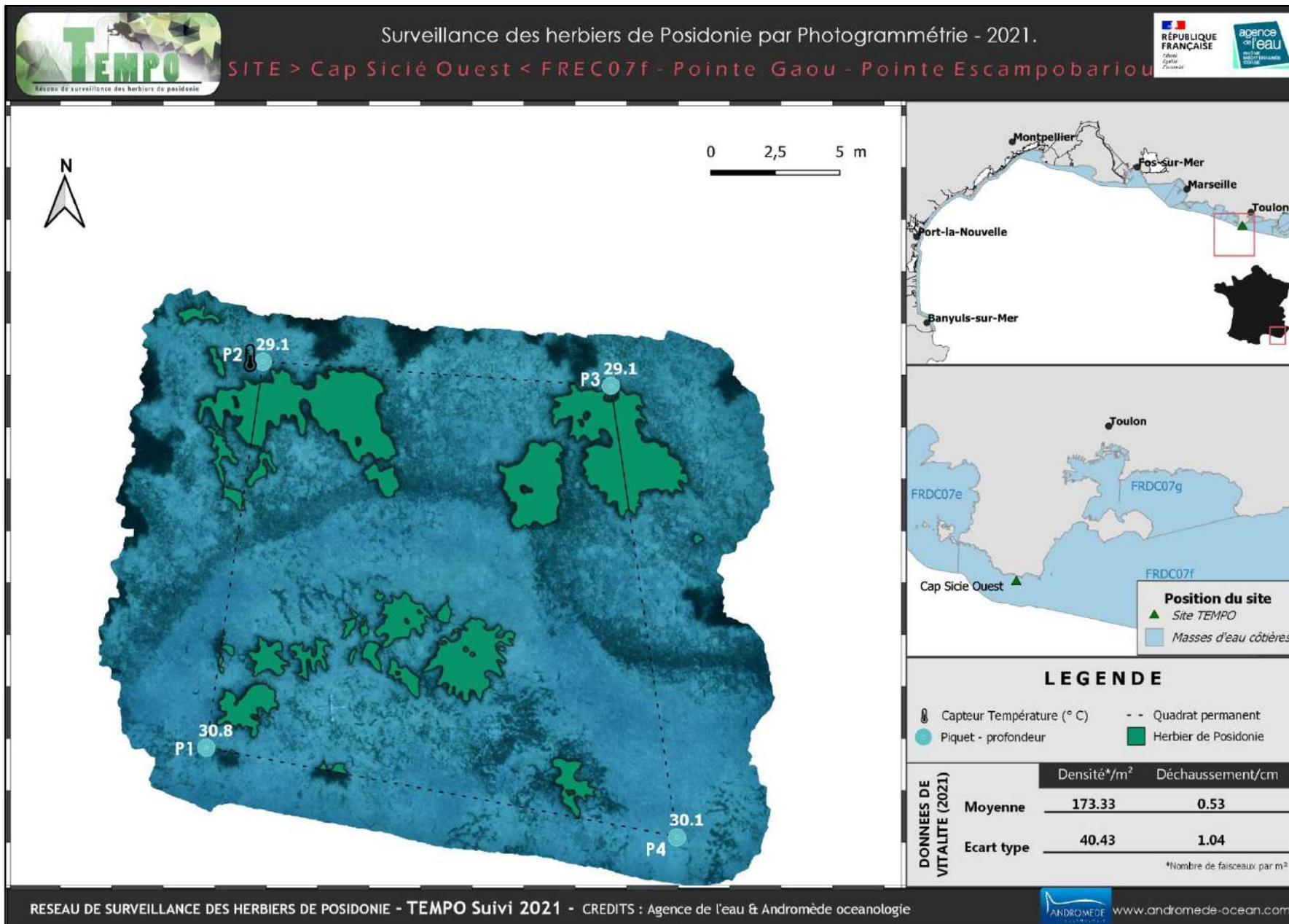


Figure 100 : Vue globale du site reconstitué en 3D par photogrammétrie en 2018.

Les cartes suivantes montrent la cartographie de l'herbier en 2021 réalisée par photogrammétrie ainsi que sa dynamique évolutive évaluée par photogrammétrie entre 2018 et 2021.



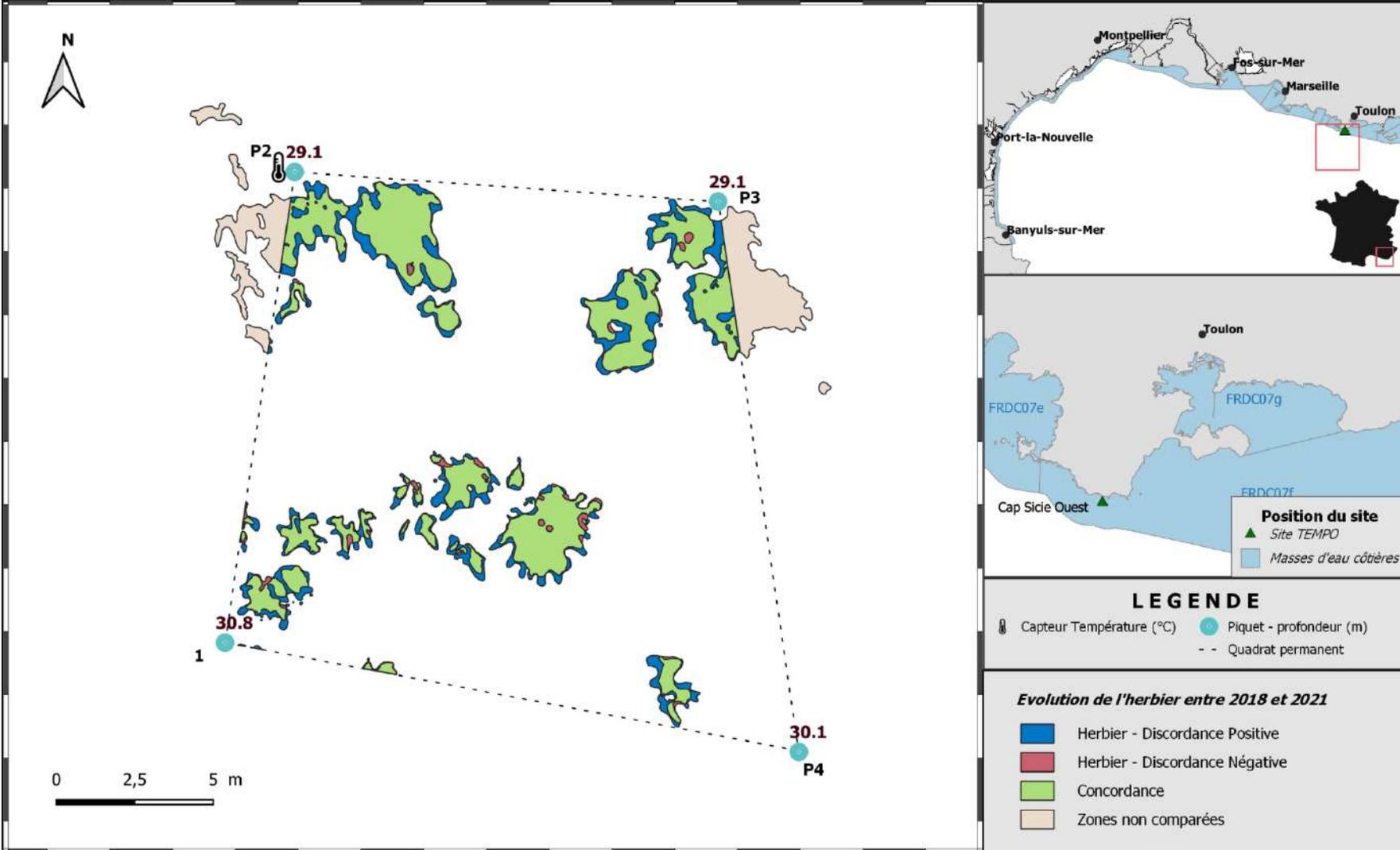




Surveillance des herbiers de Posidonie par Photogrammétrie.  
Dynamique évolutive de l'herbier de Posidonie entre 2018 et 2021.



SITE > Cap Sicié Ouest < FREC07f - Pointe Gaou - Pointe Escampobariou



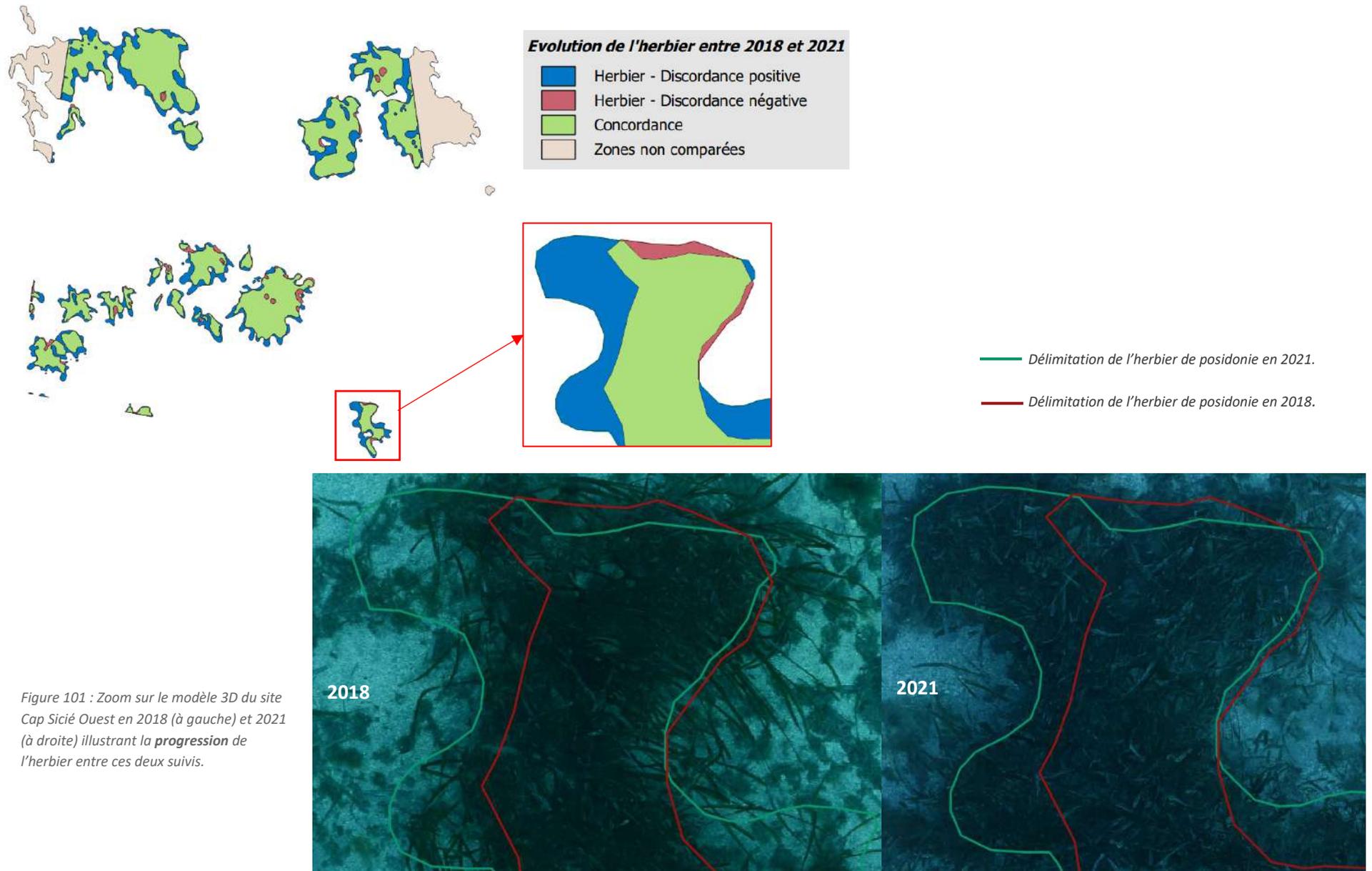


Figure 101 : Zoom sur le modèle 3D du site Cap Sicié Ouest en 2018 (à gauche) et 2021 (à droite) illustrant la **progression** de l'herbier entre ces deux suivis.

## V.L.2. Cap Sicié Ouest PI (masse d'eau FRDC07f) – Profondeur intermédiaire

a. Présentation du site

Description générale	
Température de l'eau (°C)	19
Visibilité (m)	15
Nature du fond	<input checked="" type="checkbox"/> Sable grossier <input type="checkbox"/> Sable fin <input type="checkbox"/> Matte morte <input type="checkbox"/> Substrat rocheux <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	
Perturbations biologiques	<input type="checkbox"/> Caulerpa cylindracea <input type="checkbox"/> Caulerpa taxifolia <input type="checkbox"/> Algues filamenteuses <input type="checkbox"/> Womersleyella setacea <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	<i>(Superficie du quadrat couverte par les espèces invasives et algues filamenteuses/Taux de recouvrement : Très faible (&lt;20%), Faible (20-40%), Moyen (40-60%), Fort (60-80%) et Très fort (&gt;80%)</i>
Perturbations physiques	<input type="checkbox"/> Engins de pêche <input type="checkbox"/> Traces de mouillage <input type="checkbox"/> Structures artificielles <input type="checkbox"/> Bloc de matte arraché <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	
Pollutions	<input type="checkbox"/> Sédiments oxydés <input type="checkbox"/> Macrodéchets <input type="checkbox"/> Hydrocarbures <input type="checkbox"/> Autres : ...
Remarques	<i>(Epaisseur et couleur couche oxydée, volume et dangerosité des macrodéchets)</i>
Espèces particulières	
Remarques générales	Espèce d'escargot (murex ?). Feuilles broutées.



Figure 102 : Illustrations de l'herbier à -15 m (2021).

b. Capteur de température

Capteur de température	
Latitude :	43 02.802
Longitude :	5 50.390
Date de pose	15/06/2021
Heure de lancement	20:00
N° capteur	20101054
Profondeur du capteur (m)	14,9
Paramétrage	1 mesure toutes les 30 minutes
Description de la zone	Capteur dans le sable entre les taches d'herbiers sur un piquet



Figure 103 : Données et photo du capteur posé en 2021 à -15 m (ancien capteur non retrouvé, nouvelles coordonnées GPS pour le capteur).

c. Indices de qualité écologique et comparaison régionale

L'indice BiPo a été calculé sur ce site en 2015, 2018, 2021.

L'EQR de l'indice BiPo sur le site prospecté en 2015 (0,673), 2018 (0,630) et 2021 (0,726) est supérieur à la valeur moyenne régionale comparés aux autres sites du réseau TEMPO de la région Sud. Le site conserve un **bon état écologique depuis 2015**.

**Le PREI n'est pas calculé sur ce site.**

Tableau 47 : Paramètres et indicateurs mesurés à la profondeur intermédiaire comparés à l'échelle régionale.

Région	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	
Nom du site	Cap Sicie Ouest PI	Cap Sicie Ouest PI	Cap Sicie Ouest PI	
Année	2015	2018	2021	
Valeur EQR (LI)	0.62	0.65	0.7	0 0.77 0.48
Valeur BiPo (PI)	0.67	0.63	0.73	0.37 0.75 0.57
Valeur PREI (PI)	0	0	0	0 0.75 0.23
Profondeur intermédiaire du site (m)	14.5	14.5	14.9	13 18 15.04
Profondeur de la limite inférieure (m)	30	30	31	13 36 26.02
Densité de faisceaux à la PI (faisceaux/m2)	351	212	379	122 477 246.5
Densité de faisceaux en LI (faisceaux/m2)	108	173	207	0 347 148.21
Type de limite inférieure	4	4	4	1 5 2.76
Déchaussement de l'herbier en LI (cm)	1	0.5	-1	-1.5 10.5 2.44
Longueur des feuilles à la PI (mm)	535	420	560	237 1080 572.64
Surface foliaire à la PI (cm²/faisceaux)	0	0	0	0 408 96.44
Charge épiphytaire à la PI	0	0	0	0 0.27 0.05

## VI. Synthèse

### VI.A. Difficultés rencontrées et points remarquables

Quelques perturbations biologiques, physiques et pollutions impactant l'herbier suivi ou les alentours du site TEMPO ont été relevées en 2021 :

- **Observation d'un bloc de matte arraché** (Banyuls Pin Parasol) et de **faisceaux d'herbier arrachés** posés sur le fond (Ile\_Plane)
- **Des engins de pêche : grosse ancre de 80 cm** (Paulilles), **fil de pêche** (N\_Côte\_Bleue, Cap\_Canaille)
- **Des macrodéchets : bouteille en plastique** (Bonnieu Nord), **structure métallique** (N\_Côte\_Bleue), **tas d'assiettes** (Digue\_Marseille), **Bidon rouillé** (Ile\_Plane), **parpaing** (Cap\_Canaille), **gros bout** (Alon), **grande corde** (Cap\_Sicié\_Ouest)
- **Des algues envahissantes : *Caulerpa cylindracea*** (Frioul), ***Asparagopsis sp.*** (Ile\_Plane)
- **Des algues filamenteuses** (Liouquet – environ 20 % de recouvrement) rendant la cartographie de l'herbier assez difficile à réaliser.

### VI.B. Sites à la profondeur intermédiaire de -15m

Nous présentons ci-après des tableaux et cartes de synthèse avec :

Dans le premier tableau, l'ensemble des paramètres et l'indice de qualité écologique EQR des **sites TEMPO échantillonnés à la profondeur intermédiaire (en 2015, 2018 et 2021) et suivis selon le protocole PREI**. On y trouve le détail de tous les paramètres nécessaires au calcul de l'EQR : densité de faisceaux, surface foliaire et charge épiphytaire mesurés à la profondeur intermédiaire (-15 m), ainsi que les paramètres de profondeur et type de limite inférieure associés ;

Dans le second tableau, le **classement de l'ensemble des sites TEMPO** échantillonnés à la profondeur intermédiaire en 2015, 2018 et 2021 **selon l'indice BiPo**.

Globalement **l'état écologique des sites à -15 m est qualifié en majorité de bon état**, et certains sites sont en état **moyen**. Le BiPo et le PREI révèlent les mêmes informations.

#### VI.B.1. INDICE PREI

D'après la carte et le tableau suivants, on constate que le **statut des sites est stable depuis 2015 et qualifié de bon état**. Seul le site Grand\_Travers présente un changement d'état écologique en 2018 (état qualifié de bon) par rapport à 2015 (état moyen) et 2021 (état moyen) selon l'indice PREI.

On observe une augmentation de l'EQR des sites Cap\_Canaille\_PI, Frioul\_PI, Ile\_Plane\_PI entre 2018 et 2021. Celle-ci est associée à une augmentation de densité de faisceaux (Cap\_Canaille\_PI, Frioul\_PI,) et à une surface foliaire moins importante (Cap\_Canaille\_PI, Frioul\_PI, Ile\_Plane\_PI).

On observe une diminution de l'EQR des sites Carry\_PI et Grand\_Travers entre 2018 et 2021 liée à une baisse de densité de faisceaux.

**D'après l'indice PREI, l'état écologique des herbiers en région Occitanie et PACA Ouest est stable.**



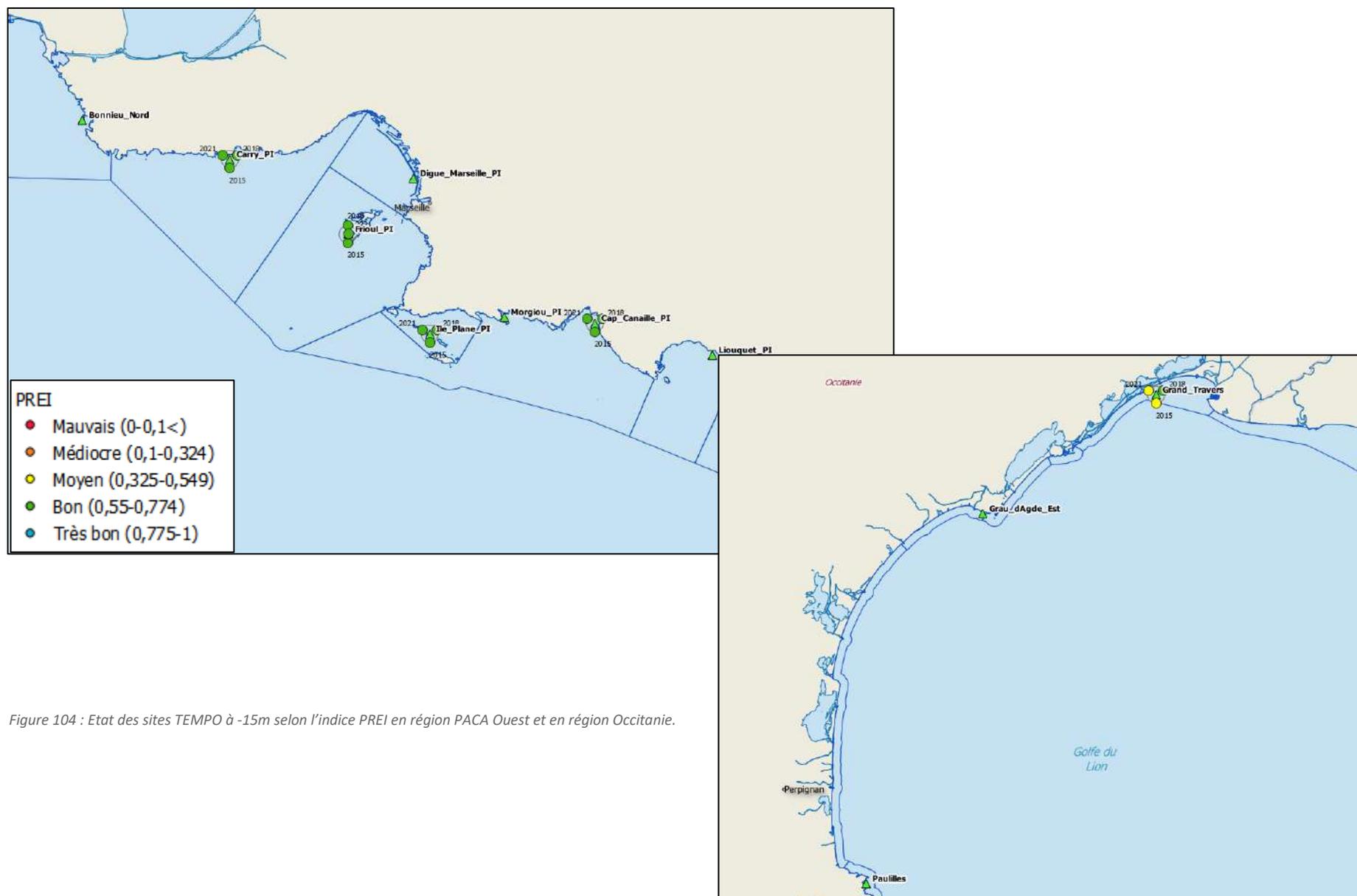


Tableau 48: Valeurs brutes des paramètres de densité, surface foliaire et charge épiphytaire mesurés à la profondeur intermédiaire (-15 m), des paramètres de profondeur et type de limite inférieure associés et l'EQR global de ces sites TEMPO échantillonnés en 2015, 2018 et 2021 - suivis selon le protocole PREI

SITE	ANNEE	Profondeur intermédiaire (-15m)						Limite inférieure			EQR (PREI)	Classe
		Densité (faisceaux/m <sup>2</sup> )	N_DENS	Surface foliaire (cm <sup>2</sup> /faisceaux)	N_SF	Charge épiphytaire (g/g)	N_EL	Prof. (m)	Type de limite	N_LIM_INF		
Cap_Canaille_PI	2015	242	0,36	349	0,75	0,14	0,43	33	Régressive	0,82	0,712	Bon
Cap_Canaille_PI	2018	300	0,45	193	0,42	0,17	0,41	33	Régressive	0,82	0,643	Bon
Cap_Canaille_PI	2021	315	0,47	248	0,53	0,20	0,40	33	Clairsemée	0,96	0,711	Bon
Carry_PI	2015	154	0,23	361	0,78	0,09	0,45	30	Régressive	0,68	0,655	Bon
Carry_PI	2018	263	0,39	216	0,46	0,10	0,45	30	Régressive	0,68	0,617	Bon
Carry_PI	2021	233	0,34	275	0,59	0,19	0,41	25	Franche	0,59	0,602	Bon
Frioul_PI	2015	205	0,30	241	0,52	0,13	0,43	25	Franche	0,59	0,579	Bon
Frioul_PI	2018	187	0,28	207	0,45	0,14	0,43	25	Franche	0,59	0,552	Bon
Frioul_PI	2021	278	0,41	273	0,59	0,14	0,43	25	Progressive	0,73	0,66	Bon
Grand_Travers	2015	146	0,15	153	0,52	0,12	0,44	8	Franche	0,50	0,517	Moyen
Grand_Travers	2018	380	0,39	163	0,55	0,11	0,45	8	Franche	0,50	0,59	Bon
Grand_Travers	2021	237	0,24	119	0,40	0,16	0,42	8	Franche	0,50	0,506	Moyen
Ile_Plane_PI	2015	223	0,33	312	0,67	0,14	0,43	26	Progressive	0,77	0,673	Bon
Ile_Plane_PI	2018	279	0,41	158	0,34	0,19	0,40	26	Progressive	0,77	0,601	Bon
Ile_Plane_PI	2021	253	0,38	241	0,52	0,27	0,36	26	Progressive	0,77	0,627	Bon

### VI.B.2. INDICE BiPo

D'après la carte et le tableau suivant, on constate **que la presque totalité des sites a conservé le même statut entre 2015, 2018 et 2021** :

- Les sites Alon\_PI, Cap\_Canaille\_PI, Frioul\_PI, Ile\_Plane\_PI, Embiez\_Nord\_PI, Liouquet\_PI, Cap\_Sicie\_Ouest\_PI conservent un « bon état écologique » ;
- Les sites Bonnieu\_Nord, Digue\_Marseille\_PI, et Paulilles conservent un « état écologique moyen »

Le site Grand\_Travers présente un changement d'état en 2018 (état qualité de bon) par rapport à 2015 (état moyen) et 2021 (état moyen) selon l'indice BiPo.

Le site Carry\_PI présentait un état écologique moyen en 2015, qui est passé en bon état en 2018. En 2021 ce site conserve le même statut qu'en 2018 (état qualifié de bon).

En 2021 on constate que :

- La plupart des sites ont des **longueurs de feuilles plus élevées** par rapport à 2021 par rapport à 2018 (9 sites sur 12)
- Sept sites ont des **densités de faisceaux plus faibles** par rapport à 2018, quatre sites ont des densité sde faisceaux plus élevés, et un site est stable.

**D'après l'indice BiPo, l'état écologique des herbiers en région Occitanie et PACA Ouest est stable.**

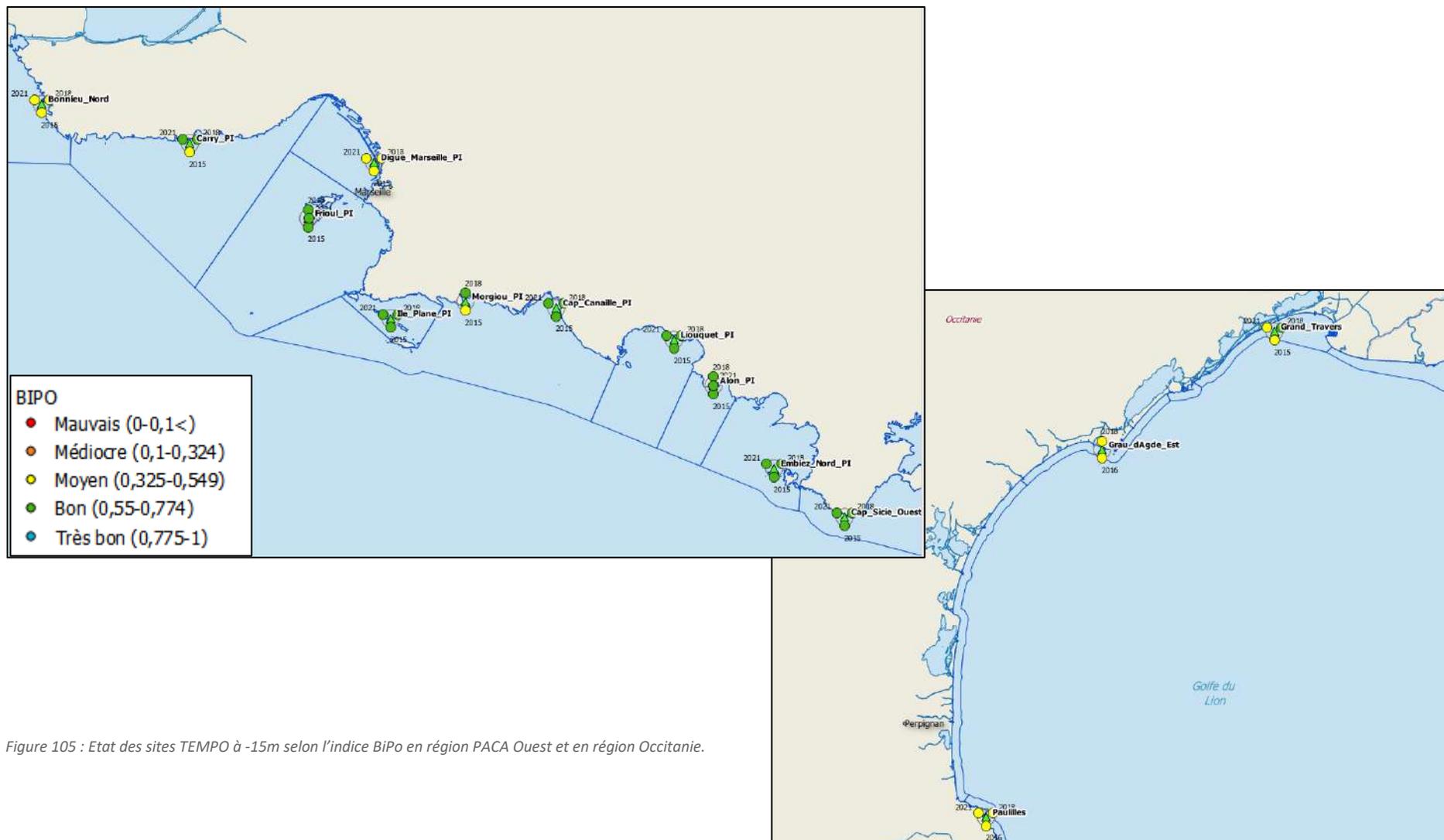


Tableau 49 : Valeurs des paramètres de profondeur et type de limite inférieure, densité et longueur des feuilles mesurés à la profondeur intermédiaire (-15 m), et l'EQR global de ces sites TEMPO échantillonnés en 2015, 2018 et 2021 - suivis selon le protocole BiPo.

SITE	ANNEE	Densité (faisceaux/m <sup>2</sup> )	DENS_EQR'	Longueur des feuilles (mm)	LONG_F_EQR'	Prof. (m)	PROF_EQR'	Type de limite	TYP_EQR'	Valeur (BiPo2)	Classe
Alon_PI	2015	272	0.62	744	0,68	22	0.44	F-	0.66	0.6	Bon
Alon_PI	2018	350	0.79	610	0,50	22	0.44	F-	0.66	0.596	Bon
Alon_PI	2021	300	0.688	760	0,70	22	0.438	F-	0.66	0.621	Bon
Bonnieu_Nord	2015	174	0.33	502	0,35	13	0.25	F-	0.66	0.398	Moyen
Bonnieu_Nord	2018	242	0.56	310	0,52	13	0.25	F-	0.66	0.496	Moyen
Bonnieu_Nord	2021	219	0.483	590	0,47	13	0.254	F-	0.66	0.467	Moyen
Cap_Canaille_PI	2015	242	0.56	744	0,68	33	0.84	R	0.21	0.573	Bon
Cap_Canaille_PI	2018	300	0.69	477	0,73	33	0.84	R	0.21	0.617	Bon
Cap_Canaille_PI	2021	315	0.721	570	0,46	33	0.839	C	0.44	0.614	Bon
Carry_PI	2015	154	0.3	646	0,54	30	0.74	R	0.21	0.448	Moyen
Carry_PI	2018	263	0.61	439	0,68	30	0.74	R	0.21	0.558	Bon
Carry_PI	2021	233	0.528	450	0,70	25	0.55	F+	0.89	0.667	Bon
Digue_Marseille_PI	2015	213	0.46	640	0,53	20.4	0.38	F-	0.66	0.508	Moyen
Digue_Marseille_PI	2018	162	0.31	510	0,36	20.4	0.38	F-	0.66	0.427	Moyen
Digue_Marseille_PI	2021	148	0.294	680	0,59	20.4	0.377	F-	0.66	0.481	Moyen
Embiez_Nord_PI	2015	320	0.73	676	0,58	30	0.74	C	0.44	0.623	Bon
Embiez_Nord_PI	2018	326	0.75	660	0,56	30	0.74	C	0.44	0.62	Bon
Embiez_Nord_PI	2021	327	0.748	770	0,72	30	0.738	C	0.44	0.662	Bon
Frioul_PI	2015	205	0.44	491	0,34	25	0.55	F+	0.89	0.555	Bon
Frioul_PI	2018	187	0.37	347	0,56	25	0.55	F+	0.89	0.593	Bon
Frioul_PI	2021	278	0.637	530	0,39	25	0.55	P	1	0.645	Bon
Grand_Travers	2015	146	0.29	366	0,58	8	0.19	F-	0.66	0.43	Moyen
Grand_Travers	2018	380	0.81	370	0,59	8	0.19	F-	0.66	0.562	Bon
Grand_Travers	2021	237	0.542	280	0,46	8	0.195	F-	0.66	0.465	Moyen
Ile_Plane_PI	2015	223	0.5	728	0,66	26	0.59	P	1	0.688	Bon
Ile_Plane_PI	2018	279	0.64	333	0,54	26	0.59	P	1	0.692	Bon
Ile_Plane_PI	2021	253	0.582	400	0,63	26	0.588	P	1	0.701	Bon
Liouquet_PI	2015	187	0.38	655	0,56	32.9	0.84	C	0.44	0.555	Bon
Liouquet_PI	2018	318	0.73	520	0,38	32.9	0.84	C	0.44	0.596	Bon
Liouquet_PI	2021	278	0.637	420	0,65	32.9	0.836	C	0.44	0.641	Bon
Cap_Sicie_Ouest_PI	2015	351	0.89	535	0,40	30	0.74	F-	0.66	0.673	Bon
Cap_Sicie_Ouest_PI	2018	212	0.46	420	0,66	30	0.74	F-	0.66	0.63	Bon
Cap_Sicie_Ouest_PI	2021	379	0.81	560	0,43	31	0.775	F+	0.89	0.726	Bon
Paulilles	2016	215	0.47	503	0,35	14	0.27	F-	0.66	0.438	Moyen
Paulilles	2018	188	0.38	450	0,70	14	0.27	F-	0.66	0.501	Moyen
Paulilles	2021	218	0.478	330	0,54	14	0.266	F-	0.66	0.486	Moyen

## VI.C. Sites en limite inférieure

**Nous synthétisons ci-dessous pour chaque site les tendances évolutives et points remarquables et l'état de l'herbier (en prenant en compte l'indicateur de dynamique évolutive et l'EQR site calculé – cartes & tableaux ci-dessous) :**

- **Pin Parasol** : L'analyse des données 2008 et 2021 montre que l'herbier du Pin Parasol présente un état écologique bon depuis 2008 d'après son EQR. Au niveau cartographique, l'herbier semble globalement stable, avec quelques zones de régression. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2008 et 2021.
- **Paulilles** : L'herbier présente un état écologique moyen depuis 2016 d'après son EQR. Au niveau cartographique, la tendance progressive de l'herbier observée depuis 2016 s'est confirmée avec le suivi 2021. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021.
- **Grand Travers** : L'herbier présente un état écologique moyen depuis 2012 d'après son EQR, exception en 2018 où son état est bon (les variations de l'EQR entre les suivis sont exclusivement liées à celles de densité de faisceaux). Au niveau cartographique, la dynamique évolutive de l'herbier montre un herbier stable entre 2012 et 2018, puis à tendance progressive sur la période 2018-2021, à confirmer lors du prochain suivi en 2024. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (état écologique **moyen**).
- **Bonnieu** : L'herbier présente un état écologique moyen depuis 2012 d'après son EQR. Au niveau cartographique, la dynamique évolutive de l'herbier montrait un herbier à tendance régressive jusqu'en 2015, qui s'est stabilisée en 2018, et qui présente en 2021 une tendance progressive, à confirmer lors du prochain suivi en 2024. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne aussi d'un herbier en **très bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (état écologique **moyen**).
- **N\_Côte\_Bleue** : Ce nouveau site a été défini dans le Parc Marin de la Côte Bleue en 2021. L'herbier présente un état écologique bon d'après son EQR avec une limite inférieure franche à fort recouvrement avec présence de rhizomes plagiotropes. Au niveau cartographique, l'herbier couvre une surface de plus de 100 m<sup>2</sup>, cartographié par

photogrammétrie. Le prochain suivi de 2024 permettra de calculer un indicateur de dynamique évolutive de l'herbier.

- **Digue\_Marseille et Digue\_Marseille\_2** : Ces deux sites sont situés à une trentaine de mètres l'un de l'autre. Sur le site Digue Marseille, l'herbier présente un état écologique moyen depuis 2008 d'après son EQR ; les paramètres montrent une diminution de la vitalité entre 2008 et 2015 (baisse de densité de faisceaux et augmentation du déchaussement) qui se stabilise sur la période 2015-2021. Au niveau cartographique, la dynamique évolutive de l'herbier montrait un herbier à tendance régressive jusqu'en 2015, qui s'est stabilisée entre 2015 et 2018, et qui présente sur la période 2018-2021 une tendance progressive. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne aussi d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (état écologique **moyen**). Sur le site Digue\_Marseille\_2, l'indice d'évolution indique un herbier avec une tendance progressive, qui sera à confirmer lors du prochain suivi avec le calcul de l'indicateur de dynamique évolutive.
- **Frioul** : L'herbier présente un état écologique bon depuis 2012 d'après son EQR. Les paramètres de vitalité (densité de faisceaux) tout comme la dynamique évolutive de l'herbier montraient un herbier à tendance régressive jusqu'en 2015, dont la dynamique s'est stabilisée en 2018, et qui présente en 2021 une tendance progressive, à confirmer lors du prochain suivi en 2024. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**moyen état** écologique entre 2012 et 2018).
- **Ile Plane** : L'herbier présente un état écologique bon depuis 2012 d'après son EQR. Au niveau cartographique, la dynamique évolutive de l'herbier montrait un herbier à tendance régressive jusqu'en 2015, qui s'est stabilisée en 2018, et qui présente en 2021 une tendance progressive, à confirmer lors du prochain suivi en 2024. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**moyen état** écologique entre 2012 et 2018).
- **Cap Canaille** : L'herbier présente un état écologique moyen depuis 2012 d'après son EQR, et qui tend à s'améliorer. Au niveau cartographique, la dynamique évolutive de l'herbier montrait un herbier à tendance régressive jusqu'en 2015, qui s'est stabilisée en 2018, et qui présente en 2021 une tendance progressive, à confirmer lors du prochain suivi en 2024. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**état bon** entre 2012 et 2015 et état écologique **moyen** entre 2015 et 2018).



- **Liouquet** : L'herbier présente un état écologique moyen depuis 2008 d'après son EQR. Au niveau cartographique, la dynamique évolutive de l'herbier montrait un herbier en régression jusqu'en 2015 et qui se stabilise depuis 2018. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021, qui s'est amélioré par rapport aux anciens suivis (**moyen état écologique** entre 2012 et 2018).
- **Alon** : L'herbier présente un état écologique bon depuis 2012 d'après son EQR. Les paramètres de vitalité sont globalement stables et la dynamique évolutive analysée par télémétrie acoustique puis par photogrammétrie montre un herbier à tendance progressive depuis 2015. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **moyen état** écologique entre 2018 et 2021 (35 % d'augmentation de densité de faisceaux combinés à 10 % de progression). Aux suivis précédents l'indicateur de dynamique évolutive indiquant un **bon état** écologique (entre 2015 et 2018) et un **état écologique médiocre** (entre 2012 et 2015).
- **Cap Sicié Ouest** : L'herbier présente un état écologique bon depuis 2009 d'après son EQR. La dynamique évolutive analysée par télémétrie acoustique puis par photogrammétrie montre un herbier stable à tendance progressive entre 2009 et 2013, et un herbier en progression depuis 2013. L'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état** écologique entre 2018 et 2021. Les précédents suivis montraient un herbier en **très bon** écologique.

*Les cartes ci-après montrent la localisation et le statut écologique des sites TEMPO échantillonnés en limite inférieure d'après l'EQR Site (première carte : sites en région Occitanie, seconde carte : sites en région PACA Ouest).*

En considérant les mesures de vitalité (déchaussement, densité de faisceaux) et les données sur la limite inférieure (profondeur, type de limite, données surfaciques) nous constatons que :

- Sur tous les sites TEMPO l'indicateur de dynamique évolutive témoigne d'un herbier en **bon état écologique entre 2018 et 2021**, à l'exception du site Alon. Sur ce site, l'état écologique de l'herbier est qualifié de moyen d'après cet indicateur car sur la période 2018-2021 c'est la formule avec l'augmentation de la densité de faisceaux qui a été prise alors qu'au suivi précédent c'était celle avec la baisse de densité (35 % d'augmentation de densité de faisceaux combinés à une progression de 10 % entre 2018 et 2021, alors que sur la période 2015-2018 il y avait 11 % de baisse de densité de faisceaux et 15 % de progression). **Depuis 2012, l'état écologique de l'herbier s'est amélioré sur la majorité des sites** d'après l'indicateur de dynamique évolutive (Tableau 55).

- Le suivi 2021 a permis de confirmer la tendance de l'herbier observée lors du (ou des) précédent(s) suivi(s) sur les sites Paulilles, Alon, Cap Sicié Ouest (**herbier en progression**) et Liouquet (**herbier stable**).

- L'analyse de la dynamique évolutive de l'herbier à partir des données photogrammétriques de 2018 et de 2021 a montré une **tendance progressive de l'herbier** sur les sites Cap Canaille, Ile Plane, Frioul, Digue Marseille (deux sites), Bonnieu, Grand Travers, qu'il faudra confirmer lors du prochain suivi en 2024.





Le tableau de synthèse suivant présente pour chaque site TEMPO échantillonné en limite inférieure en 2021 et lors des suivis précédents les valeurs des différents paramètres et EQR'.

Tableau 50: Indices et paramètres mesurés sur chaque site TEMPO échantillonné en 2021 en limite inférieure et données des suivis antérieurs (comparaison avec la région Occitanie).

Région	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende
Masse d'eau cotière	FRDC02f	FRDC02f	FRDC02f	FRDC02f	FRDC02f	FRDC01	FRDC01	FRDC01	FRDC01	FRDC01	FRDC01	
Nom du site	Grand Travers	Grand Travers	Grand Travers	Grand Travers	Grand Travers	Banyuls Pin Parasol	Banyuls Pin Parasol	Paulilles	Paulilles	Paulilles	Paulilles	
Année	2006	2012	2015	2018	2021	2008	2021	2012	2016	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.56	0.54	0.38	0.55	0.51	0.63	0.58	0.36	0.47	0.44	0.47	
Type de limite inférieure	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	
EQR' Type de limite inférieure	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.89	0.89	0.66	0.66	0.66	0.66	
Profondeur de la limite inférieure	8.2	8	8	8	8	18.3	19	14.5	14.5	14.5	14.5	
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.32	0.33	0.27	0.27	0.27	0.27	
Densité de faisceaux (faisceaux/m²)	408	342	146	380	237	298	234	40	215	188	218	
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.83	0.78	0.29	0.81	0.69	0.68	0.53	0.15	0.47	0.38	0.48	
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	-2	-2	0	-2	0	0	0	0	1	2	

Tableau 51: Indices et paramètres mesurés sur chaque site TEMPO échantillonné en 2021 en limite inférieure et données des suivis antérieurs (comparaison avec la région PACA).

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau cotière	FRDC06	FRDC06a	FRDC06a	FRDC06a	FRDC06a	FRDC06a	FRDC06a	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07d	FRDC07d	FRDC07d	FRDC07d	
Nom du site	N Cote Bleue	Digue Marseille 2	Digue Marseille 2	Liouquet	Liouquet	Liouquet	Liouquet	Liouquet	Alon	Alon	Alon	Alon					
Année	2021	2008	2012	2015	2021	2018	2021	2008	2012	2015	2018	2021	2012	2015	2018	2021	
Valeur EQR LI	0.77	0.51	0.51	0.45	0.44	0.44	0.44	0.5	0.49	0.5	0.47	0.49	0.57	0.58	0.56	0.62	
Type de limite inférieure	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	
EQR' Type de limite inférieure	0.89	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.66	0.66	0.66	0.66	
Profondeur de la limite inférieure	25	20.4	20.4	20.4	20.8	20.4	20.4	32.1	32.9	32.9	32.9	32.9	22	22	22	22	
EQR' Profondeur de la limite inférieure	0.74	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.81	0.84	0.84	0.84	0.84	0.44	0.44	0.44	0.44	
Densité de faisceaux (faisceaux/m²)	292	220	218	155	136	143	136	108	61	101	25	58	262	282	251	338	
EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure	0.67	0.49	0.48	0.3	0.28	0.29	0.28	0.24	0.18	0.23	0.13	0.18	0.6	0.65	0.58	0.77	
Déchaussement de l'herbier (cm)	0	0	1	4	5	7	5	0	0	-1	0	-1	0	0	8	-1	

Tableau 52: Indices et paramètres mesurés sur chaque site TEMPO échantillonné en 2021 en limite inférieure et données des suivis antérieurs (comparaison avec la région PACA).

PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende								
FRDC04	FRDC04	FRDC04	FRDC04	FRDC07b	FRDC07b	FRDC07b	FRDC07b	FRDC06b	FRDC06b	FRDC06b	FRDC06b	FRDC07a	FRDC07a	FRDC07a	FRDC07a	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f		
Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	Cap Canaille	Cap Canaille	Cap Canaille	Cap Canaille	Frioul	Frioul	Frioul	Frioul	Ile Plane	Ile Plane	Ile Plane	Ile Plane	Cap Sicie Ouest							
2012	2015	2018	2021	2012	2015	2018	2021	2012	2015	2018	2021	2012	2015	2018	2021	2009	2013	2015	2018	2021			
0.48	0.41	0.49	0.47	0.43	0.43	0.45	0.51	0.64	0.59	0.63	0.68	0.65	0.67	0.62	0.61	0.63	0.66	0.62	0.65	0.7			
3	3	3	3	1	1	1	2	4	4	4	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3		
0.66	0.66	0.66	0.66	0.21	0.21	0.21	0.44	0.89	0.89	0.89	1	1	1	1	1	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89		
13	13	13	13	33	33	33	33	25	25	25	25	26	26	26	26	30	30	30	30	30	31		
0.25	0.25	0.25	0.25	0.84	0.84	0.84	0.84	0.55	0.55	0.55	0.55	0.59	0.59	0.59	0.59	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.78		
232	174	242	224	114	113	143	121	218	172	213	218	182	199	119	110	122	179	108	173	207	207		
0.53	0.33	0.56	0.5	0.25	0.25	0.29	0.26	0.48	0.33	0.46	0.48	0.36	0.42	0.26	0.24	0.26	0.35	0.24	0.33	0.44	0.44		
0	0	2	2	-1	-1	0	0	-1	0	6	4	0	3	5	3	0	1	1	0	-1	-1		



Tableau 53 : Pourcentages de discordance positive, de discordance négative et de concordance de l'herbier et surface comparée (m<sup>2</sup>) pour chaque site selon la période d'évolution - données jusqu'en 2021 (comparaison avec la région PACA).

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende									
Masse d'eau côtière	FRDC07d	FRDC07d	FRDC07d	FRDC06b	FRDC06b	FRDC06b	FRDC07a	FRDC07a	FRDC07a	FRDC07b	FRDC07b	FRDC07b	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	FRDC07c	
Nom du site	Alon	Alon	Alon	Frioul	Frioul	Frioul	Ile Plane	Ile Plane	Ile Plane	Cap Canaille	Cap Canaille	Cap Canaille	Liouquet	Liouquet	Liouquet	Liouquet	
Période d'évolution	2012-2015	2015-2018	2018-2021	2012-2015	2015-2018	2018-2021	2012-2015	2015-2018	2018-2021	2012-2015	2015-2018	2018-2021	2008-2012	2012-2015	2015-2018	2018-2021	
% Discordance positive	3	14	9	4	6	11	1	8	17	3	3	17	0	3	3	30	
% Discordance négative	10	2	1	11	6	0	18	6	1	12	4	5	17	14	6	28	
% Concordance	85	82	88	84	86	87	79	85	80	84	92	76	81	82	89	41	
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	99	104	68	63	58	132	40	34	32	115	104	21	65	59	49	5	

PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende							
FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	FRDC07f	FREC06a	FREC06a	FREC06a	FREC06a	FREC04	FREC04	FREC04	
Cap Sicie Ouest	Cap Sicie Ouest	Cap Sicie Ouest	Cap Sicie Ouest	Digue Marseille	Digue Marseille	Digue Marseille	Digue Marseille 2	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	Bonnieu Nord	
2009-2013	2013-2015	2015-2018	2018-2021	2008-2012	2012-2015	2018-2021	2018-2021	2012-2015	2015-2018	2018-2021	
29	52	41	28	0	2	14	14	6	24	34	
13	13	4	2	4	2	0	3	12	29	0	
57	34	54	68	95	94	84	81	81	46	65	
8	29	40	42	141	121	135	43	8	6	8	

Tableau 54 : Pourcentages de discordance positive, de discordance négative et de concordance de l'herbier et surface comparée (m<sup>2</sup>) pour chaque site selon la période d'évolution - données 2011 à 2020 (comparaison avec la région Occitanie).

Région	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Occitanie	Échelle de comparaison Région Occitanie Légende
Masse d'eau côtière	FRDC02f	FRDC02f	FRDC02f	FRDC01	FRDC01	FRDC01	
Nom du site	Grand Travers	Grand Travers	Grand Travers	Paulilles	Paulilles	Paulilles	
Période d'évolution	2012-2015	2015-2018	2018-2021	2016-2018	2018-2020	2018-2021	
% Discordance positive	26	15	24	51	7	29	7 — 51 25.71
% Discordance négative	23	22	1	14	0	0	0 — 30 12.86
% Concordance	49	61	73	33	92	69	33 — 92 59.71
Surface comparée (m <sup>2</sup> )	20	26	28	4	7	13	4 — 28 16.71

Tableau 55 : Etat de l'herbier en fonction de l'indicateur de dynamique évolutive pour chaque période d'évolution (2012-2015/2015-2018/2018-2021). NB : Pour ne pas dévaluer les scores des limites inférieures en très faible progression et/ou stables, seules les valeurs d'augmentation de densité  $\geq$  à 15 % sont considérées pour les herbiers en progression de densité. En dessous de cette valeur, l'herbier est considéré comme stable et la formule correspondante à la baisse de densité est appliquée (valeur de 0 dans ce cas). Autrement dit, une valeur de hausse densité comprise entre 0 et 15% équivaut à une valeur de baisse de densité égale à 0%. Les herbiers du site Frioul est dans ce cas et marqué par un astérisque dans le tableau.

Sites TEMPO	Note globale suivi 1 (2012-2015)	Note globale suivi 2 (2015-2018)	Note globale suivi 4 (2018-2021)
Paulilles		Très bon état	Bon état
Grau-d'Agde_Est	Bon état	Bon état	
Grand_Travers	Moyen état	Moyen état	Bon état
Bonnieu_Nord	Moyen état	Moyen état	Très bon état
N_Cote_Bleue			
Digue_Marseille	Moyen état	Moyen état	Bon état
Frioul*	Moyen état	Moyen état	Bon état
Ile Plane	Etat médiocre	Moyen état	Bon état
Cap Canaille	Bon état	Moyen état	Bon état
Liouquet	Moyen état	Moyen état	Bon état
Alon	Etat médiocre	Bon état	Moyen état
Embiez_Nord	Etat médiocre	Etat médiocre	
Cap_Sicie_Ouest	Très bon état	Très bon état	Bon état

## VI.D.Pose de thermomètres

Des thermomètres ont été positionnés sur tous les sites d'herbier de posidonie suivis dans le cadre de ce marché ainsi que sur deux sites complémentaires pour compléter le réseau CALOR (N\_Frontignan et N\_Cerbères). Les capteurs de température positionnés sur les sites Carry, Morgiou et Embiez Nord, localisés en limite inférieure et classés en sites secondaires (non suivis pour ce marché), ont été récupérés et remplacés en 2021. Deux capteurs de température n'ont pas été retrouvés sur les sites Alon\_PI (nouveau capteur mis en place) et Digue\_Marseille PI (pas de capteur mis en place car proche du site Digue Marseille LI).

Le tableau suivant liste les capteurs de température récupérés en 2021. Ils sont localisés sur la figure suivante.

Tableau 56 : Liste des capteurs récupérés en 2021 sur de l'herbier de posidonie.

Reseau	Habitat	Site	Profondeur	Date_pose
TEMPO	Herbier de posidonie	Alon	22,2	12/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Cap_Canaille	33,9	10/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Cap_Canaille_PI	15	10/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Cap_Sicie_Ouest_PI	14,5	14/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Carry	29,6	06/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Carry_PI	15	06/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Digue_Marseille	20,7	07/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Embiez_Nord	29,3	11/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Embiez_Nord_PI	15	11/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Frioul	25,4	07/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Frioul_PI	16	07/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Grand_Travers	8	01/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Ile_Plane_PI	15	08/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Ile_Plane	26,5	08/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Liouquet	32,4	12/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Liouquet_PI	14,8	12/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Morgiou	28,2	09/06/2018
TEMPO	Herbier de posidonie	Morgiou_PI	15	04/06/2015
TEMPO	Herbier de posidonie	Paulilles	14	30/05/2018



Figure 106 : Localisation des capteurs récupérés sur des sites d'herbier de posidonie en 2021.

Le tableau suivant liste les capteurs de température posés en 2021. Ils sont localisés sur la figure suivante.

Tableau 57 : Liste des capteurs posés en 2021 sur de l'herbier de posidonie.

Reseau	Habitat	Site	Profondeur	Annee	Date_pose
TEMPO	Herbier de posidonie	Grand_Travers	8	2021	31/05/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	N_Frontignan	8,2	2021	01/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Paulilles	14,5	2021	02/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Pin_Parasol	17,4	2021	02/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	N_Cerberes	11	2021	03/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Liouquet	32,2	2021	07/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Liouquet_PI	15,6	2021	07/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Cap_Canaille	33,6	2021	08/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Cap_Canaille_PI	15	2021	08/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Morgiou	28,2	2021	08/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Morgiou_PI	15	2021	08/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Ile_Plane_PI	15	2021	09/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Ile_Plane	26,5	2021	09/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Frioul	25,4	2021	10/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Frioul_PI	16	2021	10/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Digue_Marseille	20,4	2021	10/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Carry_PI	15	2021	11/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	N_Cote_Bleue	25	2021	11/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Bonnieu_Nord	12,3	2021	12/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Alon	22,3	2021	14/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Alon_PI	18	2021	14/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Embiez_Nord	29,3	2021	14/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Embiez_Nord_PI	15	2021	14/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Cap_Sicie_Ouest	30,8	2021	15/06/2021
TEMPO	Herbier de posidonie	Cap_Sicie_Ouest_PI	14,5	2021	15/06/2021



Figure 107 : Localisation des capteurs posés sur des sites d'herbier de posidonie en 2021.



## VII. Diffusion des données à travers la plateforme MEDTRIX

L'ensemble des résultats issus du réseau TEMPO sont consultables en ligne via la plateforme cartographique MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr/>).



Les projets cartographiques suivants ont été mis à jour :

— **TEMPO** : Les couches herbiers 15m, herbier limite inférieure et tous les indicateurs ont été mis à jour. Les fiches par station, les photos, les modèles 3D ont été ajoutés.



— **CALOR** : Les données des capteurs de température seront mises à jour.



— **MODEL** : Les modèles photogrammétriques des sites d'herbier ont été ajoutés au projet.



— **FILAMED** : Les observations d'algues filamenteuses ont été intégrées dans ce projet.



## VIII. Annexe : Fichiers de bancarisation

### Notice descriptive des fichiers de bancarisation – lot1

Deux fichiers Excel de bancarisation des données sont fournis avec ce rapport 2021 : un pour les données des sites à la profondeur intermédiaire de -15m et un pour les sites localisés en limite inférieure. La description de chaque champ est présentée dans les tables suivantes, elle est aussi ajoutée dans un onglet « infos » de chaque fichier Excel.

#### ➤ **Lot1\_15m\_2021.xlsx**

<b>REGION</b>	Nom de la Région
<b>NOM_ME</b>	Nom de la masse d'eau côtière
<b>CODE_ME</b>	Code de la masse d'eau côtière
<b>SITE</b>	Nom du site
<b>LONG_DMS</b>	Longitude (degré minute décimale)
<b>LAT_DMS</b>	Latitude (degré minute décimale)
<b>PROF</b>	Profondeur (mètre)
<b>ANNEE</b>	Année
<b>DATE</b>	Date du terrain
<b>EQR_PREI</b>	Valeur de l'indice PREI
<b>Classe_PREI</b>	Classe du PREI
<b>DENS_M<sup>2</sup></b>	Densité de faisceaux/m <sup>2</sup> à -15m
<b>N_DENS</b>	N densité
<b>SURF_FOLIA</b>	Surface foliaire (cm <sup>2</sup> /faisceau)
<b>N_SF</b>	N Surface foliaire
<b>CHARGE_EPI</b>	Charge épiphytaire
<b>N_EL</b>	N Epiphytes/feuilles
<b>PROF_LIM</b>	Profondeur (mètre) de la limite inférieure
<b>TYP_LIMITE</b>	Typologie de la limite inférieure
<b>N_LIM_INF</b>	N limite inférieure
<b>AUTEUR</b>	Auteur de la table
<b>EQR_BIPO</b>	Valeur de l'indice BIPO2
<b>Classe_BIPO</b>	Classe du BIPO2
<b>LONG_FEUILLES_PI</b>	Longueur des feuilles à la PI (mm)

#### ➤ **Lot1\_LimiteInférieure\_2021.xlsx**

<b>REGION</b>	Nom de la Région
<b>NOM_ME</b>	Nom de la masse d'eau côtière
<b>CODE_ME</b>	Code de la masse d'eau côtière
<b>SITE</b>	Nom du site
<b>LONG_DMS</b>	Longitude (degré minute décimale)
<b>LAT_DMS</b>	Latitude (degré minute décimale)
<b>ANNEE</b>	Année
<b>DATE</b>	Date du terrain
<b>EQR_Site</b>	EQR Site en limite inférieure
<b>CLASSE_SITE</b>	Classe du site selon EQR
<b>TYPE_LIM_LI</b>	Type de limite inférieure
<b>EQR' TYP_LIM</b>	EQR' Type de limite inférieure
<b>PROF_LI</b>	Profondeur de la limite inférieure (m)
<b>EQR' PROF</b>	EQR' Profondeur de la limite inférieure
<b>DENSITE_LI</b>	Densité de faisceaux en limite inférieure (faisceaux/m <sup>2</sup> )
<b>DENSITE_LI_ECARTYPE</b>	Ecartype des valeurs de densité de faisceaux
<b>STAT_DENS</b>	Statut de la densité
<b>EQR' DENSITE</b>	EQR' Densité de faisceaux en limite inférieure
<b>DECH_LI</b>	Déchaussement de l'herbier en limite inférieure (cm)
<b>DECH_ECARTYP</b>	Ecartype des valeurs de déchaussement
<b>METHODE</b>	Photogrammétrie et/ou Télémétrie acoustique
<b>Auteur</b>	Auteur de la donnée



## Contact

7, place Cassan - Quai des pêcheurs

34 280 Carnon - France

Tél. : 04.67.66.32.48 - [contact@andromede-ocean.com](mailto:contact@andromede-ocean.com)

[www.andromede-ocean.com](http://www.andromede-ocean.com)

