



Communauté de
Communes du Golfe de
Saint-Tropez



Rapport d'étude

2 décembre 2024

**Installation de géotubes sur
la plage du Canadel :
inventaires faune, flore,
qualité des eaux et des
sédiments**



biotope



Hydrobiologie

Citation recommandée	Biotope, 2024, Installation de géotubes sur la plage du Canadel : inventaires faune, flore, qualité des eaux et des sédiments. Communauté de Communes du Golfe de Saint-Tropez. 60 pages.	
Version/Indice, date	Version 1 du 02/12/2024	
N° de contrat Biotope	2024315-2	
Date de démarrage de la mission	10/10/2024	
Maître d'ouvrage	Communauté de Communes du Golfe de Saint-Tropez Hôtel Communautaire 2, Rue Blaise Pascal 83310 Cogolin 04 94 55 70 30 - www.golfe-sainttropez.fr	
Interlocuteurs	Philippe MERCERY Pôle Environnement - Service GEMAPI Maritime Responsable GEMAPI Maritime 04 28 66 01 49 - 06 26 03 65 45 pmercery@golfe-sainttropez.fr	Bérangère CASALTA Pôle Environnement - Service Espaces Maritimes Chargée de missions scientifiques et techniques 04 94 00 46 25 bcasalta@golfe-sainttropez.fr
Mandataire : BIOTOPE	BIOTOPE – Agence PACA ZAC de La Gueiranne « Le Galilée » Allée Antoine Becquerel 83340 Le Cannet des Maures 04 94 50 29 18 www.biotope.fr	Aurélia LABEDAN Responsable d'Agence 06 27 67 49 06 alabedan@biotope.fr
Biotope, Responsable du projet	Lucas BERENGER Chef de Projet Milieux marins 07 63 09 17 39 lberenger@biotope.fr	

Sauf mention contraire explicite, toutes les photos du rapport ont été prises sur site par le personnel de Biotope dans le cadre des prospections de terrain.

Sommaire

1	Contexte de l'étude	5
2	Méthodologies	6
2.1	Généralités	6
2.2	Vitalité de l'herbier de Posidonie	8
2.2.1	Généralités	8
2.2.2	Densité	9
2.2.3	Taux de recouvrement	10
2.2.4	Déchaussement de la matre	10
2.2.5	Proportion de rhizomes plagiotropes	11
2.2.6	Prise de photographies	12
2.3	Vitalité de l'herbier de Cymodocée	12
2.4	Ichtyofaune	12
2.5	Macrofaune benthique de substrats meubles	13
2.6	Qualité physico-chimique des sédiments	15
2.7	Qualité physico-chimique, biologique et bactériologique des eaux	16
3	Résultats	18
3.1	Vitalité de l'herbier de Posidonie	18
3.1.1	Station HP1	18
3.1.2	Station HP2	19
3.1.3	Station HP3	20
3.1.4	Station HP4	21
3.1.5	Synthèse de la vitalité des herbiers de Posidonie	24
3.2	Vitalité de l'herbier de Cymodocée	25
3.2.1	Station HC1	25
3.2.2	Station HC2	25
3.2.3	Analyse de la vitalité des herbiers de Cymodocée	26
3.3	Ichtyofaune	27
3.3.1	Transect N°1	29
3.3.2	Transect N°2	30
3.3.3	Transect N°3	31
3.3.4	Transect N°4	33
3.3.5	Transect N°5	34
3.3.6	Transect N°6	35
3.4	Macrofaune benthique de substrats meubles	37
3.5	Qualité physico-chimique des sédiments	44
3.5.1	Granulométrie	44
3.5.2	Qualité chimique	46
3.6	Qualité physico-chimique, biologique et bactériologique des eaux	51
3.6.1	Qualité physico-chimique	51
3.6.2	Qualité biologique	53
3.6.3	Qualité bactériologique	54
4	Conclusions	56
4.1	Herbiers de magnoliophytes	56
4.2	Macrofaune benthique de substrats meubles	56
4.3	Ichtyofaune	56
4.4	Qualité physico-chimique des sédiments	56

4.5	Qualité chimique et bactériologique des eaux	57
5	Bibliographie	58
6	Annexes	59
6.1	Annexe 1 : Espèces de macrofaune benthique de substrats meubles	59

1 Contexte de l'étude

Afin de stopper l'érosion de la plage du Canadel (commune du Rayol-Canadel, Var), la Communauté de Communes du Golfe de Saint-Tropez envisage l'installation de géotubes sur les petits fonds côtiers au droit de la plage.

La présente étude constitue l'état initial du milieu naturel marin des fonds côtiers autour de l'emprise future supposée des géotubes. Elle s'est intéressée plus particulièrement aux herbiers de Posidonie, aux herbiers de Cymodocée, aux poissons (ichtyofaune), à la macrofaune benthique de substrats meubles (benthos), à la qualité physico-chimique des sédiments et des eaux. Des photos du paysages, soit différentes vues de la côte depuis le plan d'eau, ont aussi été réalisées depuis un bateau, à la demande du Maître d'œuvre.

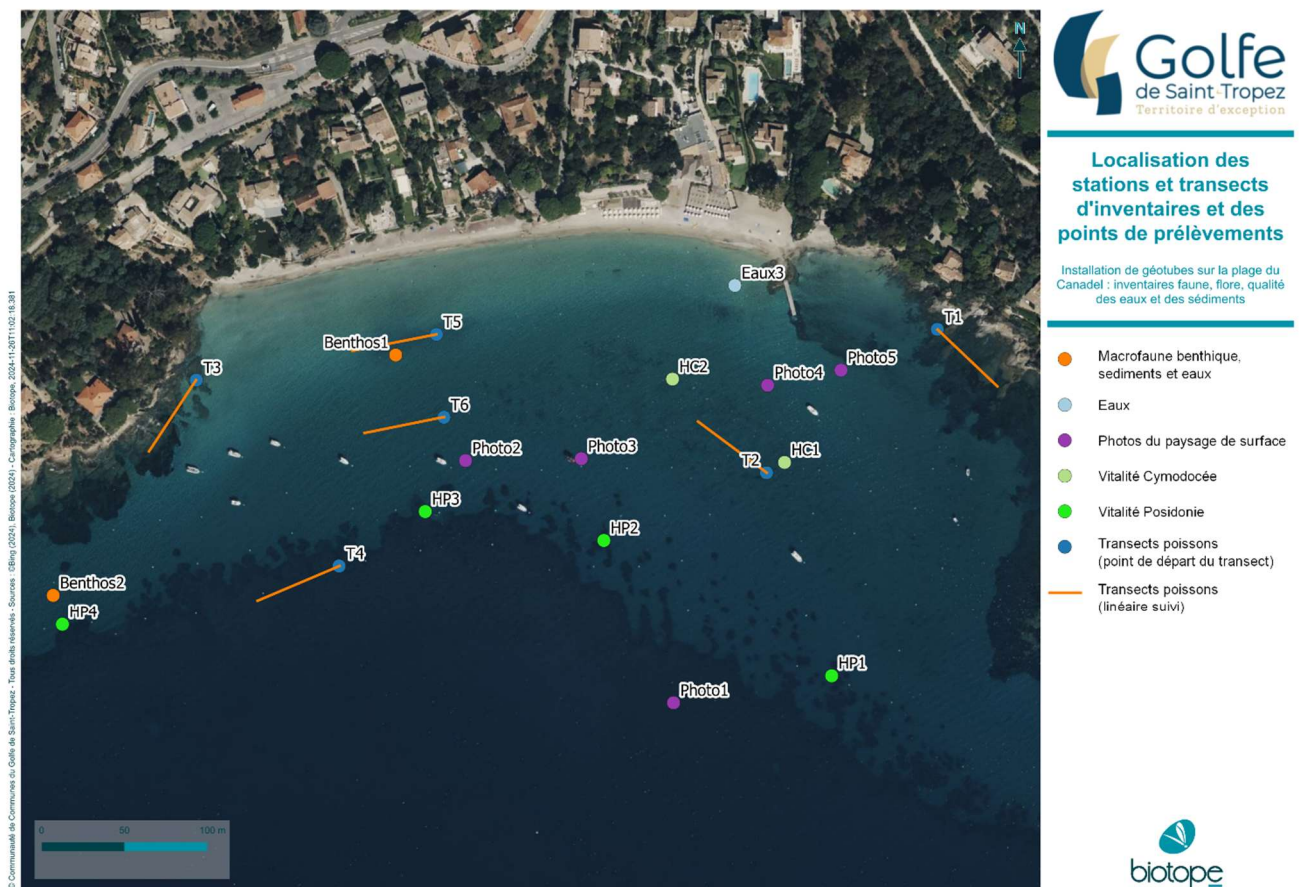
2 Méthodologies

2.1 Généralités

Les prélèvements d'eaux, de sédiments et de macrofaune benthique ainsi que l'étude des herbiers de Posidonie et de Cymodocée ont été réalisés le 22/10/2024 par une équipe embarquée de 4 plongeurs professionnels experts naturalistes. Les inventaires de poissons ont été réalisés le 23/10/2024 par la même équipe.

Lors de ces deux journées, la météo était très favorable (ensoleillé, vent nul à faible, mer belle à ridée) avec une température dans l'eau encore très élevée pour la saison : 21°C, sans thermocline et avec une visibilité excellente dans les petits fonds étudiés.

Aucune difficulté n'a été rencontrée pour mener à bien les études de terrain.



Carte de localisation des stations et transects d'inventaire et des points de prélèvements

Coordonnées des stations suivies, points de départ des transects et des points de prélèvements

Catégorie	Nom station	Coordonnée X (WGS 84, degrés décimaux)	Coordonnée Y (WGS 84, degrés décimaux)	Complément d'information
Photos paysage	Photo1	6,46464	43,15498	
	Photo2	6,46318	43,15635	
	Photo3	6,46403	43,15633	
	Photo4	6,46544	43,15669	
	Photo5	6,46599	43,15675	
Vitalité Cymodocée	HC1	6,46554	43,15626	Profondeur : 4,0m
	HC2	6,46474	43,15674	Profondeur : 3,5m
Benthos, eaux et sédiments	Benthos1	6,46269	43,15694	Profondeur : 3,2m
	Benthos2	6,46007	43,15572	Profondeur : 5,0m
Eaux	Eaux3	6,46523	43,15723	
Vitalité Posidonie	HP1	6,46582	43,15509	Profondeur : 6,8m
	HP2	6,46417	43,15588	Profondeur : 5,7m
	HP3	6,46286	43,15608	Profondeur : 4,7m
	HP4	6,46013	43,15555	Profondeur : 5,4m
Transects poissons	T1	6,46671	43,15695	Cap : 130°, fonds rocheux
	T2	6,46540	43,15621	Cap : 290°, herbier de Cymodocée
	T3	6,46121	43,15685	Cap : 210°, fonds rocheux
	T4	6,46220	43,15581	Cap : 230°, herbier de Posidonie
	T5	6,46300	43,15704	Cap : 240°, fonds sableux
	T6	6,46303	43,15659	Cap : 240°, fonds sableux

2.2 Vitalité de l'herbier de Posidonie

2.2.1 Généralités

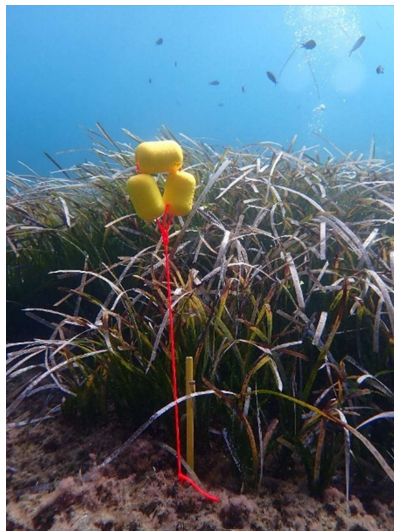
L'évaluation de la vitalité de l'herbier de Posidonie est réalisée en plongée sous-marine par l'étude de 4 paramètres principaux :

- La densité de faisceaux foliaires par unité de surface pour évaluation de la vitalité (selon *Pergent et al., 1994, 1995*) ;
- Le recouvrement, ou taux de recouvrement de l'herbier ;
- La mesure du déchaussement de la matte sur les faisceaux orthotropes ;
- Le pourcentage de rhizomes plagiotropes.



Plongeur réalisant des mesures de vitalité de l'herbier de Posidonie au sein d'un quadrat (photo prise hors site d'étude)

Pour cette étude, 4 stations matérialisées par une balise individuelle ont été créées. Elles se situent toutes en limite supérieure.



Balisage des station d'étude de la vitalité des herbiers de Posidonie

2.2.2 Densité

La densité de l'herbier de Posidonie est définie comme le nombre de faisceaux vivants par unité de surface (usuellement, par m²). Les mesures sont effectuées en plongée, dans des quadrats de 0,04 m², disposés derrière la balise (Giraud, 1977). 3 réplicats sont effectués par station (= par balise).

Cette mesure de densité permet d'évaluer la vitalité de l'herbier en fonction de la profondeur, selon la classification de *Pergent et al., 1994, 1995* (ci-dessous). En effet, la densité de l'herbier varie en fonction de la profondeur et des conditions du milieu, particulièrement la quantité de lumière disponible. Ainsi, la densité des herbiers sera très élevée dans les stations superficielles alors qu'elle sera plus réduite en profondeur ou en zone particulièrement turbide (*Pergent et al., 1995*).

Classification de la vitalité de l'herbier en fonction de la densité de faisceaux à une profondeur donnée (selon Pergent-Martini, 1994 et Pergent et al., 1995)

Profondeur (m)	Densité anormale	Densité subnormale inférieure	Densité normale	Densité subnormale supérieure
1	d < 822	822 < d < 934	934 < d < 1158	1158 < d
2	d < 646	646 < d < 758	758 < d < 982	982 < d
3	d < 543	543 < d < 655	655 < d < 879	879 < d
4	d < 470	470 < d < 582	582 < d < 806	806 < d
5	d < 413	413 < d < 525	525 < d < 749	749 < d
6	d < 367	367 < d < 479	479 < d < 703	703 < d
7	d < 327	327 < d < 439	439 < d < 663	663 < d
8	d < 294	294 < d < 406	406 < d < 630	630 < d
9	d < 264	264 < d < 376	376 < d < 600	600 < d
10	d < 237	237 < d < 349	349 < d < 573	573 < d
11	d < 213	213 < d < 325	325 < d < 549	549 < d
12	d < 191	191 < d < 303	303 < d < 527	527 < d
13	d < 170	170 < d < 282	282 < d < 506	506 < d
14	d < 151	151 < d < 263	263 < d < 487	487 < d
15	d < 134	134 < d < 246	246 < d < 470	470 < d
16	d < 117	117 < d < 229	229 < d < 453	453 < d
17	d < 102	102 < d < 214	214 < d < 438	438 < d
18	d < 88	88 < d < 200	200 < d < 424	424 < d
19	d < 74	74 < d < 186	186 < d < 410	410 < d
20	d < 61	61 < d < 173	173 < d < 397	397 < d
21	d < 48	48 < d < 160	160 < d < 384	384 < d
22	d < 37	37 < d < 149	149 < d < 373	373 < d
23	d < 25	25 < d < 137	137 < d < 361	361 < d
24	d < 14	14 < d < 126	126 < d < 350	350 < d
25	d < 4	4 < d < 116	116 < d < 340	340 < d
26		d < 106	106 < d < 330	330 < d
27		d < 96	96 < d < 320	320 < d
28		d < 87	87 < d < 311	311 < d
29		d < 78	78 < d < 302	302 < d
30		d < 70	70 < d < 294	294 < d

2.2.3 Taux de recouvrement

Le recouvrement se définit comme le pourcentage moyen du substrat recouvert par l'herbier (et ce, quelle que soit la densité de ses faisceaux au sein de l'herbier), par rapport à la surface totale du secteur considéré. Pour la Posidonie, dans les herbiers peu profonds et sains, le recouvrement est généralement très élevé, de l'ordre de 80 à 100%. Alors que dans les herbiers soumis à un fort impact (souvent anthropique), le recouvrement sera plus faible, de 5 à 40%. Aussi, l'échelle de notation communément admise est :

Echelle d'interprétation du recouvrement de Posidonia oceanica (d'après Charbonnel et al., 2000)

Recouvrement	Interprétation
Supérieur à 80%	Très fort recouvrement
De 60 à 80%	Fort recouvrement
De 40 à 60%	Recouvrement moyen
De 20 à 40%	Faible recouvrement
Inférieur à 20%	Très faible recouvrement

Le recouvrement est mesuré par un même plongeur au moyen d'une plaque en plastique rigide transparente de 30 cm x 30 cm et divisée en 9 carrés de 10 cm de côté. Le plongeur, en nage à 3 m au-dessus du fond, tient la plaque à l'extrémité de ses bras et compte le nombre de carrés occupés par les Posidonies. 15 mesures sont effectuées par station (= autour de chaque balise).

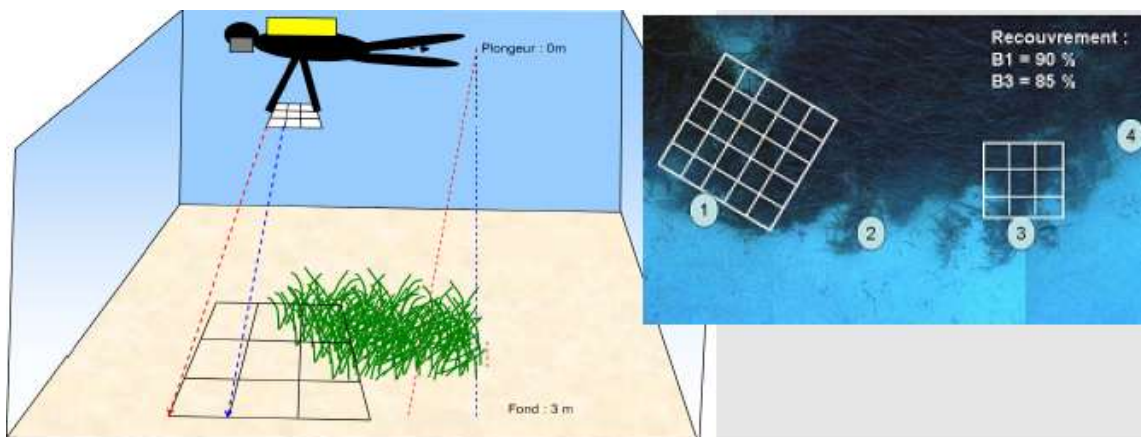


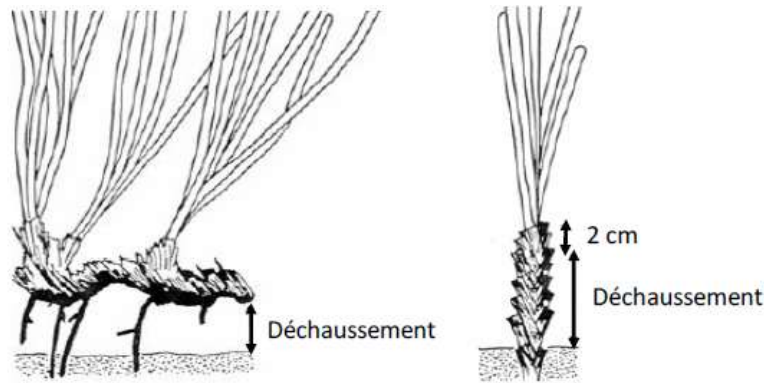
Schéma de la méthode d'évaluation du recouvrement en plongée (d'après Noël et al. 2012)

2.2.4 Déchaussement de la matre

C'est la croissance verticale et les rhizomes orthotropes qui sont à l'origine de l'édification des matres (entrelacement de rhizomes) et permet à la plante de lutter contre l'enfouissement (tout en contribuant à sa stabilité et sa résistance). La croissance verticale est liée à la sédimentation naturelle. C'est pourquoi l'observation d'un déchaussement des rhizomes traduit un déficit sédimentaire dans l'herbier. Il s'explique par une quantité de sédiment piégé par les feuilles de Posidonie et une quantité de sédiment biogénique (restes d'organismes habitant l'herbier) inférieure à la quantité de sédiment qui s'exporte depuis l'herbier lors de tempêtes.

Le déchaussement se mesure au centimètre près, au niveau des rhizomes orthotropes (verticaux), par la distance entre le sédiment et la base de la feuille la plus externe moins 2 cm.

5 mesures de déchaussement par station (= dans les quadrats derrière chaque balise) sont prises sur un faisceau orthotrope pris au hasard.



Mesure du déchaussement sur rhizome plagiotrope (à gauche) ou orthotrope (à droite) (Boudouresque et al., 1983)

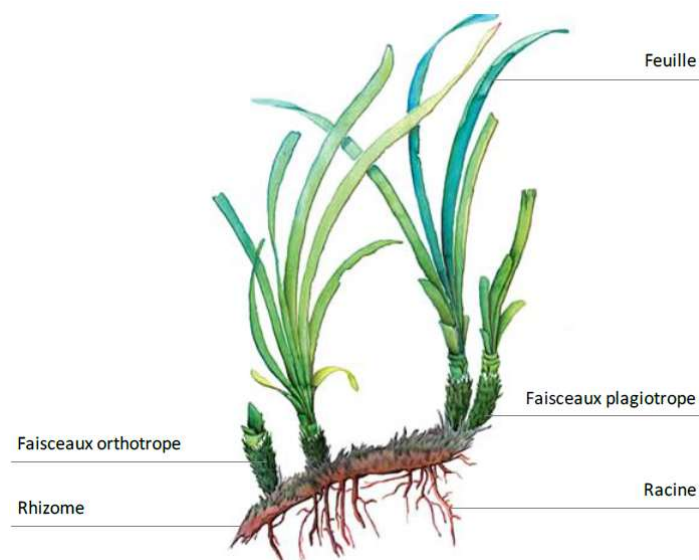
Une échelle d'évaluation du déchaussement (faible, moyen, important) est communément admise pour interpréter les résultats en fonction des valeurs moyennes mesurées par station.

Echelle d'interprétation du déchaussement de l'herbier (Charbonnel et al., 2000)

Déchaussement	Interprétation de l'importance du déchaussement
Inférieur à 5 cm	Faible
Compris entre 5 et 15 cm	Moyen
Supérieur à 15 cm	Fort

2.2.5 Proportion de rhizomes plagiotropes

Les rhizomes de Posidonie peuvent se présenter sous deux formes distinctes et caractéristiques : des rhizomes plagiotropes (témoignant d'une croissance horizontale de l'herbier) et des rhizomes orthotropes (témoignant d'une croissance verticale de l'herbier). Le pourcentage de rhizomes plagiotropes en limite d'herbier (pourcentage de rhizomes à croissance parallèle au substrat) informe sur la capacité à coloniser de nouveaux substrats. Au sein d'un herbier en revanche, il traduit l'existence de dégradations et d'une recolonisation en cours. Le pourcentage de rhizomes plagiotropes est mesuré au sein des 3 quadrats densité.



Morphologie générale de Posidonia oceanica

L'échelle d'interprétation communément admise de vitalité de l'herbier par rapport à sa tendance à la progression en fonction des pourcentages moyens de rhizomes plagiotropes est la suivante :

Echelle d'interprétation du pourcentage de rhizomes plagiotropes de Posidonia oceanica (d'après Charbonnel et al., 2000)

Pourcentage de rhizomes plagiotropes (valeurs seuils)	Interprétation
< 30 %	Herbier généralement stable avec peu ou pas de progression
30 – 70 %	Légère tendance à la progression
> 70 %	Nette tendance à la progression

2.2.6 Prise de photographies

Devant chaque balise, trois photographies sont prises depuis un support photo en T : centrée sur la balise, décentrée à droite et décentrée à gauche. Le support photo en forme de T, est une règle graduée tous les 10 cm et mesurant 2 m de long. Son point médiant est placé devant la balise et perpendiculairement à l'axe balise ⊥ support photo.

2.3 Vitalité de l'herbier de Cymodocée

Afin d'évaluer la vitalité des herbiers de Cymodocée (*Cymodocea nodosa*), deux mesures biométriques sont effectuées :

- La densité de faisceaux par unité de surface (10 quadrats de 0,04 m² par station) ;
- La longueur des feuilles (longueur de la feuille la plus longue de 2 faisceaux différents pris au hasard au sein de chaque quadrat).

Pour les feuilles mesurées, il est noté si l'apex est manquant. Cette indication renseigne sur le taux de broutage ou de cassure mécanique des feuilles, elle permet notamment de relativiser les mesures de longueur moyenne des deux feuilles mesurées lors de suivis ultérieurs.

2.4 Ichtyofaune

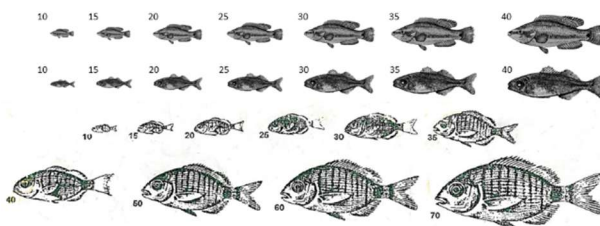
L'ichtyofaune démersale est recensée sur transects de 50 m de longueur par 2 m de largeur (1 m de part et d'autre du transect). Ils sont positionnés ici selon la distribution des différents habitats au sein de la zone d'étude.

Les transects sont réalisés conjointement par deux plongeurs qui évoluent épaule contre épaule : un plongeur a la charge du comptage et l'autre a la charge de réaliser le déroulé du mètre-ruban pour le calage du comptage sur la bonne longueur et selon le cap défini à l'avance.

Les comptages sont réalisés à l'aller seulement. Sur le retour, des photos d'illustration sont prises. Les plongeurs peuvent réaliser des compléments d'inventaires (détection d'espèces cryptobenthiques, non concernées par les inventaires sur transects).

Les poissons rencontrés sur les transects sont :

- Identifiés à l'espèce (si possible, sinon au genre ou à la famille) ;
- Dénombrés ;
- Mesurés (estimation de taille à 5 mm près de 1 à 10 cm puis à 1 cm près au-delà de 10 cm).



Gabarits d'aide à la mesure de taille des poissons : plastifiés, ils sont emmenés sous l'eau avec les tablettes de prise de note des plongeurs

2.5 Macrofaune benthique de substrats meubles

Les prélèvements ont été réalisés à la benne Van-Veen de 0,1 m². 3 réplicats par station sont réalisés, soit une surface totale échantillonnée par station de 0,3m². Le tamisage des échantillons est réalisé directement sur le bateau, dans un tamis à maille carrée de 1 mm. Le refus de tamis est fixé à l'éthanol puis envoyé aux experts benthologiques pour tri et détermination.



Prélèvements à la benne Van-Veen depuis le navire « Acartia » et tamisage, Biotope/Sub-Surface le 22/10/2024

Synthèse des paramètres analysés et interprétation

Un échantillon désigne un réplicat et une campagne désigne, pour une station, un ensemble de 3 (ou 5) réplicats ou échantillons.

Paramètres		Détails méthodologiques, interprétation						
Densité totale (ind/m²),		La densité totale (ind/m²) de chaque station est calculée de la façon suivante : pour chacun des n réplicats d'une station donnée la densité est ramenée par proportionnalité à une surface de 1m².						
Nombre de taxa ou richesse taxonomique (S) (taxa/éch.)		Le nombre de taxa est dénombré dans chacun des réplicats						
Diversité	Indice de Shannon (H')	$H' = \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N}{N_i}$						
	Shannon & Weaver, 1949	Avec :	N = effectif du prélèvement N _i = effectif du taxon i dans le prélèvement S = nombre d'espèces dans le prélèvement					
		Classification de l'état d'équilibre du benthos de substrat meuble en fonction de la valeur de l'indice Shannon (Andral, 2007). Le code couleur correspond les conventions de la DCE.						
		Valeur de l'indice Shannon (H')	H' < 1	1 < H' ≤ 2	2 < H' ≤ 3	3 < H' ≤ 4	H' > 4	
	Statut écologique (EcoQ)	Mauvais	Pauvre	Moyen	Bon	Très bon		
	L'équitabilité de Piélou (J')	$J' = \frac{H'}{H_{max}}$						
	Piélou, 1966	Avec	H' = Indice de Shannon H'max = log2S = valeur maximale de H' en cas d'équirépartition des individus					

Similarité	Indice de similarité de Jaccard	$\text{Similarité de Jaccard} = 1 - \frac{a}{a + b + c} = 1 - \frac{a}{N_i + N_j - a}$ Avec : i et j, deux prélèvements distincts N = nombre de taxa a = nombre de taxa communs à i et j b et c = nombre de taxa présents seulement dans i (b) ou seulement dans j (c) Varie de 0 (aucune espèce commune) à 1 (composition spécifique identique)																																
	La distance de Bray-Curtis	$\text{Similarité de Bray-Curtis} = \delta_{ij} = \frac{2W}{A + B}$ Avec : i et j, deux prélèvements distincts W = somme des abondances les plus faibles pour chaque espèce commune aux deux échantillons. A = somme des abondances de toutes les espèces de l'échantillon i B = somme des abondances de toutes les espèces de l'échantillon j Transformation des données préalable : Classification : Tient compte à la fois des espèces communes entre les stations et de leur abondance. Toutefois, son application suppose que les échantillons soient de taille identique; ce qui impose pour la majorité des jeux de données, une transformation préalable des données brutes. De plus il est considéré comme sensible aux espèces abondantes (Grall & Coïc, 2006)																																
Statut écologique	Indice AMBI (Borja, Franco, & Perez, 2000)	$AMBI = \frac{(0 \times GI + 1.5 \times GII + 3 \times GIII + 4.5 \times GIV + 6 \times GV)}{100}$ Avec : GI à GV : proportion dans le peuplement de chaque groupe (%) La valeur de l'indice varie entre 0 et 6 et croît avec l'état de dégradation du milieu																																
	Logiciel AZTI	<table><tr><th>Groupes</th><th>Description</th></tr><tr><td>I</td><td>Espèces très sensibles aux enrichissements organiques, elles sont présentes dans des conditions non polluées. Il s'agit des carnivores spécialisés et de quelques annélides polychètes tubicoles. Le milieu est dans un état non perturbé.</td></tr><tr><td>II</td><td>Espèces indifférentes aux enrichissements en matière organique. Présentes à de faibles densités, elles ne montrent pas de variations saisonnières remarquables. Il s'agit des espèces suspensivores, des carnivores peu sélectives. Le milieu est entre l'état non perturbé et l'état déséquilibré.</td></tr><tr><td>III</td><td>Espèces tolérantes aux enrichissements en matière organique. Ces espèces peuvent être présentes dans des conditions "normales" mais elles prolifèrent lors d'enrichissement en matière organique, lorsque le déséquilibre est léger.</td></tr><tr><td>IV</td><td>Espèces opportunistes de second ordre. Ce sont essentiellement des annélides polychètes de petite taille et dépositivores de sub-surface. Elles indiquent un état peu déséquilibré à fortement déséquilibré.</td></tr><tr><td>V</td><td>Espèces opportunistes de premier ordre. Elles apparaissent et prolifèrent dans les milieux très pollués et anoxiques lorsque le déséquilibre est très prononcé. Ce sont des espèces dépositivores.</td></tr></table> Classification de l'état d'équilibre du benthos de substrat meuble en milieu estuarien ou côtier en fonction de la valeur de l'indice AMBI et de son EQR associé, d'après Borja et al. (2000) et Andral (2007). Mise à jour après intercalibration (ministère en charge de l'écologie, 2013) EcoQ : statut écologique <table><tr><th>Valeur de l'indice AMBI après intercalibration</th><th>Valeur de l'EQR après intercalibration</th><th>EcoQ</th></tr><tr><td>0.0 ≤ indice < 1.2</td><td>0.83 < indice</td><td>Très bon</td></tr><tr><td>1.2 ≤ indice < 2.94</td><td>0.58 < indice ≤ 0.83</td><td>Bon</td></tr><tr><td>2.94 ≤ indice < 4.3</td><td>0.39 < indice ≤ 0.58</td><td>Moyen</td></tr><tr><td>4.3 ≤ indice < 5.5</td><td>0.21 < indice ≤ 0.39</td><td>Pauvre</td></tr><tr><td>5.5 ≤ indice < 7</td><td>0 ≤ indice ≤ 0.21</td><td>Mauvais</td></tr><tr><td>Azoïque</td><td></td><td></td></tr></table>	Groupes	Description	I	Espèces très sensibles aux enrichissements organiques, elles sont présentes dans des conditions non polluées. Il s'agit des carnivores spécialisés et de quelques annélides polychètes tubicoles. Le milieu est dans un état non perturbé.	II	Espèces indifférentes aux enrichissements en matière organique. Présentes à de faibles densités, elles ne montrent pas de variations saisonnières remarquables. Il s'agit des espèces suspensivores, des carnivores peu sélectives. Le milieu est entre l'état non perturbé et l'état déséquilibré.	III	Espèces tolérantes aux enrichissements en matière organique. Ces espèces peuvent être présentes dans des conditions "normales" mais elles prolifèrent lors d'enrichissement en matière organique, lorsque le déséquilibre est léger.	IV	Espèces opportunistes de second ordre. Ce sont essentiellement des annélides polychètes de petite taille et dépositivores de sub-surface. Elles indiquent un état peu déséquilibré à fortement déséquilibré.	V	Espèces opportunistes de premier ordre. Elles apparaissent et prolifèrent dans les milieux très pollués et anoxiques lorsque le déséquilibre est très prononcé. Ce sont des espèces dépositivores.	Valeur de l'indice AMBI après intercalibration	Valeur de l'EQR après intercalibration	EcoQ	0.0 ≤ indice < 1.2	0.83 < indice	Très bon	1.2 ≤ indice < 2.94	0.58 < indice ≤ 0.83	Bon	2.94 ≤ indice < 4.3	0.39 < indice ≤ 0.58	Moyen	4.3 ≤ indice < 5.5	0.21 < indice ≤ 0.39	Pauvre	5.5 ≤ indice < 7	0 ≤ indice ≤ 0.21	Mauvais	Azoïque	
Groupes	Description																																	
I	Espèces très sensibles aux enrichissements organiques, elles sont présentes dans des conditions non polluées. Il s'agit des carnivores spécialisés et de quelques annélides polychètes tubicoles. Le milieu est dans un état non perturbé.																																	
II	Espèces indifférentes aux enrichissements en matière organique. Présentes à de faibles densités, elles ne montrent pas de variations saisonnières remarquables. Il s'agit des espèces suspensivores, des carnivores peu sélectives. Le milieu est entre l'état non perturbé et l'état déséquilibré.																																	
III	Espèces tolérantes aux enrichissements en matière organique. Ces espèces peuvent être présentes dans des conditions "normales" mais elles prolifèrent lors d'enrichissement en matière organique, lorsque le déséquilibre est léger.																																	
IV	Espèces opportunistes de second ordre. Ce sont essentiellement des annélides polychètes de petite taille et dépositivores de sub-surface. Elles indiquent un état peu déséquilibré à fortement déséquilibré.																																	
V	Espèces opportunistes de premier ordre. Elles apparaissent et prolifèrent dans les milieux très pollués et anoxiques lorsque le déséquilibre est très prononcé. Ce sont des espèces dépositivores.																																	
Valeur de l'indice AMBI après intercalibration	Valeur de l'EQR après intercalibration	EcoQ																																
0.0 ≤ indice < 1.2	0.83 < indice	Très bon																																
1.2 ≤ indice < 2.94	0.58 < indice ≤ 0.83	Bon																																
2.94 ≤ indice < 4.3	0.39 < indice ≤ 0.58	Moyen																																
4.3 ≤ indice < 5.5	0.21 < indice ≤ 0.39	Pauvre																																
5.5 ≤ indice < 7	0 ≤ indice ≤ 0.21	Mauvais																																
Azoïque																																		

	M-AMBI	Valeur de références utilisées pour le calcul l'indice M-AMBI (ministère en charge de l'écologie, 2013).			
			AMBI	Indice de Shannon	Richesse taxonomique
		Min	7	0	0
		Max	0.6	4.23	46

2.6 Qualité physico-chimique des sédiments

Les prélèvements ont été réalisés à la benne Van-Veen de 0,1 m². 3 réplicats par station sont réalisés. Le sédiment brut récupéré est homogénéisé, conditionné dans le flaconnage fourni par le laboratoire et envoyé en atmosphère réfrigérée pour analyses.

Synthèse des méthodes appliquées

Paramètres		Méthodes d'analyses	LQ	Grille / références d'interprétation
Granulométrie	Granulométrie laser	Laser à pas variable (0 à 2000 µm)	-	
Préparations physiques	Matière sèche (% PB)	Gravimétrie - NF EN 12880	0.1	
	Refus pondéral 2 mm (% PB)	Tamissage	1	
Matières organiques	Matières organiques = perte au feu (% MS)	550°C / Méthode interne	0.1	Licari (1998)
	Carbone Organique Total (mg/kg MS)	Combustion [sèche] - NF EN 15936 - Méthode B	1000	
Nutriments	Azote Kjeldahl NTK (g/kg MS)	NF EN 13342 - Méthode interne	0.5	
	Phosphore total (P2O5)	Calcul NF EN ISO 11885 - Méthode interne - NF EN ISO 54321 - NF EN ISO 54321		
Métaux (mg/kg MS)	Aluminium (Al)	ICP/AES [Minéralisation à l'eau régale] NF EN ISO 11885 ; NF EN 13346 Méthode B - Décembre 2000 (Norme abrog - NF ISO 16772 (Sol) – Méthode interne (Hors Sols))	5	Arrêté du 09/08/2006 : seuils N1 et N2 Arrêté du 09/09/2019 : seuils bon état écologique
	Arsenic (As)		1	
	Cadmium (Cd)		0.1	
	Chrome(Cr)		0.1	
	Cuivre(Cu)		5	
	Plomb (Pb)		5	
	Nickel(Ni)		1	
	Zinc (Zn)		5	
	Mercure (Hg)		0.1	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAPs) (mg/kg MS)	Acénaphène	GC/MS/MS [Extraction Hexane / Acétone] - NF ISO 18287 (Sols) - XP X 33-012 (boue, sédiment)	0.002	Arrêté du 09/08/2006 : seuils N1 et N2 Arrêté du 09/09/2019 : seuils bon état écologique
	Acénaphthylène		0.002	
	Anthracène		0.002	
	Benzo(a)anthracène		0.002	
	Benzo(a)pyrène		0.002	
	Benzo(b)fluoranthène		0.002	

	Benzo(g,h,i)érylène		0.002	
	Benzo(k)fluoranthène		0.002	
	Chrysène		0.002	
	Dibenzo(a,h)anthracène		0.002	
	Fluoranthène		0.002	
	Fluorène		0.002	
	Indéno(1,2,3 cd)pyrène		0.002	
	Naphtalène		0.002	
	Phénanthrène		0.002	
	Pyrène		0.002	
PCB congénères réglementaires (7 composés) (mg/kg MS)	PCB 28	GC/MS/MS [Extraction Hexane / Ac comp] XP X 33-012 (boue, sédiment)	0.001	
	PCB 52		0.001	
	PCB 101		0.001	
	PCB 118		0.001	
	PCB 138		0.001	
	PCB 153		0.001	
	PCB 180		0.001	
Composés organostanniques (mgSn/kg MS)	Dibutylétain cation-Sn (DBT)	XP T 90-250	2	Arrêté du 09/08/2006 modifié
	Tributylétain cation-Sn (TBT)		2	
	Tétra-butylétain -Sn (TeBT)		10	
	Monobutylétain cation-Sn (MBT)		2	
	Triphénylétain cation-Sn (TPhT)		2	
	MonoOctylétain cation-Sn (MOT)		2	
	DiOctylétain cation-Sn (DOT)		2	
	Tricyclohexylétain cation-Sn (TcHexT)		2	

2.7 Qualité physico-chimique, biologique et bactériologique des eaux

Les prélèvements sont réalisés à la bouteille fermante Niskin de 5L, à mi-hauteur dans la colonne d'eau, en chaque station à étudier. Les eaux sont conditionnées dans les flacons fournis par le laboratoire et envoyés pour analyses en atmosphère réfrigérée.



Prélèvements d'eaux à la bouteille fermante Niskin (ici à Canadel_3, le 22/10/2024)

En complément, *in situ*, des mesures à la sonde multiparamètres (DSS PRO de YSI) sont également réalisées, à mi-hauteur dans la colonne d'eau.



Mesures à la sonde multiparamètres PRO DSS de YSI le 22/10/2024)

3 Résultats

3.1 Vitalité de l'herbier de Posidonie

Les résultats des mesures de vitalité sont présentés ci-dessous par station.

3.1.1 Station HP1

La station HP1 se situe à 6,8 m de profondeur. Ici, la limite supérieure n'est pas franche et la station est sur un gros patch d'herbier indépendant de l'herbier de plaine situé quelques mètres en aval. Sur cette limite, au niveau du sable, quelques centimètres de matte morte sont visibles sous les feuilles des faisceaux vivants situés au-dessus : sans pouvoir toutefois parler de tombant de matte, cette structure traduit un hydrodynamisme parfois fort.

Les résultats des mesures de vitalité indiquent que l'herbier présente une densité subnormale inférieure selon Pergent-Martini, 1994 et Pergent *et al.*, 1995 avec 350 faisceaux/m². Le recouvrement est cependant très fort, mesuré à 98,8%. Le faible pourcentage de rhizomes plagiotropes, 13,2%, indique que l'herbier est stable avec peu ou pas de progression. Le déchaussement peu tout juste être qualifié de moyen avec 5,7 cm (aurait été qualifié de faible à 5cm).

Synthèse des mesures de vitalité d'octobre 2024 – Station HP1

Paramètre de vitalité des herbiers de Posidonie	Station HP1 (6,8m)	
Densité (faisceaux/m ²)	350 ±66	Densité subnormale inférieure
Recouvrement (%)	98,8	Très fort recouvrement
Rhizomes plagiotropes (%)	13,2	Herbier généralement stable avec peu ou pas de progression
Déchaussement moyen corrigé des rhizomes orthotropes (cm)	5,7	Moyen

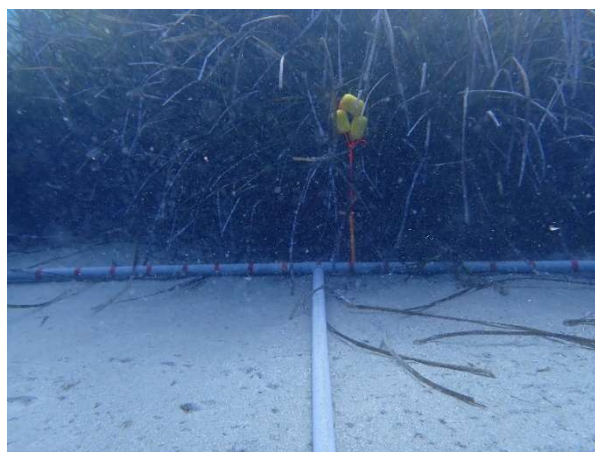


Photo centrée sur la perche



Photos déportées sur la gauche et sur la droite

3.1.2 Station HP2

La station HP2 se situe à 5,7 m de profondeur. Ici, la limite supérieure n'est pas franche et la station est sur un gros patch d'herbier indépendant de l'herbier de plaine situé quelques mètres en aval. Sur cette limite, au niveau du sable, quelques centimètres de matte morte sont visibles sous les feuilles des faisceaux vivants situés au-dessus : sans pouvoir toutefois parler de tombant de matte, cette structure traduit un hydrodynamisme parfois fort. Sur ce patch, une petite surface de matte morte est aussi visible.



Surface de matte morte sur la station HP2

Les résultats des mesures de vitalité indiquent que l'herbier présente une densité subnormale supérieure selon Pergent-Martini, 1994 et Pergent *et al.*, 1995 avec 875 faisceaux/m². Le recouvrement est très fort, mesuré à 89,3%. Le faible pourcentage de rhizomes plagiotropes, 7,8%, indique que l'herbier est stable avec peu ou pas de progression. Le déchaussement peu tout juste être qualifié de moyen avec 9,2 cm.

Synthèse des mesures de vitalité d'octobre 2024 – Station HP2

Paramètre de vitalité des herbiers de Posidonie	Station HP2 (5,7m)	
Densité (faisceaux/m ²)	875 ±265	Densité subnormale supérieure
Recouvrement (%)	89,3	Très fort recouvrement
Rhizomes plagiotropes (%)	7,8	Herbier généralement stable avec peu ou pas de progression
Déchaussement moyen corrigé des rhizomes orthotropes (cm)	9,2	Moyen

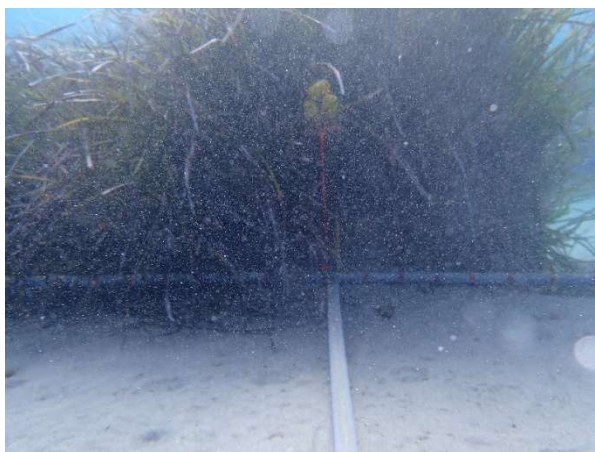


Photo centrée sur la perche



Photos déportées sur la gauche et sur la droite

3.1.3 Station HP3

La station HP3 se situe à 4,7 m de profondeur. Elle est en limite supérieure d'un herbier de plaine. Ici, la limite de l'herbier expose environ 2m de matée morte en pente douce vers le sable (voir ci-dessous, photo centrée sur la perche).

Les résultats des mesures de vitalité indiquent que l'herbier présente une densité normale selon Pergent-Martini, 1994 et Pergent *et al.*, 1995 avec 667 faisceaux/m². Le recouvrement est très fort, mesuré à 97,9%. Le faible pourcentage de rhizomes plagiotropes, 4,1%, indique que l'herbier est stable avec peu ou pas de progression. Le déchaussement est faible : 3,9 cm.

Synthèse des mesures de vitalité d'octobre 2024 – Station HP3

Paramètre de vitalité des herbiers de Posidonie	Station HP3 (4,7m)	
Densité (faisceaux/m ²)	667 ±216	Densité normale
Recouvrement (%)	97,9	Très fort recouvrement
Rhizomes plagiotropes (%)	4,1	Herbier généralement stable avec peu ou pas de progression
Déchaussement moyen corrigé des rhizomes orthotropes (cm)	3,9	Faible

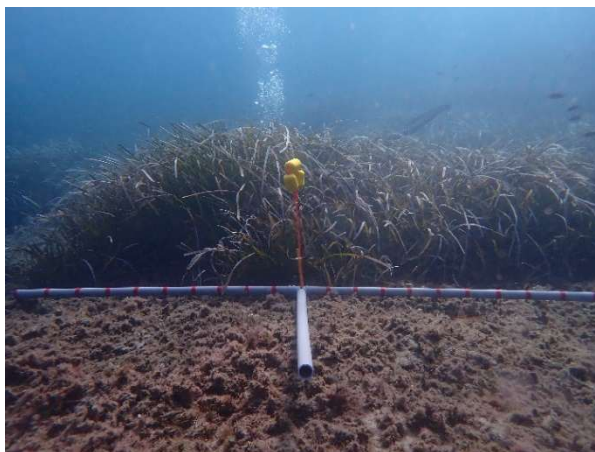
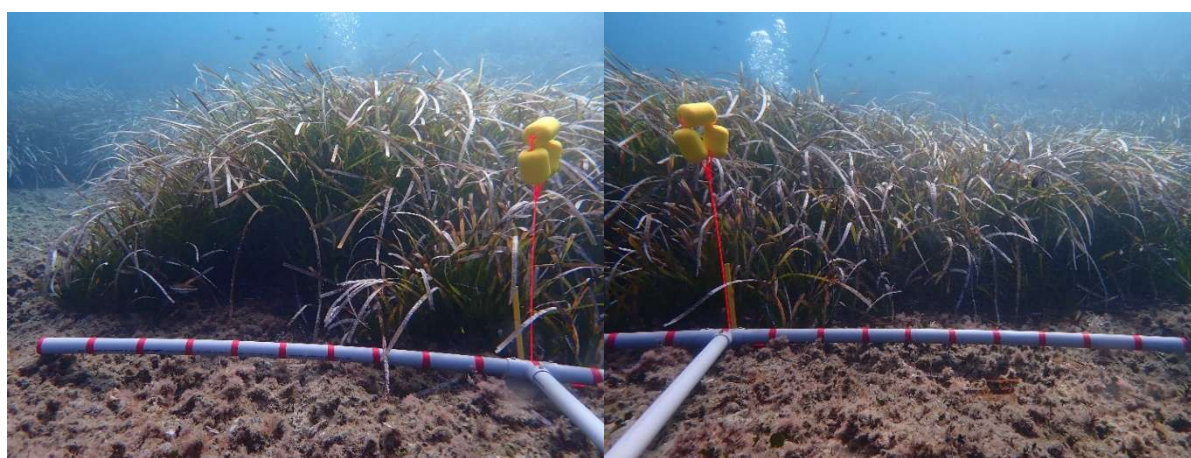


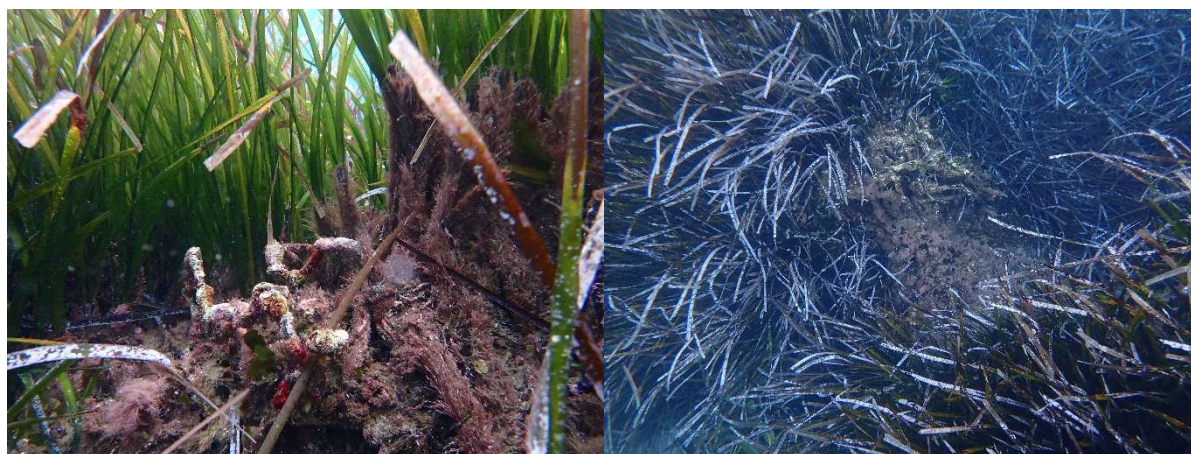
Photo centrée sur la perche



Photos déportées sur la gauche et sur la droite

3.1.4 Station HP4

La station HP4 se situe à 5,4 m de profondeur. Elle est en limite supérieure d'un herbier de plaine. Ici, la limite de l'herbier présente quelques faisceaux isolés comme des faisceaux traçants dans le sable (voir ci-dessous la photo décentrée sur la droite). Quelques signes d'impacts possibles de mouillages ou de balisage dans l'herbier sont visibles très proches de cette station (voir photos ci-dessous).





Quelques trous dans l'herbier sur cette station laissent penser à des impacts de petites ancres ou de balisage de corps-morts

Les résultats des mesures de vitalité indiquent que l'herbier présente une densité normale selon Pergent-Martini, 1994 et Pergent *et al.*, 1995 avec 667 faisceaux/m². Le recouvrement est très fort, mesuré à 91,1%. Le faible pourcentage de rhizomes plagiotropes, 4,6%, indique que l'herbier est stable avec peu ou pas de progression. Le déchaussement est faible avec 4,6 cm mesurés.

Synthèse des mesures de vitalité d'octobre 2024 – Station HP4

Paramètre de vitalité des herbiers de Posidonie	Station HP4 (5,4m)	
Densité (faisceaux/m ²)	667 ±232	Densité normale
Recouvrement (%)	91,1	Très fort recouvrement
Rhizomes plagiotropes (%)	2,3	Herbier généralement stable avec peu ou pas de progression
Déchaussement moyen corrigé des rhizomes orthotropes (cm)	4,6	Faible

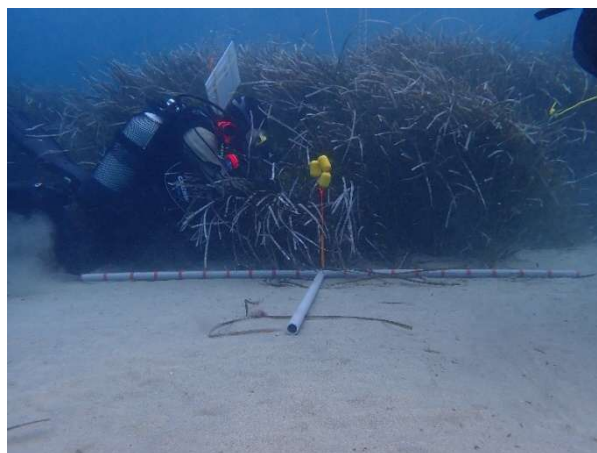
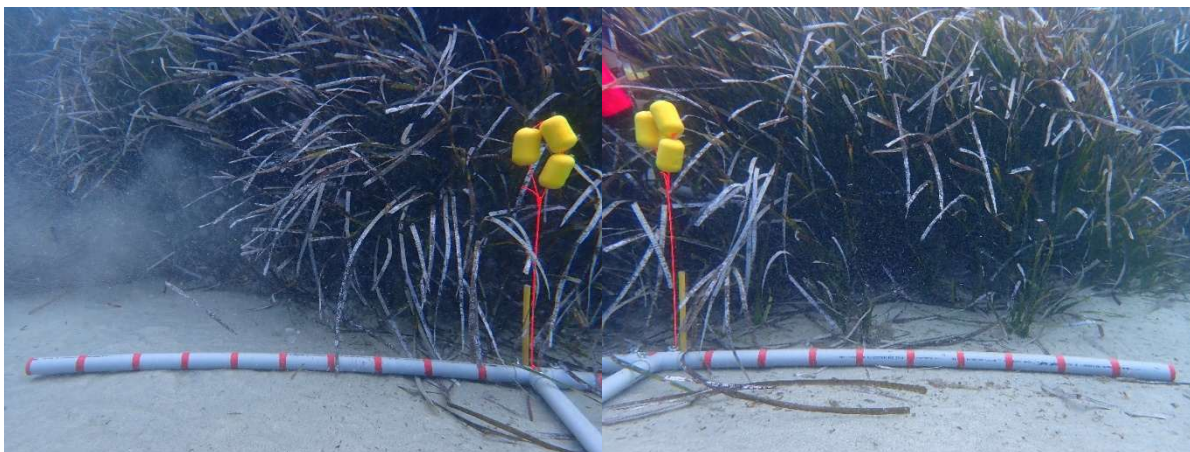


Photo centrée sur la perche



Photos déportées sur la gauche et sur la droite

3.1.5 Synthèse de la vitalité des herbiers de Posidonie

L'herbier de Posidonie était en fleurs sur site au moment des mesures sur le terrain.

Synthèse de la vitalité des herbiers de Posidonie

Paramètre de vitalité des herbiers de Posidonie	Station HP1 (6,8m)		Station HP2 (5,7m)		Station HP3 (4,7m)		Station HP4 (5,4m)	
Densité (faisceaux/m ²)	350 ±66	Densité subnormale inférieure	875 ±265	Densité subnormale supérieure	667 ±216	Densité normale	667 ±232	Densité normale
Recouvrement (%)	98,8	Très fort recouvrement	89,3	Très fort recouvrement	97,9	Très fort recouvrement	91,1	Très fort recouvrement
Rhizomes plagiotropes (%)	13,2	Herbier généralement stable avec peu ou pas de progression	7,8	Herbier généralement stable avec peu ou pas de progression	4,1	Herbier généralement stable avec peu ou pas de progression	2,3	Herbier généralement stable avec peu ou pas de progression
Déchaussement moyen corrigé des rhizomes orthotropes (cm)	5,7	Moyen	9,2	Moyen	3,9	Faible	4,6	Faible

Sur la zone d'étude, l'herbier de Posidonie est globalement en bon état de conservation avec des densités normales et un très fort recouvrement. Le taux de rhizomes plagiotropes ne traduisent pas un herbier en progression dans la limite supérieure où sont positionnées les stations. Bien que le déchaussement ne soit mesuré que faible (stations sur l'herbier continu) à moyen (stations sur l'herbier en patches), les quelques surfaces de matte morte visibles autour des stations étudiées peuvent témoigner d'une faible érosion et d'une agitation parfois forte sur cette baie.

3.2 Vitalité de l'herbier de Cymodocée

3.2.1 Station HC1

Les résultats des mesures de la vitalité de l'herbier de Cymodocée sur la station HC1 sont présentés ci-dessous. Cet herbier se développe sur des petits fonds entre la plage et l'herbier de Posidonie, sur un sable fin. La canopée piège des feuilles de Posidonie.

Synthèse des mesures de vitalité d'octobre 2024 – Station HC1

Paramètre de vitalité des herbiers de Cymodocée	Station HC1 (4,4m)
Densité (faisceaux/m ²)	453±134
Longueur moyenne de la feuille la plus longue (cm)	10,5
Taux d'apex manquant (%)	85



Herbier de Cymodocée de la station 1

3.2.2 Station HC2

Les résultats des mesures de la vitalité de l'herbier de Cymodocée sur la station HC2 sont présentés ci-dessous. Cet herbier se développe sur des petits fonds entre la plage et l'herbier de Posidonie, sur un sable fin. La canopée piège des feuilles de Posidonie.

Synthèse des mesures de vitalité d'octobre 2024 – Station HC2

Paramètre de vitalité des herbiers de Cymodocée	Station HC2 (3,5m)
Densité (faisceaux/m ²)	403±136
Longueur moyenne de la feuille la plus longue (cm)	7,4
Taux d'apex manquant (%)	80



Herbier de Cymodocée de la station 2

3.2.3 Analyse de la vitalité des herbiers de Cymodocée

En l'absence d'abaque pour évaluer objectivement l'état de conservation d'un herbier de Cymodocée selon ses paramètres de vitalité, nous comparons les paramètres relevés sur le terrain sur les deux stations du Canadel à l'une de nos stations suivies dans une baie comparable au sud de l'île du Levant.

Analyse comparée de la vitalité des herbiers de Cymodocée

Paramètre de vitalité des herbiers de Cymodocée	Station HC1 (4,4m)	Station HC2 (3,5m)	Station île du Levant (8m) – avril 2023	Station île du Levant (8m) – octobre 2023
Densité (faisceaux/m ²)	453±134	403±136	268	198
Longueur moyenne de la feuille la plus longue (cm)	10,5	7,4	20,1	17,8
Taux d'apex manquant (%)	85	80	50	35

Comparativement à notre station étudiée au Levant à la même période l'année dernière et également 6 mois plus tôt (en avril), l'herbier du Canadel est environ deux fois plus dense mais les feuilles sont deux fois plus courtes et le taux d'apex manquant est bien plus élevé.

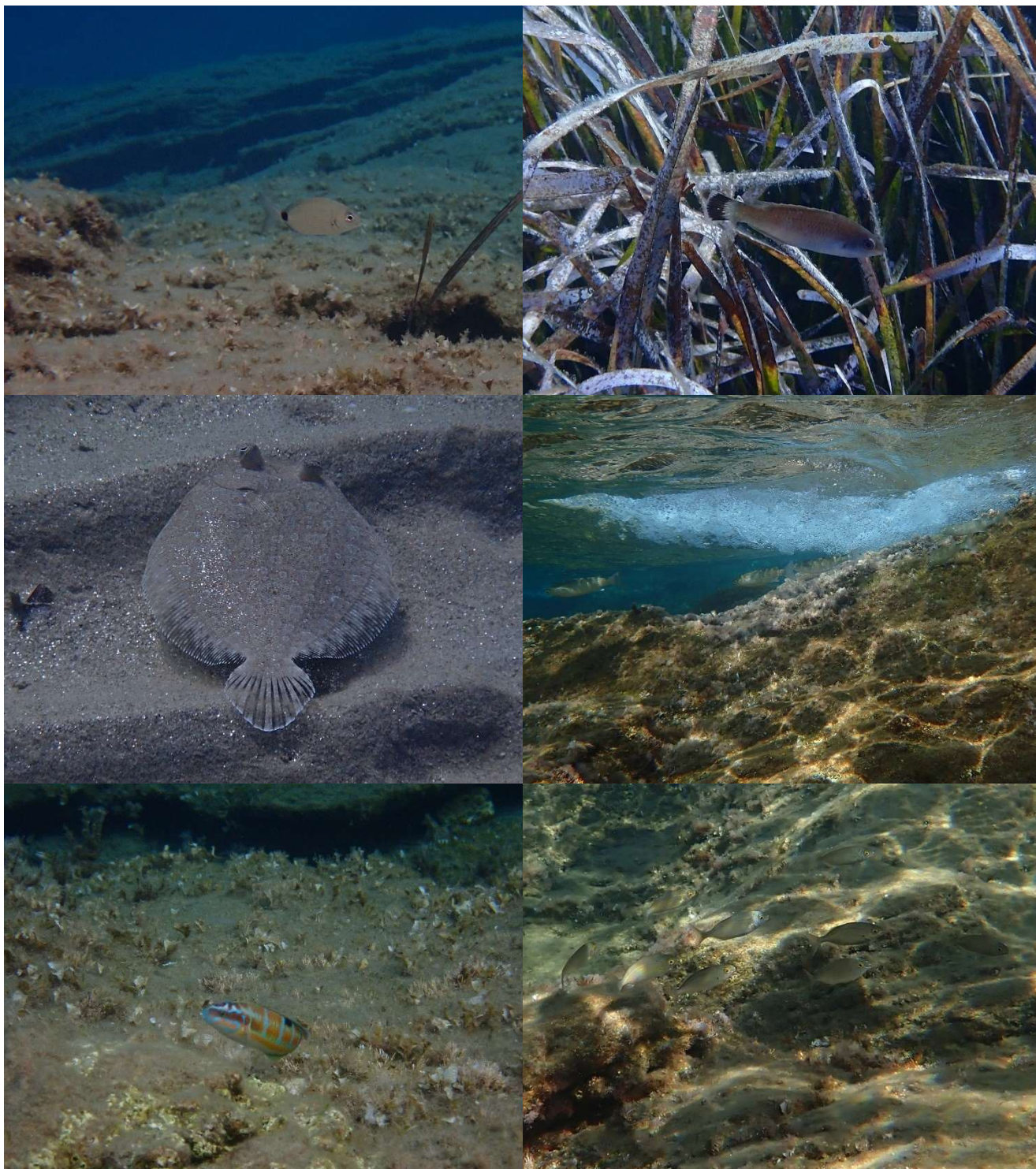
L'herbier de Cymodocée du Canadel semble intéressant pour sa densité. La faible hauteur de sa canopée et son taux important d'apex manquants traduisent très certainement un fort hydrodynamisme dans sa zone de très petits fonds avec une 1^{ère} tempête saisonnière ayant précédé notre intervention sur site.

3.3 Ichtyofaune

Espèces de poissons rencontrées par transect

Nom latin	Nom vernaculaire	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>Atherina spp.</i>	Joëls ou Sauclets	x		x	x		
<i>Bothus podas</i>	Rombou						x
<i>Chromis chromis</i>	Castagnole				x		
<i>Coris julis</i>	Girelle commune	x		x	x		
<i>Diplodus annularis</i>	Sparaillon				x		
<i>Diplodus sargus</i>	Sar commun	x		x	x		
<i>Diplodus vulgaris</i>	Sar à tête noire	x		x	x		
<i>Labrus merula</i>	Labre merle				x		
<i>Lithognathus mormyrus</i>	Marbré					x	
<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget de roche	x	x	x			
<i>Oblada melanura</i>	Oblade				x		
<i>Oedalechilus labeo</i>	Mulet labéon			x			
<i>Sarpa salpa</i>	Saupe	x			x		
<i>Serranus scriba</i>	Serran chevrette			x			
<i>Symphodus melanocercus</i>	Crénilabre à queue noire				x		
<i>Symphodus rostratus</i>	Sublet				x		
<i>Symphodus spp.</i>	Crénilabre indéterminé				x		
<i>Symphodus tinca</i>	Crénilabre tanche	x		x	x		
<i>Thalassoma pavo</i>	Girelle paon	x		x			
TOTAL		8	1	9	13	1	1

Lors des transects d'inventaires, 21 espèces de poissons ont été rencontrées dans la zone. Il s'agit systématiquement d'espèces typiques des petits fonds côtiers, avec un peuplement différent selon les habitats parcourus.



Poissons observés lors des transects (de gauche à droite et de haut en bas) : Sar commun, Crénilabre à queue noire, Rombou, Mulets labéons, Girelle paon et Saupes

Dans les petits fonds rocheux, très vivants, d'autres espèces cryptobenthiques comme les blennies sont rencontrées (hors cibles des transects d'inventaires).

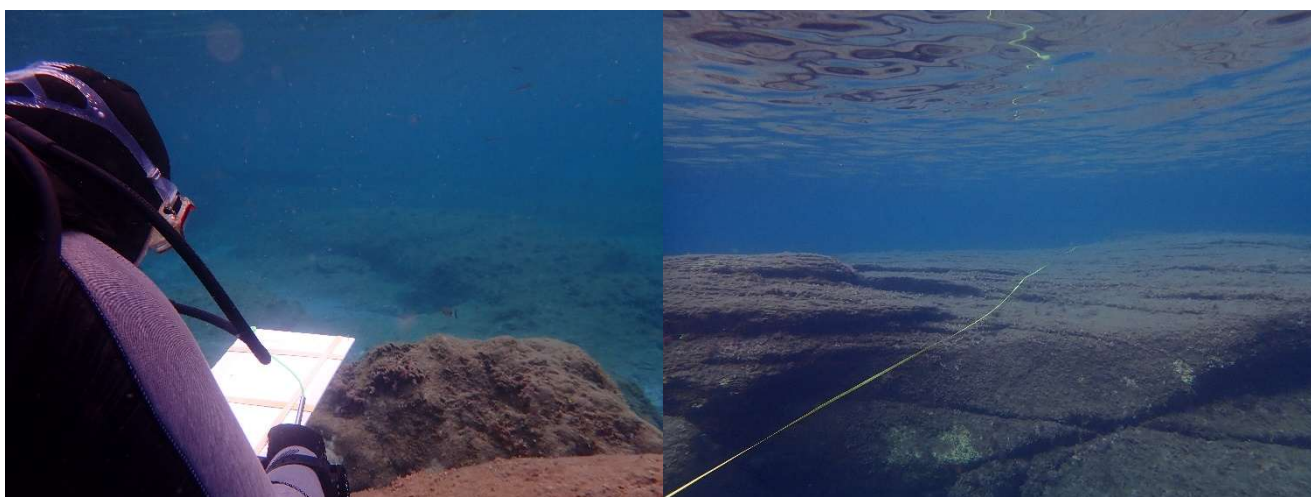


Poissons observés hors transects : *Blennie Sphinx* (*Parablennius sphinx*) et *Blennie pilicorne* (*Parablennius pilicornis*)

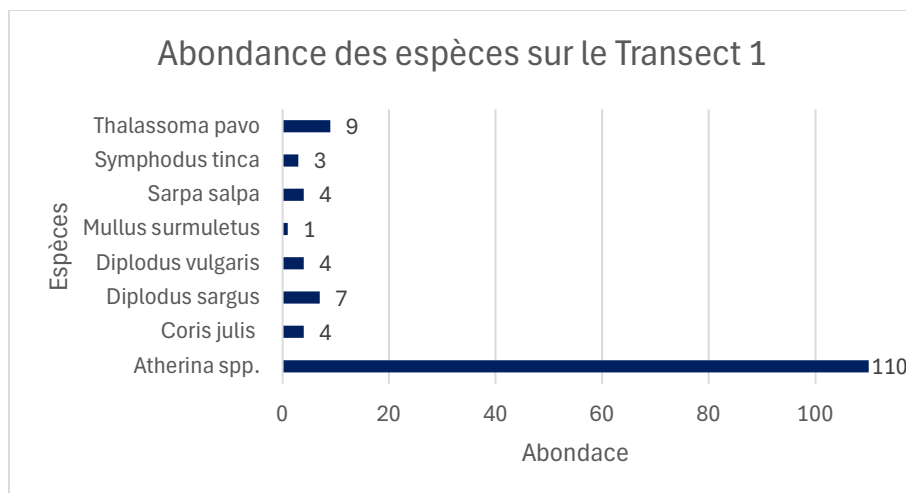
En marge du T3, un jeune Mérou brun (*Epinephelus marginatus*) a pu être observé.

3.3.1 Transect N°1

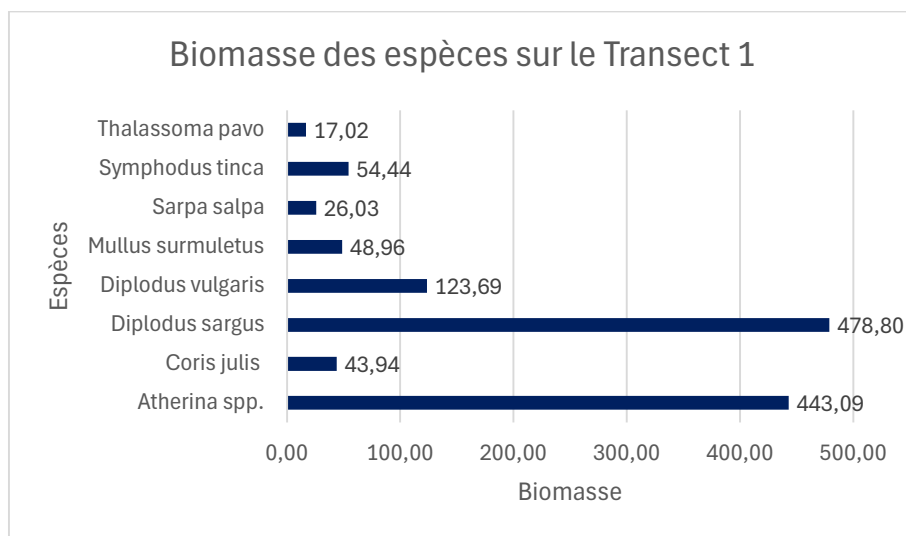
Rappel : le transect N°1 a été réalisé sur un fond rocheux infralittoral à algues photophiles.



Comptage en cours sur le transect 1 et passage en très petits fonds rocheux (ici la roche est peu colonisée)



Abondance des espèces sur le transect 1



Biomasse des poissons sur le transect 1

Sur ce transect en petits fonds rocheux à l'est de l'anse, 8 espèces sont présentes. On retrouve des Sars à tête noire et des Sars communs, des Saupes, des Crénilabres tanches, des Girelles communes et des Girelles paon, des Athérines (joëls ou sauclets : plus grands effectifs du transect) ainsi qu'un Rouget de roche.

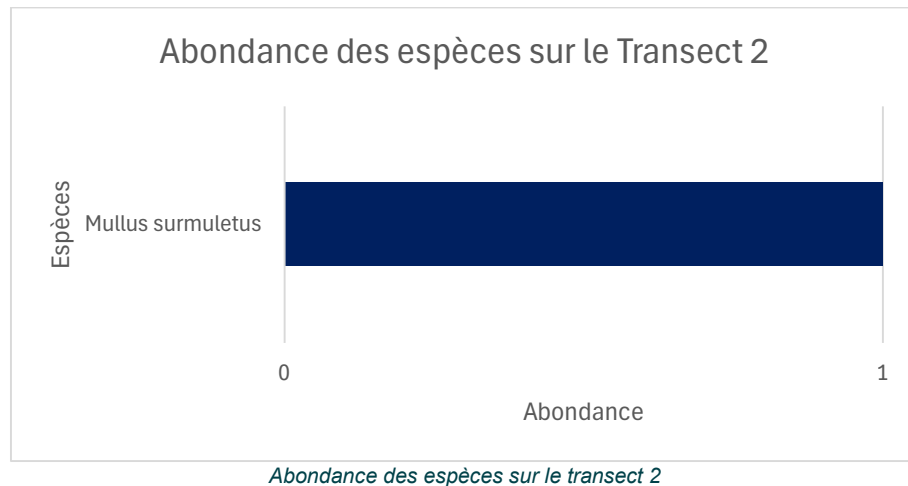
Compte-tenu du grand banc rencontré, la biomasse des Athérines est importante sur ce transect. Mais les Sars communs et les Sars à tête noire représentent aussi une biomasse significative du peuplement ici.

3.3.2 Transect N°2

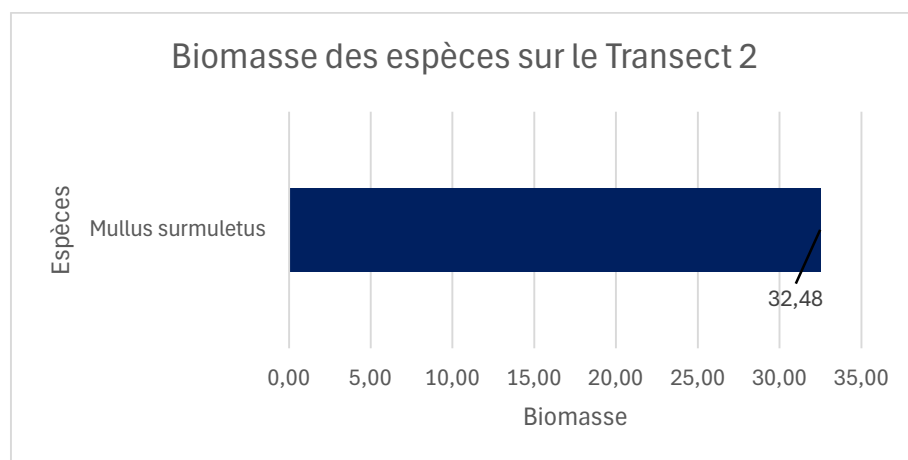
Rappel : le transect N°2 a été réalisé dans un herbier de Cymodocée.



Transect 2 dans l'herbier de Cymodocée



Abondance des espèces sur le transect 2



Biomasse des poissons sur le transect 2

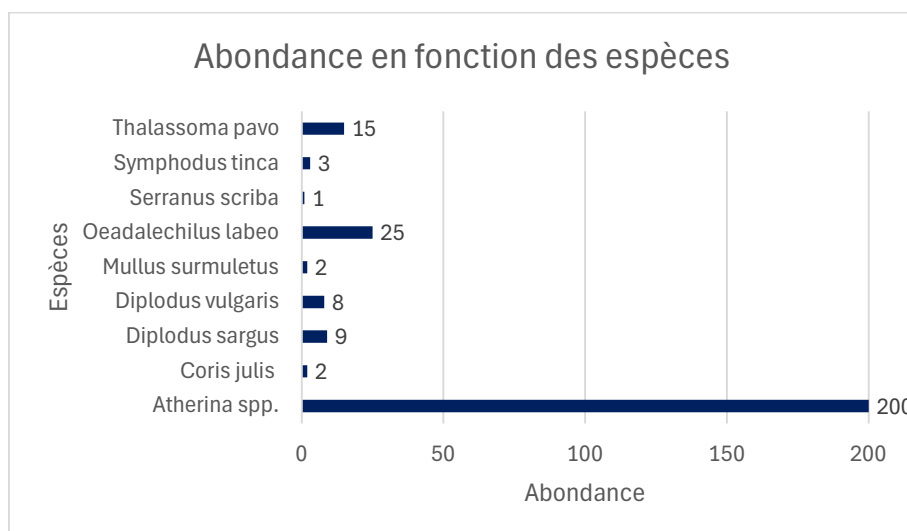
Dans cet herbier de Cymodocée, la faune ichthyque est rare en journée. Sur ce transect, un seul Rouget a été rencontré.

3.3.3 Transect N°3

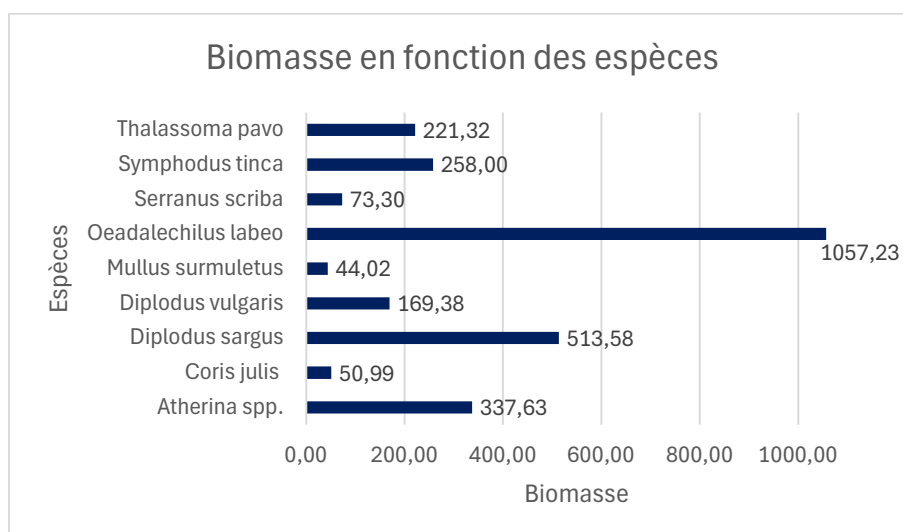
Rappel : le transect N°3 a été réalisé sur un fond rocheux infralittoral à algues photophiles.



Transect 3 à l'ouest de l'anse en petits fonds rocheux avec présence de quelques patches d'herbier de Posidonie sur roche



Abondance des espèces sur le transect 3



Biomasse des poissons sur le transect 3

Sur ce transect en petits fonds rocheux cette fois à l'ouest de l'anse, 9 espèces sont présentes. On retrouve des Sars à tête noire et des Sars communs, un Serran chevette, des Crénilabres tanches, des Girelles communes et des Girelles paon, des Athérines (joëls ou sauclets : encore ici les plus grands effectifs du transect), des Rougets de roche et des Mulets labéons.

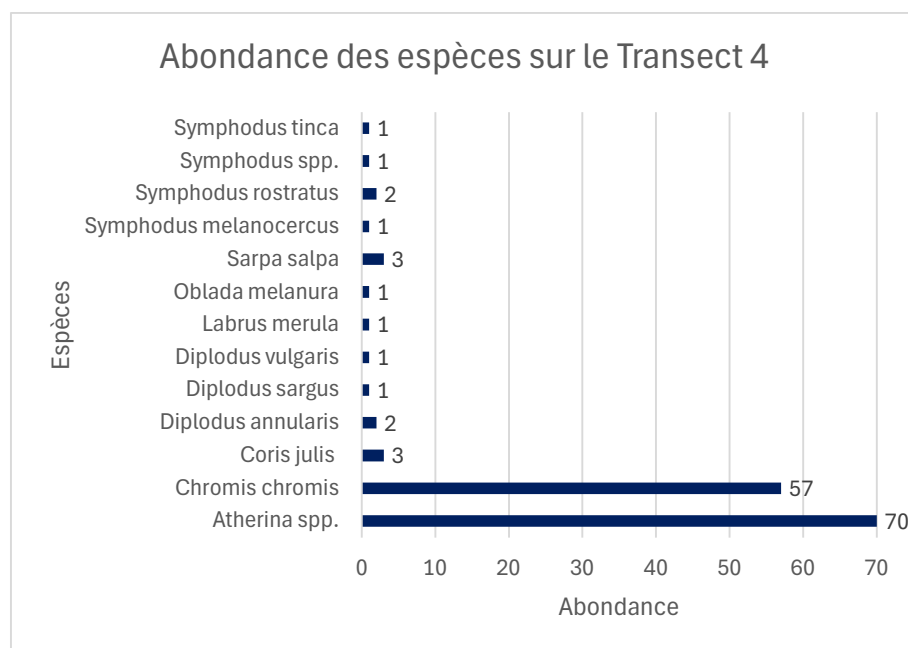
Compte-tenu du grand banc rencontré, la biomasse des Athérines est encore importante sur ce transect, mais les Mulets, les Sars communs et les Sars à tête noire, les Crénilabres et même les Girelles paon en nombre ici représentent aussi une biomasse significative du peuplement.

3.3.4 Transect N°4

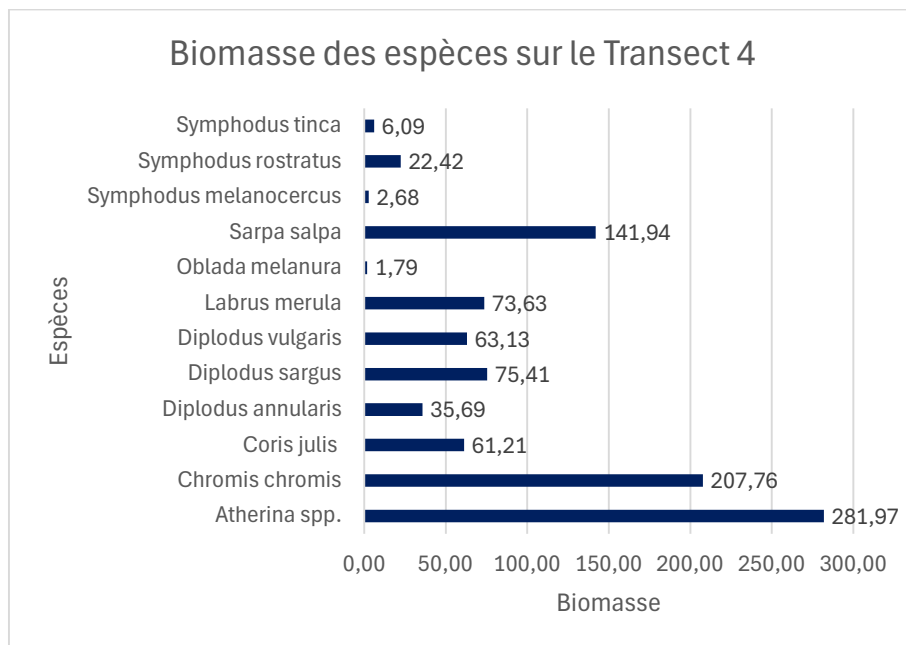
Rappel : le transect N°4 a été réalisé dans un herbier de Posidonie.



Le transect 4 est réalisé en cœur d'herbier de Posidonie



Abondance des espèces sur le transect 4



Biomasse des poissons sur le transect 4

Ici, dans l'herbier de Posidonie, forcément ce sont les Athérines et les Castagnoles qui représentent les plus forts effectifs rencontrés. 13 espèces en tout sont présentes sur ce transect, avec notamment plusieurs espèces de Crénilabres, des Saupes, trois espèces de Sars, l'Oblade, la Girelle commune et un Labre merle.

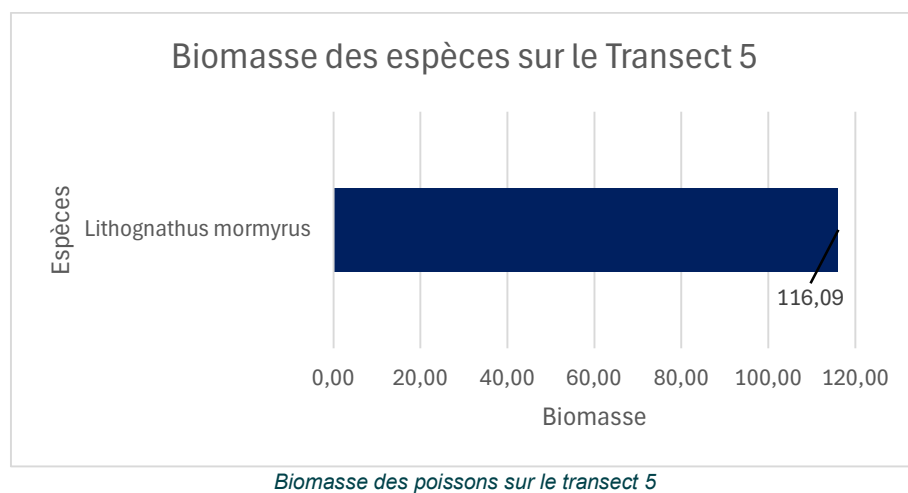
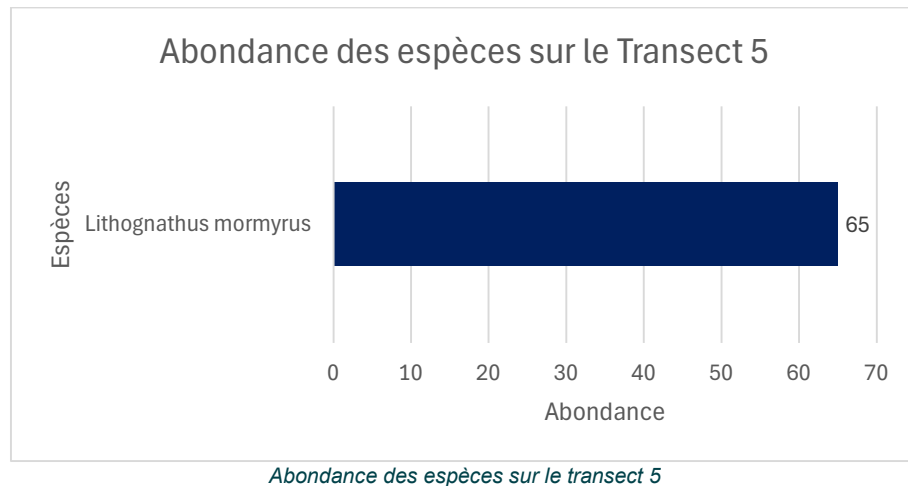
Les biomasses des Athérines, des Castagnoles et des Saupes : espèces bien inféodées aux herbiers, sont les plus importantes ici. Tous les Sparidés participent aussi significativement à la biomasse du peuplement.

3.3.5 Transect N°5

Rappel : le transect N°5 a été réalisé sur un fond sableux.



Pour les deux transects réalisés en fonds sableux : les ridelles sur le fond accumulent des feuilles de Posidonie en épave (photo de gauche) ; Etoile de mer des fonds meubles, Astropecten sp. (photo de droite)



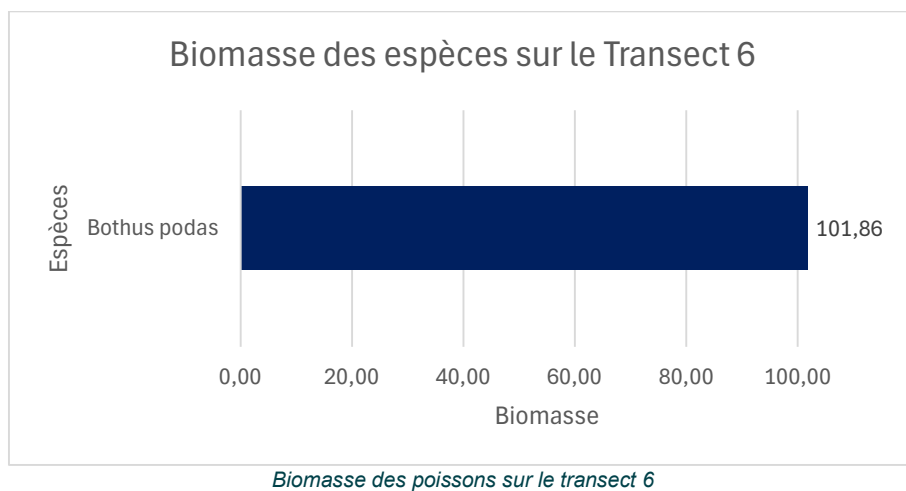
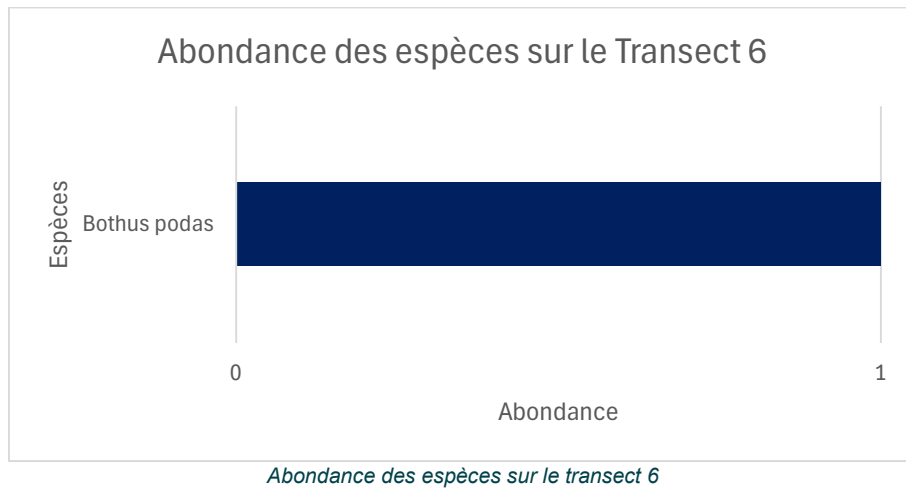
Ici, sur fonds sableux, un seul banc de 65 petits Marbrés (5 cm) a été rencontré.

3.3.6 Transect N°6

Rappel : le transect N°6 a été réalisé sur un fond sableux.



Cérianthes solitaires (Pachycerianthus solitarius) rencontrés dans les petits fonds sableux autour des transects



Ici, sur fonds sableux, un seul Rombou, poisson-plat fréquemment observé sur les fonds meubles, a été rencontré pendant ce transect.

3.4 Macrofaune benthique de substrats meubles



Station Canadel 1 : aspect du sédiment avant tamisage (réplicats A, B et C respectivement)

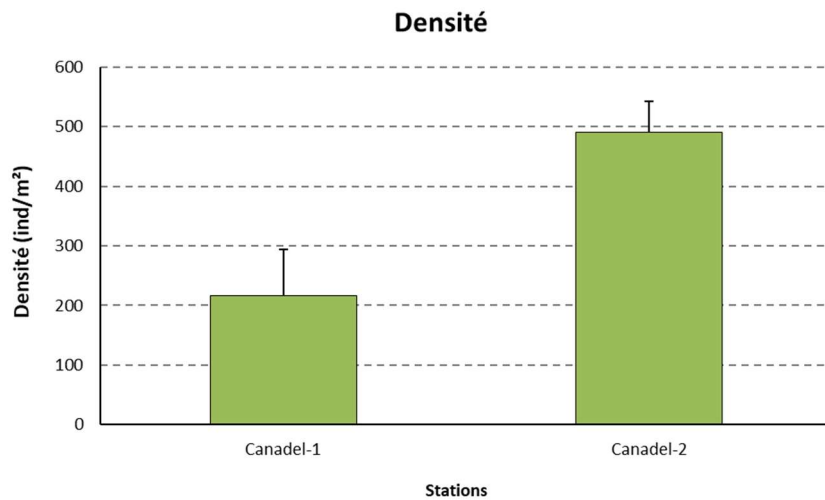


Station Canadel 2 : aspect du sédiment avant tamisage (réplicats A, B et C respectivement)



Un refus de tamis d'un répliquat au Canadel

La densité de la zone d'étude a varié autour d'une valeur moyenne de 353.3 ± 161.0 ind/m². La station Canadel-2 présentait une densité plus élevée (490.0 ± 52.0 ind/m²) qu'à la station Canadel-1 (216.7 ± 77.7 ind/m²).

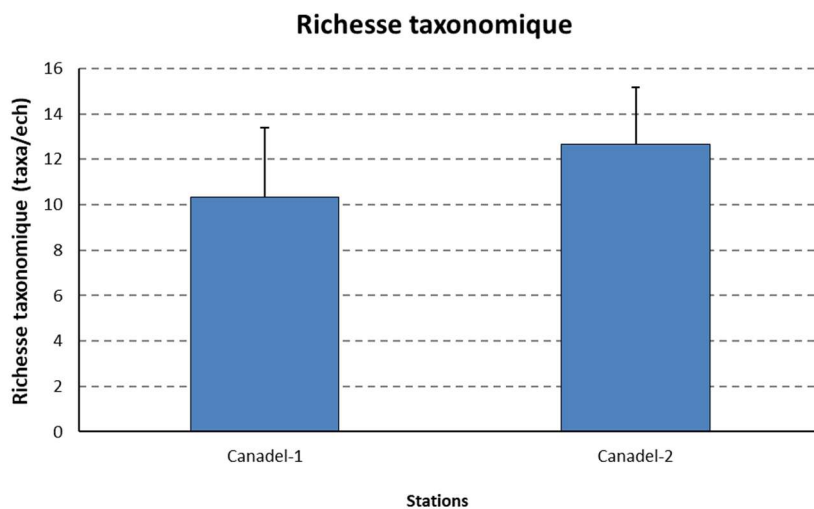


Densité du peuplement de macrofaune benthique de substrats meubles par station (moyenne des réplicats $\pm$ écart-type)

Au total, 32 taxa différents ont été identifiés sur l'ensemble de la zone d'étude. La richesse spécifique a varié autour d'une valeur moyenne de $11,5 \pm 2,8$ taxa/éch.

Le schéma était similaire à celui observé pour les densités, avec des richesses taxonomiques plus élevées à la station Canadel-2 ($12,7 \pm 2,5$ taxa/éch) qu'à la station Canadel-1 ($10,3 \pm 3,1$ taxa/éch).

Malgré tout, la variabilité intra-station n'a pas permis de mettre en évidence de différence significative entre les stations.



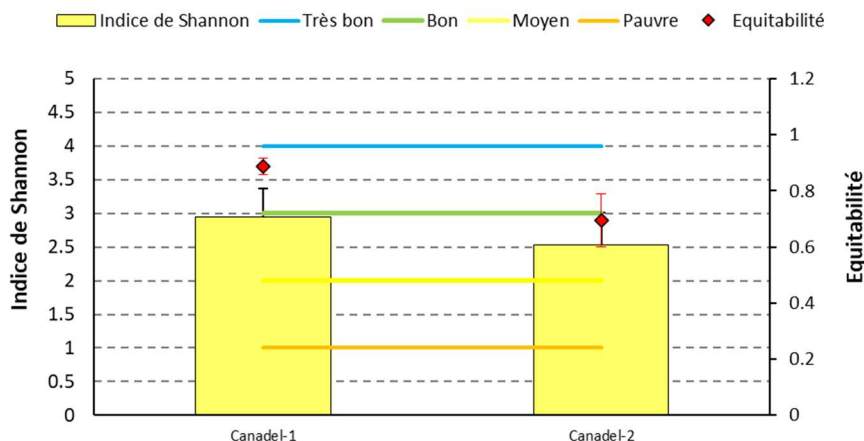
Richesse taxonomique du peuplement de macrofaune benthique de substrats meubles par station (moyenne des réplicats $\pm$ écart-type)

La station Canadel-2, la plus profonde, présentait une densité et une richesse spécifique supérieures à celle de la station Canadel-1.

Pour ces deux paramètres, un schéma spatial notable avec la profondeur a été observé.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, la diversité selon l'Indice de Shannon était égale à $2,7 \pm 0,5$. Aux deux stations, le statut écologique, traduit par l'Indice de Shannon, était « Moyen ». La valeur de l'équitabilité était élevée à Canadel-1 $\approx 0,9$, signe d'un peuplement équilibré avec une très bonne équirépartition des individus entre les espèces.

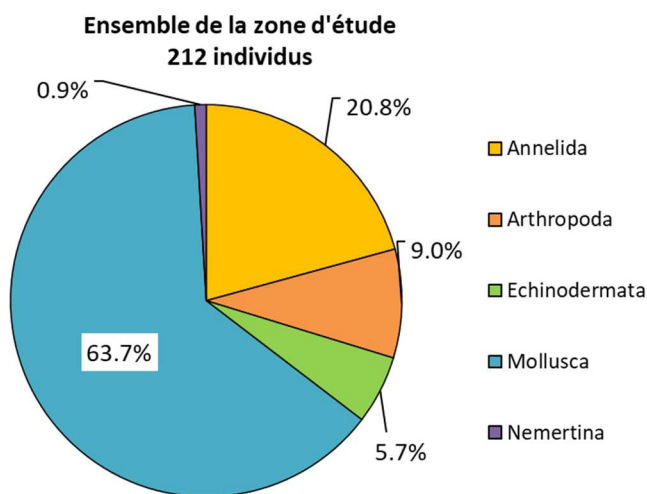
Diversité taxonomique



Indices de Shannon et d'équitabilité du peuplement de macrofaune benthique de substrats meubles par station (moyenne des réplicats $\pm$ écart-type)

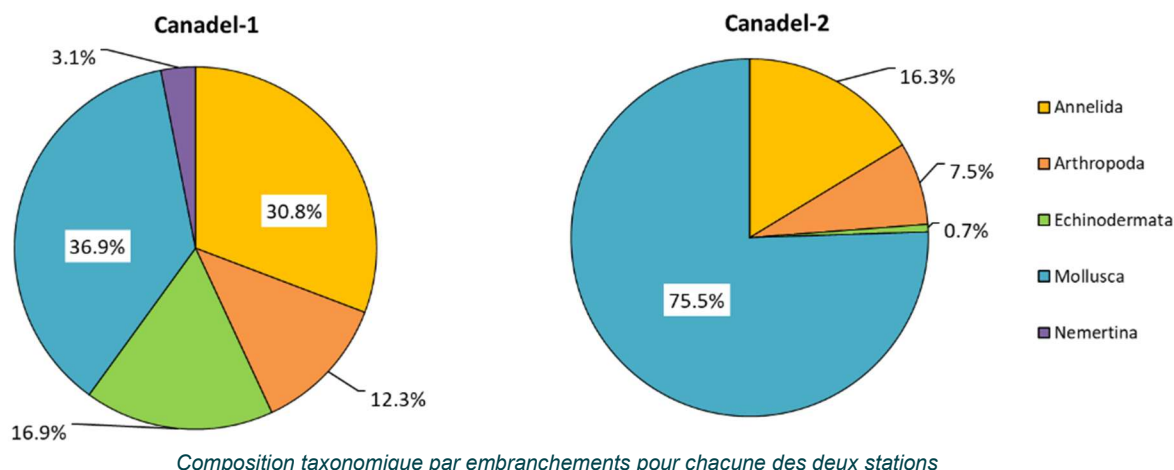
L'état écologique selon l'Index de Shannon était « Moyen » aux deux stations.

Les 212 individus identifiés se sont répartis en 5 embranchements : Annélides, Arthropodes, Echinodermes, Mollusque et Némertes. Les mollusques constituaient l'embranchement dominant, représentant 63,7% des individus; au second rang, les annélides représentaient 20,8% des individus et enfin les arthropodes qui représentaient 9,0% du peuplement.



Composition taxonomique par embranchements sur l'ensemble des stations

La dominance des mollusques était nettement visible sur la station Canadel-2, avec une proportion de 75.5%. A la station Canadel-1, les mollusques étaient aussi dominants mais dans une moindre mesure avec 36.9% des individus, les autres embranchements y étaient mieux représentés avec des proportions plus élevées.



Les peuplements des deux stations étaient dominés par les mollusques, avec toutefois, une meilleure représentation des autres embranchements à la station Canadel-1.

En termes de similarité de composition, exprimée par l'indice de Jaccard, les peuplements des stations Canadel-1/Canadel-2 étaient moyennement comparables entre eux avec une similarité de 31,3%.

Similarité des stations : indice de Jaccard

		Stations	
		Canadel-1	Canadel-2
Stations	Canadel-1	31,3	
	Canadel-2		

Les cortèges des espèces dominantes des stations Canadel-1 et Canadel-2 étaient peu comparables en termes de composition. Ceci était concordant avec les résultats obtenus pour l'Indice de Jaccard.

Cortège des espèces dominantes par station

	Canadel-1	Canadel-2
Rang 1	<i>Fabulina fabula</i> 20,0	<i>Lucinella divaricata</i> 46,9
Rang 2	<i>Scoloplos armiger</i> 18,5	<i>Fabulina fabula</i> 21,1
Rang 3	<i>Echinocardium mediterraneum</i> 12,3	<i>Donax venustus</i> 4,1

Station Canadel-1 :

- *Fabulina fabula* (Gmelin, 1791) occupait le 1^{er} rang du cortège des espèces dominantes avec 20,0% des individus. Ce mollusque bivalve appartenant à la famille des Tellinidae Blainville, 1814 vit dans le sable fin. On le trouve depuis la basse zone intertidale jusqu'à environ 30m de profondeur. Classé dans le groupe I de l'AMBI selon les auteurs de l'AMBI (Borja, Franco, & Perez, 2000), il est sensible à un enrichissement en matière organique, et ne se développe que dans des habitats non perturbés.
- *Scoloplos armiger* (Müller, 1776) occupait le 2^{ème} rang avec 18,5% des individus. Cet annélide sédentaire appartient à la famille des Orbiniidae Hartman, 1942. Il est présent sur les rives basses et dans le sous-littoral peu profond, dans le sable fin, souvent parmi les herbiers marins. Classé dans le groupe I de l'AMBI, il est sensible à un enrichissement en matière organique, et ne se développe que dans des habitats non perturbés.
- *Echinocardium mediterraneum* (Forbes, 1844) occupait le 3^{ème} rang à la station Canadel-1 avec 12,3% des individus. Cet oursin irrégulier appartient à la famille des Loveniidae Lambert, 1905 et vit dans le sable à faible profondeur de 0 à 50 m. Il est caractéristique des sables fins superficiels de mode battu qui se développe, entre 0 et 3 m de profondeur

environ, dans les zones de sables fins soumis aux mouvements des vagues et de la houle (André et Pean, in Doris, 2022). Classé dans le groupe I de l'AMBI, il est sensible à un enrichissement en matière organique, et ne se développe que dans des habitats non perturbés.

Station Canadel-2

- *Lucinella divaricata* (Linnaeus, 1758) occupait le 1er rang du cortège des espèces dominantes avec 46,9% des individus. Ce mollusque bivalve appartient à la famille des Lucinidae J. Fleming, 1828, on le trouve principalement dans les sédiments de sable fin. Classé dans le groupe I de l'AMBI, il est sensible à un enrichissement en matière organique, et ne se développe que dans des habitats non perturbés.
- *Fabulina fabula* (Gmelin, 1791) occupait le 2ème rang du cortège des espèces dominantes avec 21,1% des individus.
- *Donax venustus* Poli, 1795 occupait le 3ème rang avec 4,1% des individus. Ce mollusque bivalve appartient à la famille des Donacidae J. Fleming, 1828. On le retrouve dans des sédiments de sable fin des étages médiolittoral inférieur et infralittoral. Cette espèce apprécie la zone de déferlement des vagues où l'hydrodynamisme est fort, bénéficiant ainsi d'une bonne oxygénation. Classée dans le groupe I de l'AMBI, elle est sensible à un enrichissement en matière organique, et ne se développe que dans des habitats non perturbés.

Tous les taxa du cortège des espèces dominantes appartenaient au groupe I selon les auteurs de l'AMBI (Borja, Franco, & Perez, 2000), soit des espèces sensibles à un enrichissement en matière organique, ne se développant que dans des habitats non perturbés.



Planche photographique de quelques espèces de macro-invertébrés benthiques des substrats meubles échantillonnées lors de la campagne 2024

Les descriptions ont été effectuées au niveau 3 de la typologie nationale des biocénoses benthiques de méditerranée (NatHab-Med). La correspondance avec les unités d'habitats de la typologie des habitats EUNIS (EUNIS 2022) a été réalisée quand les informations étaient disponibles sur l'INPN et quand la correspondance était strictement équivalente entre les différentes typologies

Les peuplements présentaient des caractéristiques écologiques similaires avec la présence à toutes les stations d'espèces caractéristiques ou associées des sables fins.

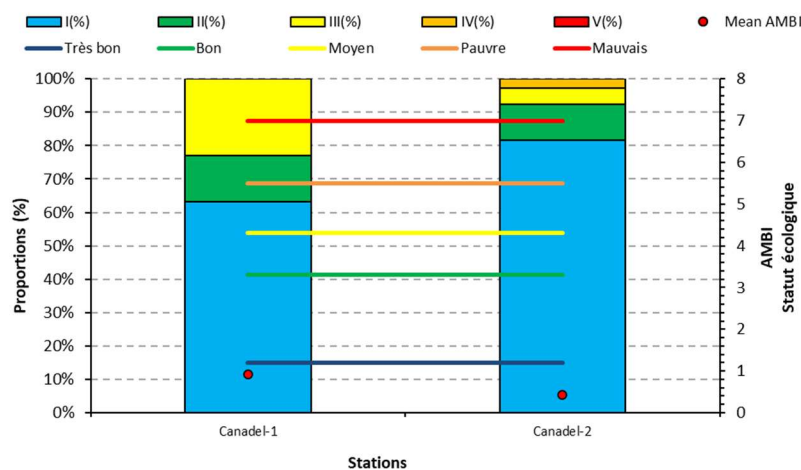
Aux deux stations, la plupart des espèces identifiées sur la zone d'étude étaient caractéristiques de l'habitat « Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC) » (III.2.2-Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée) correspondant à la « Biocénose des sables fins bien calibrés en Méditerranée » (MB5-52- Classification des habitats EUNIS 2022).

Cet habitat se caractérise par :

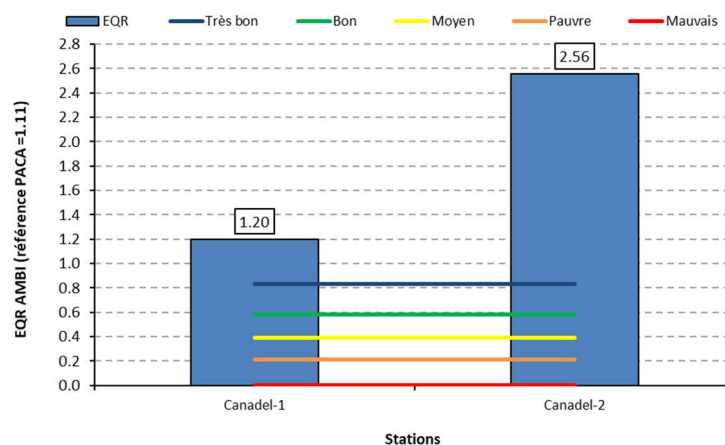
- Une étendue de sable fin faisant suite en profondeur à la biocénose des sables fins de haut niveau (III.2.1), le sédiment est généralement de granulométrie homogène et d'origine terrigène. La biocénose débute vers 2-2.5 m et peut atteindre la profondeur de 25m, elle occupe parfois de très grandes superficies le long des côtes ou dans les larges baies.
- La présence de la phanérogame *Cymodocea nodosa* qui est susceptible de s'installer et de constituer un faciès d'épiflore.
- Un appauvrissement des biocénoses lors des périodes de fort hydrodynamisme avec déferlement en tempête où le sable est fortement remanié jusqu'à plusieurs mètres.
- Un cycle d'apport de détritus provenant souvent de l'herbier à Posidonies (*Posidonia oceanica*), qui vient enrichir en matière organique le peuplement.
- Une sensibilité aux apports et à la sédimentation des particules fines provenant des cours d'eau. L'hydrodynamisme n'est généralement plus assez fort pour empêcher cette sédimentation. Le réengraissement des plages peut également constituer une forte pression, modifiant la dynamique et la composition du biotope et donc des habitats (Bellan G. et Labrune C., 2017).

Les peuplements des deux stations étaient composés d'espèces caractéristiques des sables fins, caractéristiques et/ou associées de la « Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC) » (III.2.2 NatHab-Med).

L'état écologique selon l'AMBI était « Très bon » sur l'ensemble de la zone d'étude avec une valeur moyenne de $0,7 \pm 0,3$. Le calcul de l'EQR associé à l'AMBI, qui correspond à la valeur de l'AMBI référencé aux données régionales (dans le cas présent région PACA = 1,11), confirmait les résultats de l'AMBI avec un statut écologique « Très bon » aux deux stations. Les valeurs de l'EQR ont varié autour d'une valeur moyenne de $1,9 \pm 0,8$ pour l'ensemble de la zone d'étude.



Statut écologique selon le peuplement de macrofaune benthique de substrats meubles : indice AMBI



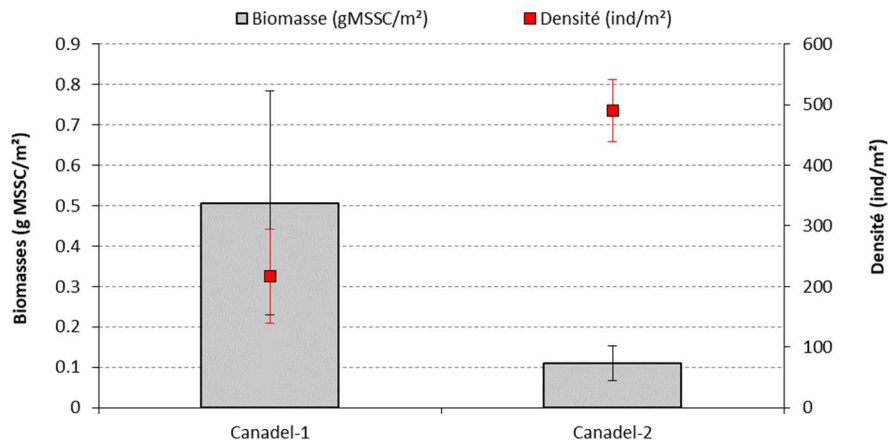
Statut écologique selon le peuplement de macrofaune benthique de substrats meubles : EQR AMBI

Le statut écologique traduit par l'AMBI et son EQR était « Très bon » sur l'ensemble de la zone d'étude, permettant de conclure à une absence de perturbations.

La biomasse moyenne sur la zone d'étude était de $0,31 \pm 0,28$ g/m².

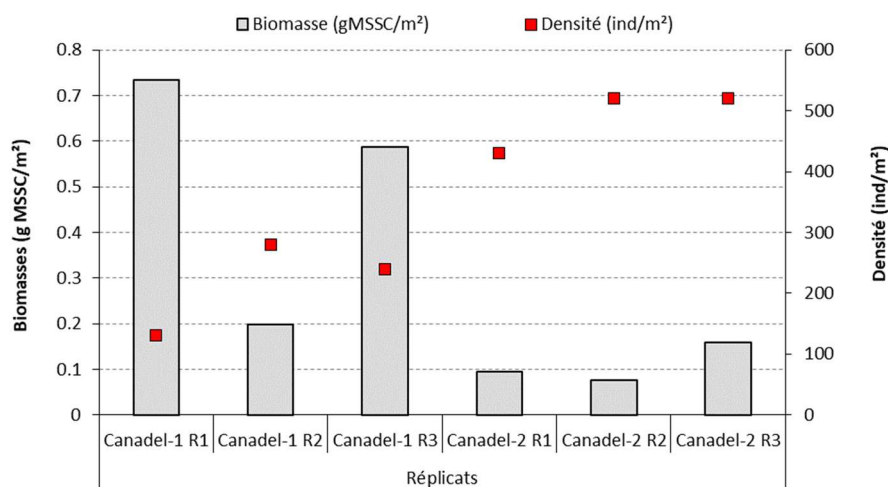
Les biomasses étaient plus élevées sur la station Canadel 1 ($0,51 \pm 0,28$ g/m²) que sur la station Canadel 2 ($0,11 \pm 0,04$ g/m²). Cela étant dû à une densité plus élevée d'*Echinocardium mediterraneum* dans les réplicats de la station Canadel-1, qui sont souvent de gros individus.

Biomasses par stations



Biomasses de la macrofaune benthique par stations

Biomasses par réplicats



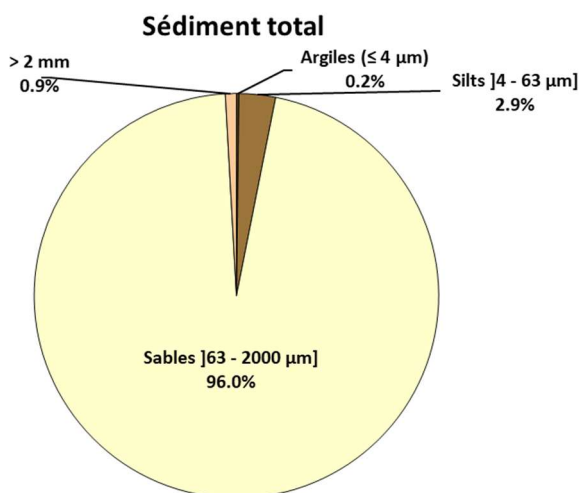
Biomasses de macrofaune benthique par réplicats

Les biomasses les plus élevées ont été observées à la station Canadel-1, principalement dû à la présence de gros individus d'*Echinocardium mediterraneum* à chaque réplicat. Les réplicats de la station Canadel-2 étaient constitués d'individus de très petite taille.

3.5 Qualité physico-chimique des sédiments

3.5.1 Granulométrie

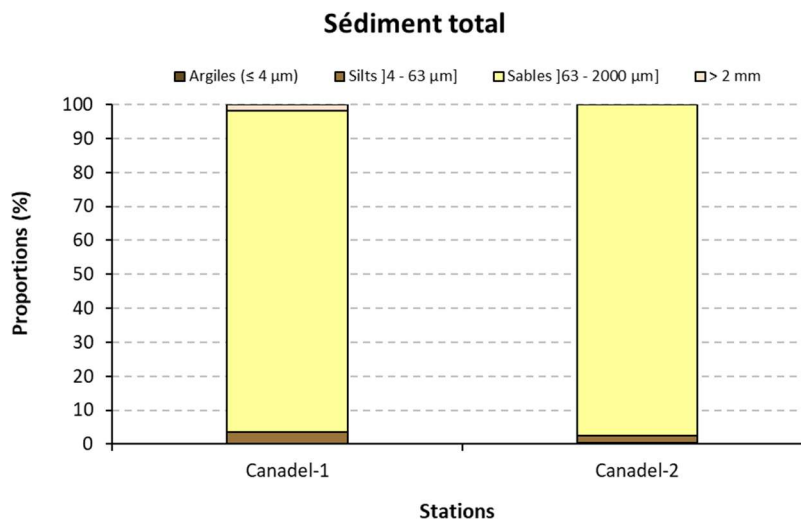
La zone d'étude présentait un sédiment essentiellement constitué de sables [63 - 2000 μm] à 96,0%. Les argiles ($\leq 4\mu\text{m}$) et les silts [4 - 63 μm] étaient peu représentés avec respectivement des proportions de 0,2% et 2,9%. La fraction grossière (>2mm) représentait moins de 1.0% du sédiment total.



Classification granulométrique des sédiments sur l'ensemble des stations

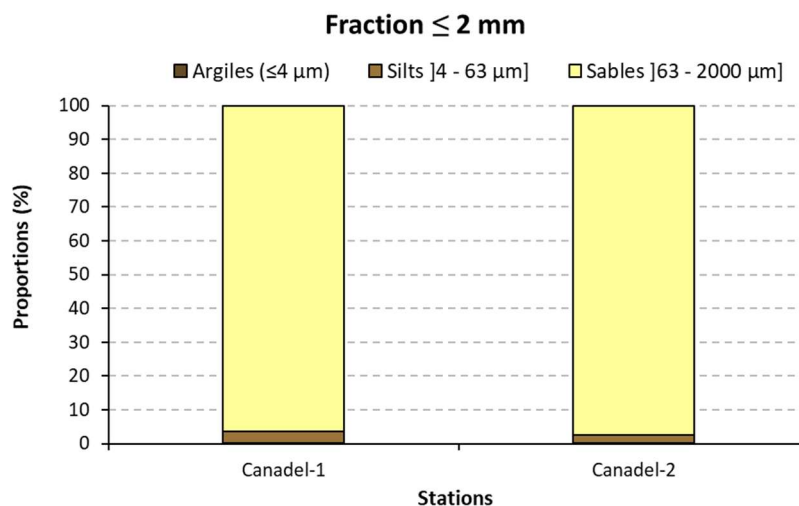
Les deux stations présentaient un sédiment à dominance sableuse, avec de très faibles proportions de particules fines et de graviers.

Les deux stations présentaient un sédiment à dominance sableuse, avec de très faibles proportions de particules fines et de graviers.



Classification granulométrique des sédiments par station

Le profil spatial pour les fractions $\leq 2 \text{ mm}$ était comparable à celui identifié sur les caractéristiques du sédiment total, avec un sédiment majoritairement constitué de sables atteignant une proportion supérieure à 96,0% à toutes les stations.



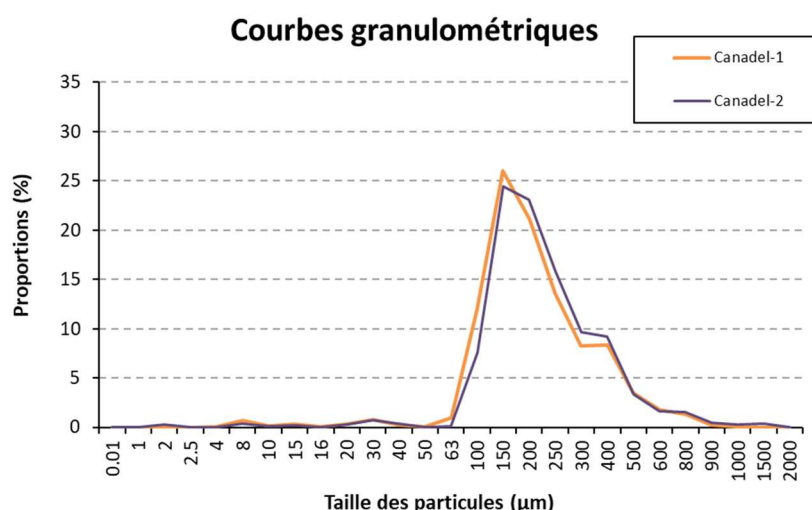
Classification granulométrique sur la fraction fine < 2 mm des sédiments par station

Selon la typologie de Folk, les sédiments échantillonnés étaient de type « **Sables** » à toutes les stations.

Classification des sédiments de chaque station selon la typologie de Folk

Stations	Canadel-1	Canadel-2
$<63\mu\text{m}$	3.7	2.6
Sables $]63 - 2000 \mu\text{m}]$	96.3	97.5
Sables/vases	25.7	38.2
Fraction supérieure à 2 mm	1.7	<1
Typologie de Folk	Sable	Sable

Les stations présentaient un sédiment homogène caractérisé par des courbes unimodales avec un mode autour de $150\mu\text{m}$, et d'une ampleur quasi-similaire entre les stations. Comparables entre elles, les stations montraient les mêmes caractéristiques sédimentaires, présentant un sédiment constitué majoritairement de sables $]63 - 2000 \mu\text{m}]$.

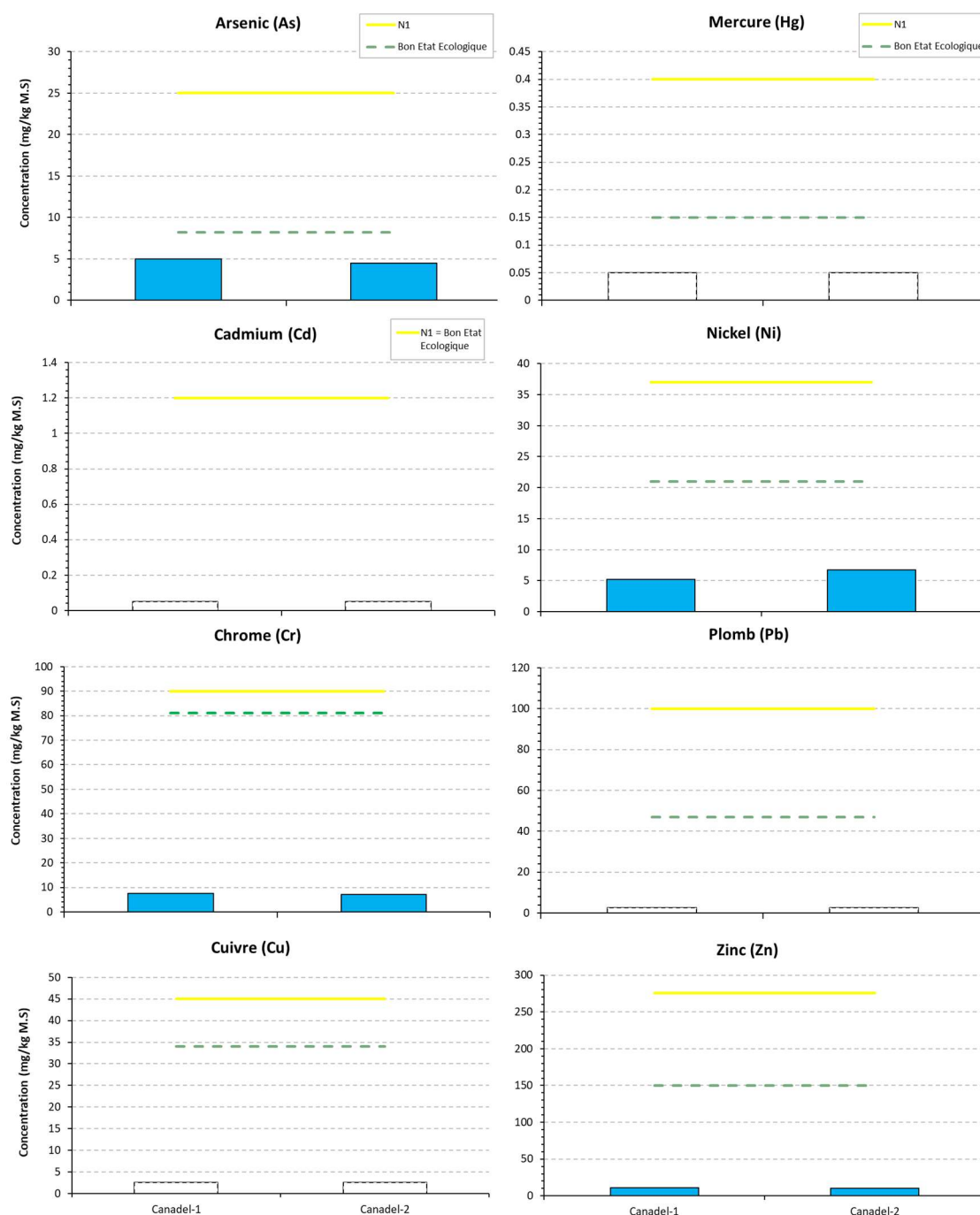


Courbes de distribution granulométriques pour chacune des deux stations

La granulométrie de la zone d'étude était dominée par les fractions sableuses $]63 - 2000 \mu\text{m}]$, correspondant à des sédiments de « Sables » aux deux stations.

3.5.2 Qualité chimique

Les concentrations de tous les métaux étaient inférieures aux seuils considérés. Les teneurs en mercure, cadmium, plomb et cuivre étaient inférieures à la limite de quantification (LQ) du laboratoire.



Concentrations en métaux dans chaque échantillon : comparaison aux seuils de l'arrêté du 9 Août 2006 modifié et au seuil de Bon État écologique de l'arrêté du 9 septembre 2019

Comparaison avec les seuils du guide GEODE N1 (jaune) et le seuil du Bon État écologique (arrêté du 09-09-2019) (vert pointillés). Pour les calculs, les valeurs inférieures à la limite de quantification ont été remplacées par la moitié de la valeur de cette limite (en pointillés).

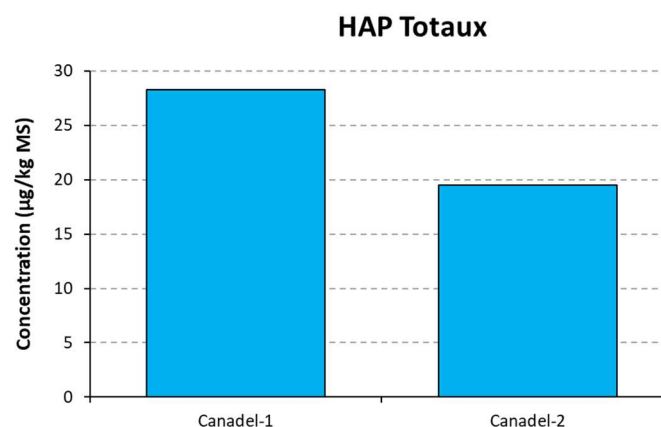
Les teneurs en métaux dans les sédiments étaient faibles : toutes inférieures au seuil N1 et de bon état écologique, voire inférieures à la LQ.

Les teneurs en HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) étaient faibles : toutes les concentrations étaient très largement inférieures aux seuils N1 et de bon état écologique. Sur la zone d'étude plus de la moitié des valeurs, toutes molécules confondues, étaient sous la valeur LQ du laboratoire.

Concentrations de chaque Hydrocarbure Aromatique Polycyclique (HAP) à chaque station : comparaison aux seuils de l'arrêté du 9 Août 2006 modifié et au seuil de Bon État écologique de l'arrêté du 9 septembre 2019

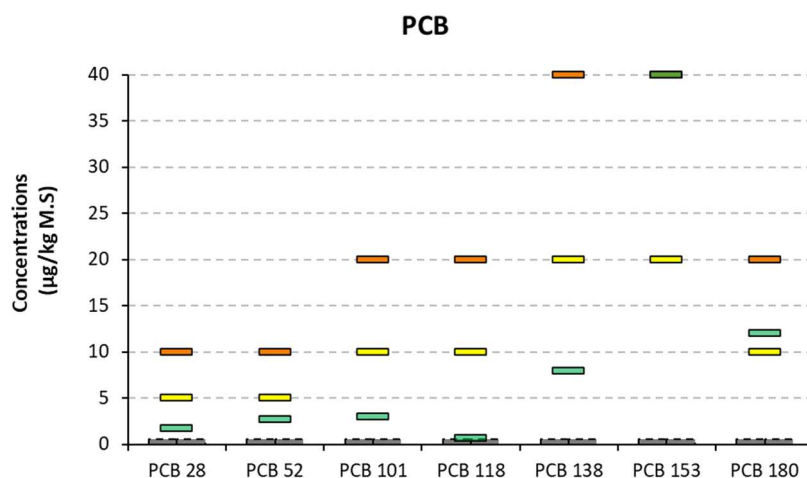
HAP (µg/kg)sec	Canadel-1	Canadel-2	N1	N2	BEE
Naphtalène	1.1	1.3	160	1 130	160
Acénaphthylène	2.1	1.2	40	340	-
Acénaphène	1.0	1.1	15	260	-
Fluorène	1.0	1.1	20	280	-
Phénanthrène	1.1	1.3	240	870	240
Anthracène	1.0	1.1	85	590	85
Fluoranthène	1.0	2.5	600	2 850	600
Pyrène	1.0	1.1	500	1 500	665
Benzo(a)anthracène	1.0	1.1	260	930	261
Chrysène	2.9	1.1	380	1 590	384
Benzo(b)fluoranthène	7.0	1.1	400	900	-
Benzo(k)fluoranthène	1.1	1.2	200	400	-
Benzo(a)pyrène	2.3	1.1	430	1 015	430
Dibenzo(a,h)anthracène	1.0	1.1	60	160	-
Benzo(g,h,i)pérylène	1.0	1.1	1 700	5 650	85
Indéno(1,2,3 cd)pyrène	2.8	1.1	1 700	5 650	240

En utilisant l'hypothèse de concentrations égales à la LQ/2, la somme des HAP a atteint, au maximum 28.3µg/kg de sédiment sec à la station Canadel-1.



Concentrations en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) totaux (sommés) pour chacune des deux stations étudiées

Toutes les concentrations étaient inférieures à la LQ. Quel que soit le congénère, les concentrations en PCB étaient toutes très inférieures au seuil N1. Par rapport au seuil du "bon état écologique" fixé par l'arrêté du 9 Septembre 2019, et malgré des valeurs inférieures à la LQ, les concentrations du PCB 118 étaient potentiellement au-dessus du seuil fixé à 0,6 µg/kg de sédiment sec.



Concentrations en PolyChloroByphéniles (PCB) dans chaque échantillon : comparaison aux seuils de l'arrêté du 9 Août 2006 modifié et au seuil de Bon État écologique de l'arrêté du 9 septembre 2019



Comparaison avec les seuils N1 (jaune), N2 (orange) et le seuil du Bon État écologique (arrêté du 09-09-2019) (vert). Pour les calculs, les valeurs inférieures à la limite de quantification ont été remplacées par la moitié de la valeur de cette limite (en pointillés).

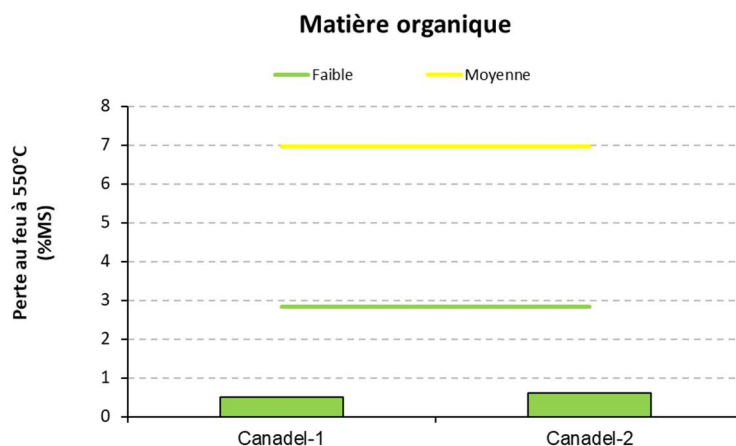
Sur les huit molécules dosées, l'ensemble des valeurs était en dessous de la LQ (2,0 ou 10,0 µg Sn/kg), excepté pour le TBT à Canadel-1. Les concentrations en TBT étaient inférieures au seuil N1 fixé à 100 µg/kg de sédiment sec aux deux stations.

Composés organostanniques : concentration par échantillon

Paramètres (µg Sn/kg de sédiment sec)	Canadel-1	Canadel-2
TeBT	<10.0	<10.0
TBT	2.6	<2.0
DBT	<2.0	<2.0
MBT	<2.0	<2.0
DOT	<2.0	<2.0
MOT	<2.0	<2.0
TPhT	<2.0	<2.0
TcHexT	<2.0	<2.0

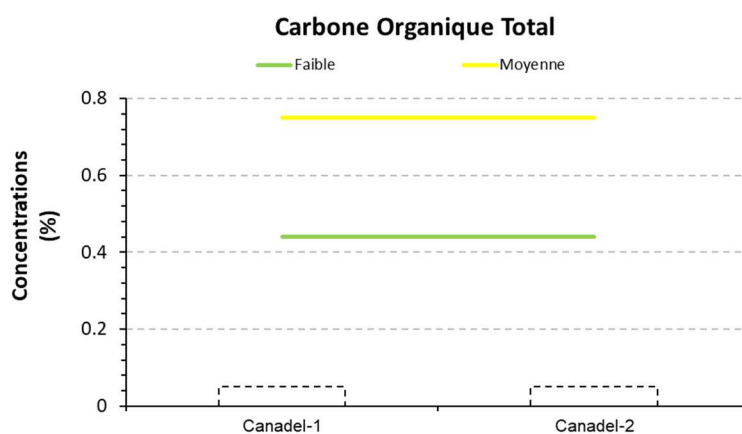
Aucune contamination notable par les contaminants organiques (HAP, PCB et TBT) n'a été mise en évidence dans les deux stations.

Les teneurs en Matière Organique (MO) étaient faibles pour les deux stations selon la classification de Licari (1998).



Taux de matière organique : classification de Licari (1998)

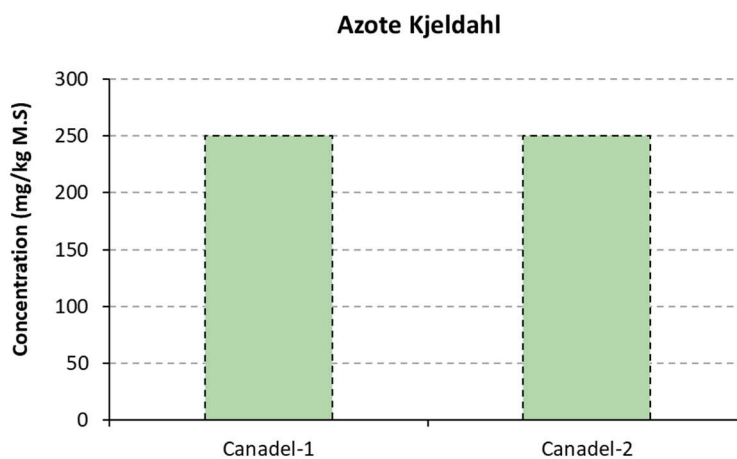
Les teneurs en Carbone Organique Total (COT) étaient faibles et en dessous de la LQ pour les deux stations.



Carbone Organique Total (COT) : classification de Licari (1998)

La zone d'étude ne montrait pas d'enrichissement en matière organique.

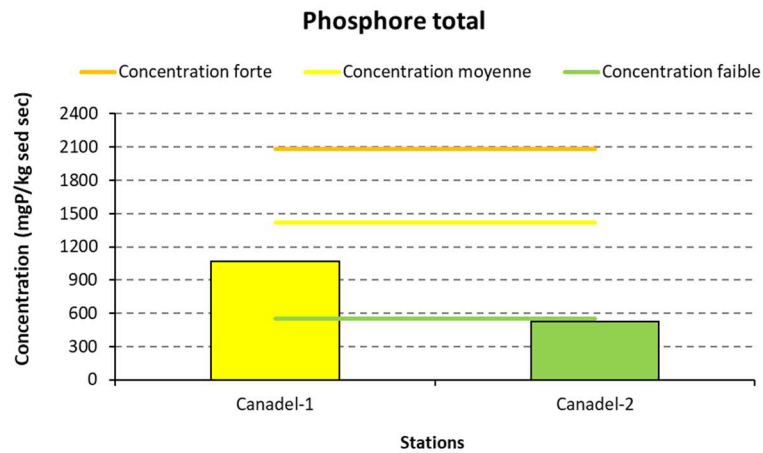
Les teneurs en Azote Kjeldahl étaient toutes inférieures à la LQ du laboratoire fixée à 0,5 g/kg MS.



Concentration en composés azotés par station

Les valeurs inférieures à la limite de quantification ont été remplacées par la moitié de la valeur de cette limite (en pointillés).

Les teneurs en Phosphore Total ont varié autour d'une valeur moyenne de $799,0 \pm 383,3$ mg/kg MS. D'après la classification de Licari (1998), la concentration en phosphore total dans les sédiments était « moyenne » à la station Canadel-1 et « faible » à la station Canadel-2.



Concentration en composés phosphorés par station et classification de Licari (1998)

Dans l'absolu ces valeurs sont habituelles dans les sédiments marins, sans risque avéré d'eutrophisation et sans schéma spatial notable.

3.6 Qualité physico-chimique, biologique et bactériologique des eaux

3.6.1 Qualité physico-chimique

3.6.1.1 Paramètres mesurés in situ

Taux de matières en suspension en chaque station étudiée

Paramètres	Canadel 1	Canadel 2	Canadel 3
Température (°C)	21,0	20,9	21,1
Salinité (SAL-PSU)	38,74	38,65	38,90
Conductivité (μS/cm)	58,22	57,89	58,81
Turbidité (NFU)	2,1	1,9	2,3
pH	8,02	8,03	8,02
O2 (mg/L)	7,1	7,0	6,9
O2 (%)	101,0	101,2	99,8

L'ensemble des paramètres mesurés sont conformes aux attendus pour la zone, indiquant une eau marine circulante, de bonne qualité. A noter que la température était encore élevée pour la saison.

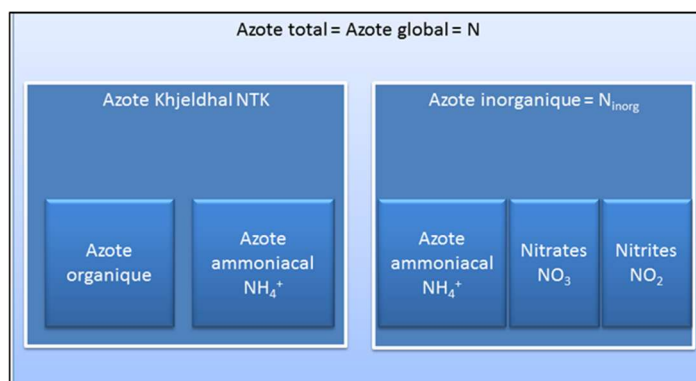
3.6.1.2 Paramètres analysés en laboratoire

Taux de matières en suspension en chaque station étudiée

	Stations		
	Canadel 1	Canadel 2	Canadel 3
Matières en suspension (MES) (mg/L)	< 2	< 2	< 2

Les teneurs en MES étaient faibles (inférieures à la LQ du laboratoire égale à 2 mg/L) et comparables aux trois stations.

Mémo : composition de l'azote total

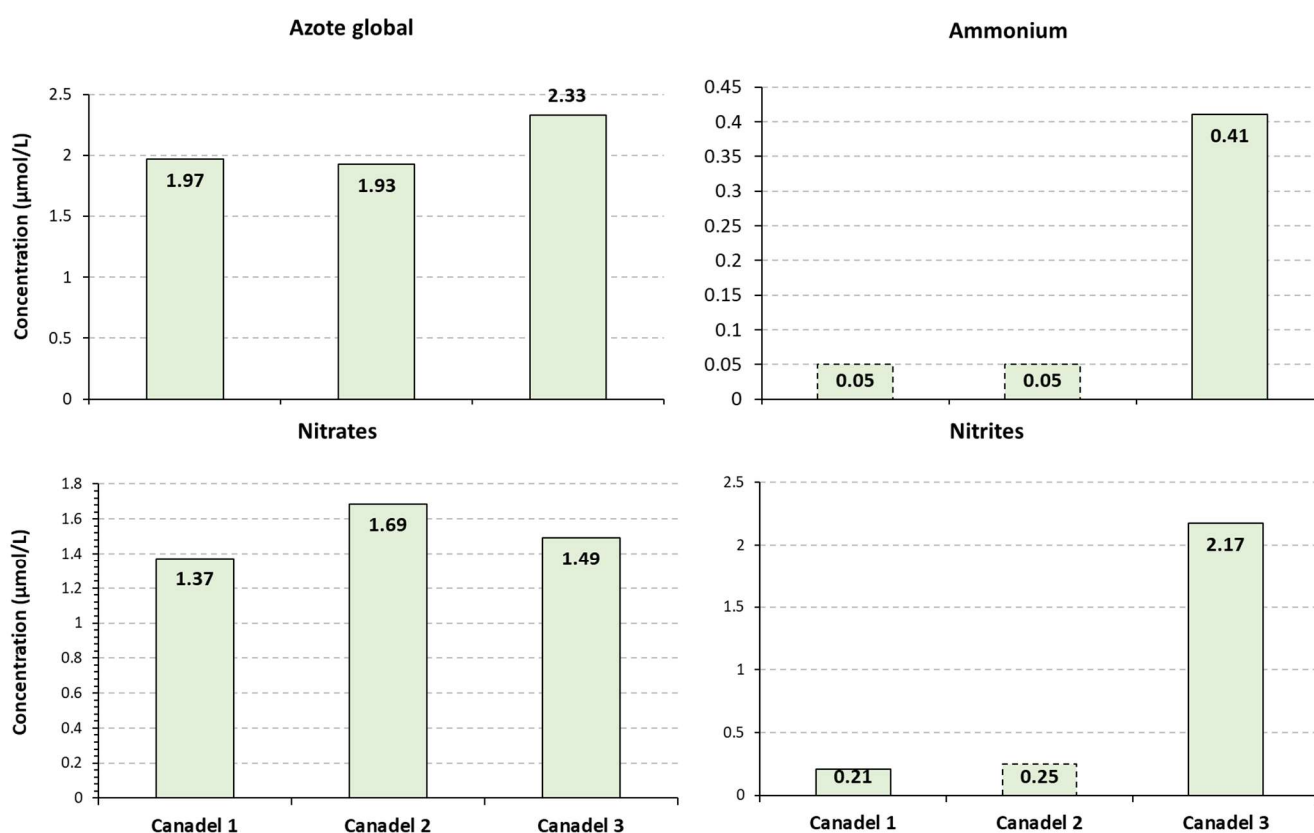


Dans la DCSSM, les nutriments, dont les éléments azotés, sont compris dans le descripteur 5 « Eutrophisation » et sont classés dans le D5C1 : « Concentrations en nutriments ». Le descripteur 5 a fait l'objet de 3 cycles complets d'évaluation de la part d'IFREMER (12 ans de suivi) en France Métropolitaine et, dans les eaux côtières (<1 mille), les « Azote inorganique (NID) (Nitrates + Nitrites + Ammonium) [...] ne sont pas évalués à la côte par manque de seuil. » (Devreker 2018, 2023).

A défaut de valeurs références dans les eaux côtières applicables dans la présente étude, nous pouvons nous appuyer, à titre de comparaison, sur les valeurs seuils publiées dans l'Arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines et aux normes méthodologiques d'évaluation :

Valeurs seuils par façades maritimes et par éléments constitutifs du critère D5C1 pour les eaux intermédiaires et au large

Façades	Éléments	Valeurs seuils dans les eaux intermédiaires	Valeurs seuils dans les eaux au large
Manche-Atlantique	NO ₃ ⁻	24,65 µmol.l ⁻¹	20,3 µmol.l ⁻¹
	PID	0,8 µmol.l ⁻¹	0,8 µmol.l ⁻¹
Méditerranée	NO ₃ ⁻	20,3 µmol.l ⁻¹	8,7 µmol.l ⁻¹
	PID	0,56 µmol.l ⁻¹	0,24 µmol.l ⁻¹



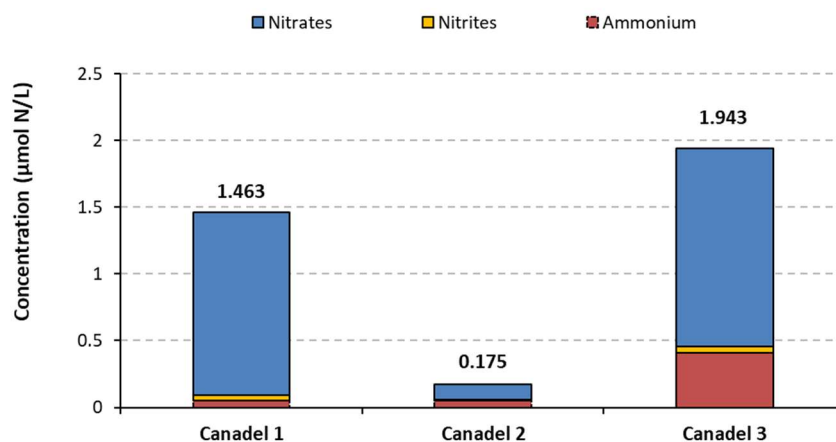
Concentrations en éléments azotés dans les eaux des trois stations étudiées

Les concentrations en azote global étaient comprises entre 1,93 et 2,33 µmol/L, comparables entre les 3 stations avec une valeur légèrement plus élevée à Canadel 3.

Les concentrations en nitrates, en comparaison des seuils de l'arrêté du 09 septembre 2019, étaient environ 15 fois moindre que le seuil fixé à 20,3 µmol/L pour les eaux intermédiaires de Méditerranée. Les trois stations ont présenté des valeurs comparables. Il n'a pas été mis en évidence de risque d'eutrophisation au vu de ce paramètre.

Les concentrations en ammonium et en nitrites étaient notablement plus élevées à Canadel 3 avec un facteur 10 environ pour chacun de ces 2 paramètres par rapport aux 2 autres stations.

Azote inorganique



Concentrations en azote inorganique dans les eaux des trois stations étudiées

L'azote inorganique, constitué des nitrates, nitrites et ammonium, a présenté au maximum à Canadel 3, une concentration égale à 1,943 µmol N/L.

La station Canadel 3, se distinguait des deux autres stations, car, la concentrations en ammonium y était notablement plus élevée (0,410 µmol N/L contre <0,05 µmol N /L dans les deux autres).

Les concentrations en nutriments azotés étaient faibles ne montrant pas de risque d'eutrophisation.

3.6.2 Qualité biologique

Dans la DCSSM, la concentration en Chlorophylle a, est compris dans le descripteur 5 « Eutrophisation » et sont classés dans le D5C2 : « Concentration en chlorophylle-a. Dans les « eaux côtières », le critère D5C2 a pour équivalent, l'évaluation de la biomasse phytoplanctonique tel que mentionnée dans l'arrêté du 25 janvier 2010. Au-delà des eaux côtières, des références ont été établies dans l'Arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines et aux normes méthodologiques d'évaluation :

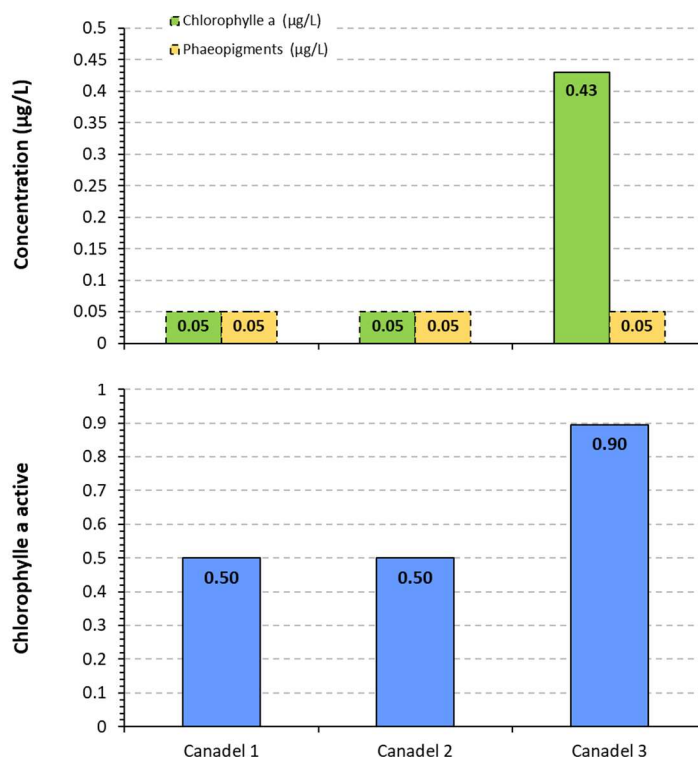
Valeurs seuils par façade maritime du critère D5C2 pour les eaux intermédiaires et au large

	Valeurs seuils dans les eaux intermédiaires	Valeurs seuils dans les eaux au large
Eaux adjacentes aux écotypes NEA 1/26a (Manche-Atlantique)	5 µg.l ⁻¹	4 µg.l ⁻¹
Eaux adjacentes aux écotypes NEA 1/26b (Mer du Nord)	7,5 µg.l ⁻¹	6 µg.l ⁻¹
Méditerranée	2 µg.l ⁻¹	1,44 µg.l ⁻¹

L'analyse de la concentration en chlorophylle a et en phaeopigments permet d'estimer la biomasse phytoplanctonique viable dans l'environnement. La « chlorophylle a **active** » (Plante-Cuny, 1974) représente la chlorophylle « vivante dans le pool de pigments » a été employée pour comparer les stations entre elles :

$$Chla_{ac} = \frac{\text{Chlorophylle}_a}{\text{Chlorophylle}_a + \text{Phéopigments}}$$

Pigments chlorophylliens



Concentrations en chlorophylle a et en phaeopigments, calcul du taux de chlorophylle a active dans les eaux des trois stations étudiées (en pointillés : limite de quantification)

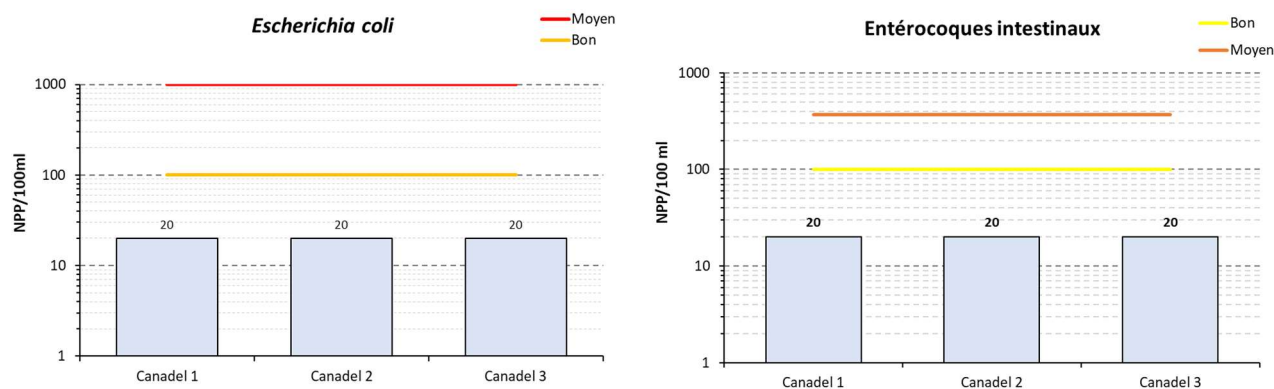
Les concentrations en chlorophylle a étaient très faibles avec un maximum à Canadel 3 égal à 0,43 µg/L. Dans les deux autres stations, les concentrations étaient inférieures à la limite de quantification du laboratoire LQ). Pour les phaeopigments, là aussi, les concentrations étaient inférieures à la LQ et ce aux trois stations.

La station Canadel 3, se distinguait des deux autres stations par la présence de biomasse végétale vivante en plus grande quantité portant l'indicateur chlorophylle a active à 0,90.

3.6.3 Qualité bactériologique

Concentration en microorganismes témoins de contamination fécale en chaque station étudiée

	Stations		
	Canadel 1	Canadel 2	Canadel 3
<i>Escherichia coli</i> (NPP/100ml)	< 40	< 40	< 40
Entérocoques intestinaux (NPP/100ml)	< 40	< 40	<40



Concentration en microorganismes témoins de contamination fécale en chaque station étudiée et comparaison aux valeurs de référence de AFSSET (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, 2007)

Aucune contamination microbiologique n'a été mise évidence.

4 Conclusions

L'ensemble des observations réalisées, des prélèvements effectués et de leurs analyses révèlent un milieu en bon état de conservation, non pollué, avec la diversité attendue pour une baie de petits fonds présentant une telle mosaïque de biocénoses marines.

4.1 Herbiers de magnoliophytes

Au Canadel, l'herbier de Posidonie est globalement en bon état de conservation avec des densités normales et un très fort recouvrement. Le taux de rhizomes plagiotropes ne traduisant pas un herbier en progression dans la limite supérieure où sont positionnées les stations, le déchaussement mesuré faible (stations sur l'herbier continu) à moyen (stations sur l'herbier en patches), les quelques surfaces de matte morte visibles autour des stations étudiées peuvent témoigner d'une faible érosion et d'une agitation parfois forte sur cette baie. L'herbier était en fleur au moment du diagnostic.

L'herbier de Cymodocée est de bonne densité. La faible hauteur de sa canopée et son taux important d'apex manquants traduisent très certainement un fort hydrodynamisme dans sa zone de très petits fonds avec une 1^{ère} tempête saisonnière ayant précédé notre intervention sur site.

4.2 Macrofaune benthique de substrats meubles

Les peuplements des deux stations présentaient des caractéristiques écologiques similaires avec la présence d'espèces caractéristiques ou associées des fonds de sables.

Les peuplements se caractérisaient par des richesses spécifiques et des densités faibles. L'état écologique selon l'Indice de Shannon était « Moyen » aux deux stations.

Les compositions faunistiques des peuplements des deux stations étaient relativement homogènes entre elles, et correspondait à l'habitat « Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC) » (III.2.2).

Le statut écologique traduit par l'AMBI et son EQR était « Très bon » à toutes les stations, permettant de conclure à une absence de perturbations sur l'ensemble de la zone d'étude.

4.3 Ichtyofaune

Lors des transects d'inventaires, 21 espèces de poissons ont été rencontrées dans la zone. Il s'agit systématiquement d'espèces typiques des petits fonds côtiers, où le peuplement du transect reflète bien l'habitat en présence. Les diversités et les biomasses sur transects sont celles attendues. Un jeune mérou brun (*Epinephelus marginatus*), espèce faisant l'objet d'un moratoire interdisant sa pêche, a été observé en marge d'un transect.

4.4 Qualité physico-chimique des sédiments

La zone d'étude a présenté un sédiment dominé par les sables [63 - 2000 µm].

Les caractéristiques physico-chimiques (granulométrie, teneur en matière organique et nutriments) étaient comparables entre les deux stations, excepté pour le phosphore, dont les teneurs étaient plus élevées à la station Canadel-1.

Aucune contamination métallique ou organique n'a été mise en évidence dans ces sédiments. Les teneurs en matière organique, en azote et en phosphore étaient faibles ou moyennes.

4.5 Qualité chimique et bactériologique des eaux

Les paramètres de l'eau n'ont pas montré de perturbation notable sans contamination microbiologique et sans risque notable d'eutrophisation.

La station Canadel 3 présentait un profil différent des autres stations avec des teneurs mesurables et/ou nettement plus élevées d'ammonium et de nitrites, et de chlorophylle a.

5 Bibliographie

Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, Valeurs seuils échantillon unique pour les eaux de baignade : étude de faisabilité méthodologique, 2007.

ANDRÉ Frédéric, PEAN Michel in : DORIS, 29/11/2022 : Echinocardium mediterraneum (Forbes, 1844), <https://doris.ffesm.fr/ref/espece/969>

Arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines et aux normes méthodologiques d'évaluation.

Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement

Bellan G., Labrune C., 2017. III.2.2 – Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC) ; in La Rivière et al., 2021. Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat éd., Paris : page 213-216.

Borja A, Franco J, Perez V., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft bottom benthos within european estuarine and coastal environments. Marine Pollution Bulletin 40: 1100–1114.

Devreker, D., et Lefebvre, A., 2018. Évaluation du descripteur 5 « Eutrophisation » en France métropolitaine. Rapport scientifique pour l'évaluation 2018 au titre de la DCSMM, 256p.

Devreker, D., et Lefebvre, A., 2023 : Evaluation du descripteur 5 (Eutrophisation) de la DCSMM en France métropolitaine - Rapport scientifique pour l'évaluation du cycle 3 au titre de la DCSMM, 390p.

La Rivière M., Michez N., Delavenne J., Andres S., Frejefond C., Janson A-L., Abadie A., Amouroux, J-M., Bellan, G., Bellan-Santini D., Chevaldonné P., Cimiterra N., Derolez V., Fernez T., Frisoni G-F., Grillas P., Harmelin J-G., Jordana E.,

Kluszczewski M., Labrune C., Mouronval J-B., Ouisse V., Palomba L., Pasqualini V., Pelaprat C., Pergent G., Sartoretto S., Thibaut T., Vacelet J., Verlaque M., 2021. Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat éd., Paris : 660 pp.

Licari ML, 1998. Mise au point d'un système d'aide à l'interprétation des données benthiques en milieu marin et lagunaire. Thèse de Doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Perpignan, 318p.

Plante-Cuny, M.R., 1974. Évaluation par spectrophotométrie des teneurs en chlorophylle "a" fonctionnelle et en phéopigments des substrats meubles marins. Office de la recherche scientifique et technique outre-mer. Documents scientifiques de la mission de l'O.R.S.T.O.M. Nosy-Be. Report number: 45p.

6 Annexes

6.1 Annexe 1 : Espèces de macrofaune benthique de substrats meubles

Liste faunistique et abondances par espèces par réplikat

Stations		Canadel-1			Canadel-2		
Réplicats		1	2	3	1	2	3
Annelida	<i>Lagis koreni</i>					3	1
	<i>Leiochone sp.</i>		1		1		
	<i>Magelona mirabilis</i>					1	
	<i>Marenzelleria sp.</i>	1	1				
	<i>Nephtys incisa</i>		1	1			1
	<i>Owenia fusiformis</i>				4	1	
	Phyllodocidae ind				1		
	<i>Scoletoma emandibulata mabiti</i>		1		2	2	
	<i>Scoloplos armiger</i>	4	4	4	2		4
	<i>Sigalion mathildae</i>	0	2		1		
Arthropoda	<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>	1					
	<i>Bathyporeia sp.</i>		1				
	<i>Bathyporeia sunnivae</i>	1		5	1	2	
	<i>Crangon crangon</i>				1		
	<i>Diogenes pugilator</i>				1	1	1
	<i>Iphinoe sp.</i>						1
	<i>Perioculodes longimanus</i>						1
	<i>Urothoe intermedia</i>				1		1
Echinodermata	<i>Amphiura chiajei</i>		1	1			
	<i>Astropecten irregularis</i>			1			
	<i>Echinocardium mediterraneum</i>	4	2	2			1
Mollusca	<i>Acanthocardia tuberculata</i>				1		

	<i>Chamelea gallina</i>	1	1	1			
	<i>Donax venustus</i>			1	2	3	1
	<i>Dosinia lupinus</i>					1	1
	<i>Fabulina fabula</i>		9	4	9	15	7
	<i>Fustiaria rubescens</i>				1		
	<i>Lucinella divaricata</i>		3		15	23	31
	<i>Mactra stultorum</i>			2			
	<i>Neverita josephina</i>	1	1				
	<i>Serratina serrata</i>						1
Nemertina	Nemertea ind			2			

Descripteurs généraux

Station	Réplicat	Richesse taxonomique (S)	Densité (ind/m²)	Équitabilité (J')	H'(log2)
Canadel-1	1	7,00	130,00	0,88	2,47
	2	13,00	280,00	0,86	3,19
	3	11,00	240,00	0,92	3,19
Canadel-2	1	15,00	430,00	0,79	3,07
	2	10,00	520,00	0,70	2,31
	3	13,00	520,00	0,60	2,22

Moyenne ± Écart-type des descripteurs généraux

	Densité (ind/m²)	Richesse spécifique (taxa/réplicat)	Équitabilité	Indice de Shannon
Canadel-1	216,67 ± 77,67	10,33 ± 3,06	0,89 ± 0,03	2,95 ± 0,41
Canadel-2	490,00 ± 51,96	12,67 ± 2,52	0,69 ± 0,09	2,53 ± 0,47