

ÉTAT DE RÉFÉRENCE SC3

SUIVI DES PEUPELEMENTS BENTHIQUES PAR PRÉLÈVEMENTS À LA BENNE (SC3BIS : ENDOFAUNE)

RAPPORT N°1

Préparé par	SETEC
Référence du suivi	SC3 endofaune
Version	2.0
Date	18/07/2024



setec
énergie environnement
setecin vivo



Informations du document

Préparé pour	EFGL
Contact	Thomas Bodron (thomas.bodron@oceanwinds.com)
Référence du document	Rapport n1_SC3bis_endofaune_V3_VF
Code & Nom du suivi	SC3 bis Endofaune - Suivi des peuplements benthiques par prélèvements à la benne

Révisions

VERSION	DATE	DESCRIPTION	AUTEURS	RELECTEUR
1.0	16/02/2024	Première édition	Lise BACOUILLARD Claire ETIENNE Raquel MARQUE	Yann PATRY
2.0	18/07/2024	Version finale	Claire ETIENNE Enora BOCHET	Yann PATRY

Coordonnées

	SIÈGE	CHEF DE PROJET
NOM	Setec énergie environnement	Yann PATRY (Chef de projet)
ADRESSE	Immeuble Central Seine 42 - 52 quai de la Rapée - CS 71230 75583 PARIS CEDEX 12 - France	ZA La Grande Halte 29940 LA FORET FOUESNANT - France
TEL.	+33 1 82 51 55 55 (Fax +33 1 82 51 55 56)	+33 6 33 20 03 79
MAIL / SITE	environnement@setec.com www.setec.com	Yann.patry@setec.com



Tables des Matières

Table des Figures	6
Liste des Tableaux.....	7
1. Introduction.....	8
2. Matériel et méthodes	9
2.1. Site d'étude	9
2.2. Stratégie d'échantillonnage	10
2.3. Paramètres mesurés et analyse des données	11
2.3.1. Acquisition des données hydrologiques	11
2.3.2. Acquisition des données sédimentaires.....	11
2.3.3. Acquisition des données faunistiques	12
2.4. Traitement des échantillons.....	12
2.4.1. Échantillons sédimentaires.....	12
2.4.1.1. Lavage avec élimination de la fraction de pélites et séchage	13
2.4.1.2. Tamisage.....	13
2.4.1.3. Pesées.....	13
2.4.2. Échantillons de la macrofaune benthique	14
2.4.2.1. Rinçage	14
2.4.2.2. Tri	14
2.4.2.3. Identification spécifique	14
2.4.2.4. Dénombrement.....	14
2.5. Analyses des données	15
2.5.1. Analyses des données sédimentaires.....	15
2.5.2. Analyses des données faunistiques	16
2.5.2.1. Structure spécifique	16
2.5.2.2. Analyses multivariées spécifiques.....	18
2.5.3. Classification des habitats en présence	19
2.5.3.1. Le référentiel national typologie NatHab : La Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique (typologie NatHab-Atl) & La Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée (NatHab-Med).....	19
2.5.3.2. La typologie EUNIS.....	21
2.5.3.3. Interprétation française des Habitats d'Intérêt Communautaire (HIC) marins.....	24
3. Résultats	26
3.1. Analyses des données hydrologiques	26
3.2. Analyses des données granulométriques	27



3.3. Analyses des données faunistiques	29
3.3.1. Richesse spécifique (S) et Abondance (A).....	29
3.3.1.1. Résultats par stations	29
3.3.1.2. Groupes taxonomiques	31
3.3.2. Indices de diversité	35
3.3.2.1. Indice de Shannon-Weaver (H') et d'Équitabilité de Pielou (E').....	35
3.3.2.2. Le modèle DIMO	36
3.3.3. Indices basés sur les groupes écologiques.....	37
3.3.3.1. L'AMBI	37
3.3.3.2. Le M-AMBI.....	39
3.3.4. Analyses multivariées spécifiques.....	40
3.3.5. Classification des peuplements benthiques.....	42
4. DISCUSSION.....	44
5. RÉFÉRENCES.....	46



Table des Figures

Figure 1 : Localisation des stations suivies : sous influence directe des éoliennes (ST01 à ST04) et à 2 km de distance la station contrôle (ST05)	9
Figure 2 : Force, direction des vents et hauteur de vague dans la région de l'étude, le 8 novembre 2023	10
Figure 3 : Benne Day lestée (source : setec énergie environnement, 2022).....	11
Figure 4 : Illustration des étapes de traitement en laboratoire : (a) séchage en étuve, (b) tamisage et (c) pesée (source : setec énergie environnement, 2022)	13
Figure 5 : Illustration du tri, identification et dénombrement au laboratoire des espèces récoltées (source : setec énergie environnement, 2022).....	15
Figure 6 : Représentation graphique du modèle DIMO (source : modifié d'après Qinghong, 1995)	18
Figure 7 : Recherche de correspondances dans les typologies d'habitats sur le site de l'INPN (source : INPN, 2022).....	19
Figure 8 : Les typologies des biocénoses benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique & de Méditerranée (source : OFB / MNHN, 2019 et 2014)	21
Figure 9 : Exemples de la hiérarchie d'EUNIS et les critères utilisés aux différents niveaux (source : Galparsoro et al., 2012).....	22
Figure 10 : EUNIS - Traduction française des habitats benthiques des Régions Atlantique et Méditerranée (source : Ifremer, 2015)	22
Figure 11 : Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS (source : OFB, 2019)	23
Figure 12 : Hiérarchie d'EUNIS dans sa version de 2022 (source : EUNIS, 2022)	24
Figure 13 : Liste des Habitats naturels d'intérêt communautaire ou HIC, considérés comme HIC marins en France métropolitaine (* = habitat prioritaire) et superpositions possibles entre HIC marins (source : de Bettignies et al., 2021)	24
Figure 14 : Comparaison des anciennes et nouvelles appellations et déclinaisons des HIC (source : de Bettignies et al., 2021).....	25
Figure 15 : Interprétation française des Habitats d'Intérêt Communautaire marins (source : de Bettignies et al., 2021).....	25
Figure 16 : Échantillons sédimentaires bruts des 5 stations	27
Figure 17 : Pourcentages des fractions granulométriques de la zone d'étude	28
Figure 18 : Diagramme de Folk pour les 5 stations	28
Figure 19 : Densité et richesse spécifique des stations d'étude.....	31
Figure 20 : Répartition de la richesse spécifique selon le groupe zoologique	32
Figure 21 : Répartition de l'abondance (0.3 m ²) selon le groupe zoologique.....	32
Figure 22 : Occurrence des espèces les plus communes sur les cinq stations.....	33
Figure 23 : Abondances des espèces dominantes sur l'ensemble des 5 stations d'étude (nb d'individus dans 0,3 m ² par station).....	34
Figure 24 : Indices de diversité de Shannon et d'Équitabilité sur les stations d'étude.....	35



Figure 25: Modèle DIMO appliqué aux stations	36
Figure 26: Répartition des groupes écologiques sur les stations d'étude et valeur moyenne de l'AMBI.....	38
Figure 27 : Valeur de l'indice AMBI et degré de perturbation.....	38
Figure 28: Histogramme des résultats du M-AMBI sur les 5 stations	40
Figure 29: Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) de la composition spécifique réalisée sur l'ensemble des stations (source : setec énergie environnement, 2024)	41
Figure 30: nMDS réalisée sur l'ensemble des stations (source : setec énergie environnement, 2024).....	41

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Coordonnées et profondeur théorique des stations (source : setec énergie environnement, 2024) ..	10
Tableau 2 : Caractéristiques de la méthode de prélèvement pour les données sédimentaires (source : setec énergie environnement, 2024).....	12
Tableau 3 : Caractéristiques de la méthode de prélèvement pour les données sédimentaires (source : setec énergie environnement, 2024).....	12
Tableau 4 : Classification granulométrique (source : modifiée d'après Wentworth, 1922).....	15
Tableau 5 : Paramètres hydrologiques mesurés le 08 novembre 2023 sur les stations ST03, ST04, et ST05.	26
Tableau 6 : Granulométrie et faciès sur les stations	27
Tableau 7 : Paramètres de richesse spécifique et d'abondance des espèces sur les répliquats des stations d'étude	29
Tableau 8 : Liste d'espèces et abondances sur les répliquats et sur les stations.....	30
Tableau 9 : Paramètres de richesse spécifique et d'abondance des espèces sur les stations d'étude.....	31
Tableau 10: Valeurs de l'indice de Shannon-Weaver et de l'Equitabilité.....	35
Tableau 11 : Valeurs de l'indice AMBI et pourcentages des groupes écologiques sur les stations	37
Tableau 12: Conditions de références pour le calcul de la valeur de M-AMBI dans les eaux côtières.....	39
Tableau 13: Valeur du M-AMBI sur des stations et valeurs de référence.....	39
Tableau 14 : Distance de dissimilarité de Bray-Curtis entre toutes les paires de stations	40
Tableau 15: Tableau récapitulatif des biocénoses des stations présentes sur les stations suivant les typologies (source : setec énergie environnement, 2024)	43

Sauf mention contraire, la source des figures/photos/tableaux du rapport est setec énergie environnement.



1. Introduction

L'État et l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) ont retenu en 2016 le projet pilote « Éoliennes flottantes du golfe du Lion » (EFGL) porté par la société LEFGL, dont les actionnaires sont Ocean Winds et la Banque des Territoires. Ce projet consiste à implanter trois éoliennes flottantes chacune fixée par un système d'ancrage composé de trois ancres et lignes d'ancrage. Ainsi, il est important de suivre l'impact potentiel de l'arrivée de ces nouvelles structures sur les différents compartiments de l'écosystème marin au fil du temps.

Dans ce cadre, un état de référence de la caractérisation des biocénoses benthiques doit être réalisé avant le début de la phase de construction, afin de pouvoir évaluer par la suite les impacts potentiels des travaux de construction, du fonctionnement du parc et de son raccordement.

Pour cela, cinq stations ont été échantillonnées afin de caractériser les habitats benthiques et les communautés de la macrofaune benthique du site d'implantation et de sa proximité. Ces stations serviront ensuite de base, afin d'évaluer les effets du projet de parc éolien dans le golfe du Lion sur les espèces marines présentes. Ce protocole standardisé, validé par le Comité de suivi technique du projet EFGL, vise à minimiser les biais d'échantillonnage et à garantir le respect du principe de continuité tout au long du processus d'acquisition des données. Ceci revêt une importance cruciale étant donné que ces suivis seront effectués sur des échelles de temps prolongées.

Ce document présente la caractérisation des biocénoses macrobenthiques dans la zone du projet. Le rapport vise à fournir une description qualitative et quantitative des habitats benthiques et des communautés de la macrofaune benthique associée dans différentes zones de la ferme pilote.

Ce rapport fournit également la description de la méthodologie, son efficacité et les exigences d'amélioration pour suivre correctement l'évolution de l'état de l'habitat benthique et de ses communautés au fil du temps du projet pilote éolien.



2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude

Le site du projet de ferme pilote EFGL est situé à une distance de 16 km au large des communes de Leucate (11) et du Barcarès (66). D'une puissance totale de 30 MW, il consiste en l'installation de trois éoliennes, espacées chacune de 800 m. La superficie de la ferme pilote est d'environ 5 km² entre 68 et 71 m de profondeur. Chaque éolienne et son flotteur seront maintenus par un système de lignes d'ancrage caténares (environ 500 m de longueur maximale), reliées au fond par 3 ancres.

Cinq stations ont été définies dans différentes zones du site de projet (**Figure 1**). Les stations S1 et S2 se situent respectivement sous le centre et sous le bord du flotteur, dans le fond à proximité immédiate du flotteur équipé de modules favorisant la biodiversité et d'une ligne d'ancrage. Les stations S3 et S4 sont positionnées de façon similaire mais sous un flotteur dépourvu de module favorisant la biodiversité. La station contrôle (S5) se situe à 2 km des flotteurs afin d'être en dehors de la zone d'influence des éoliennes.

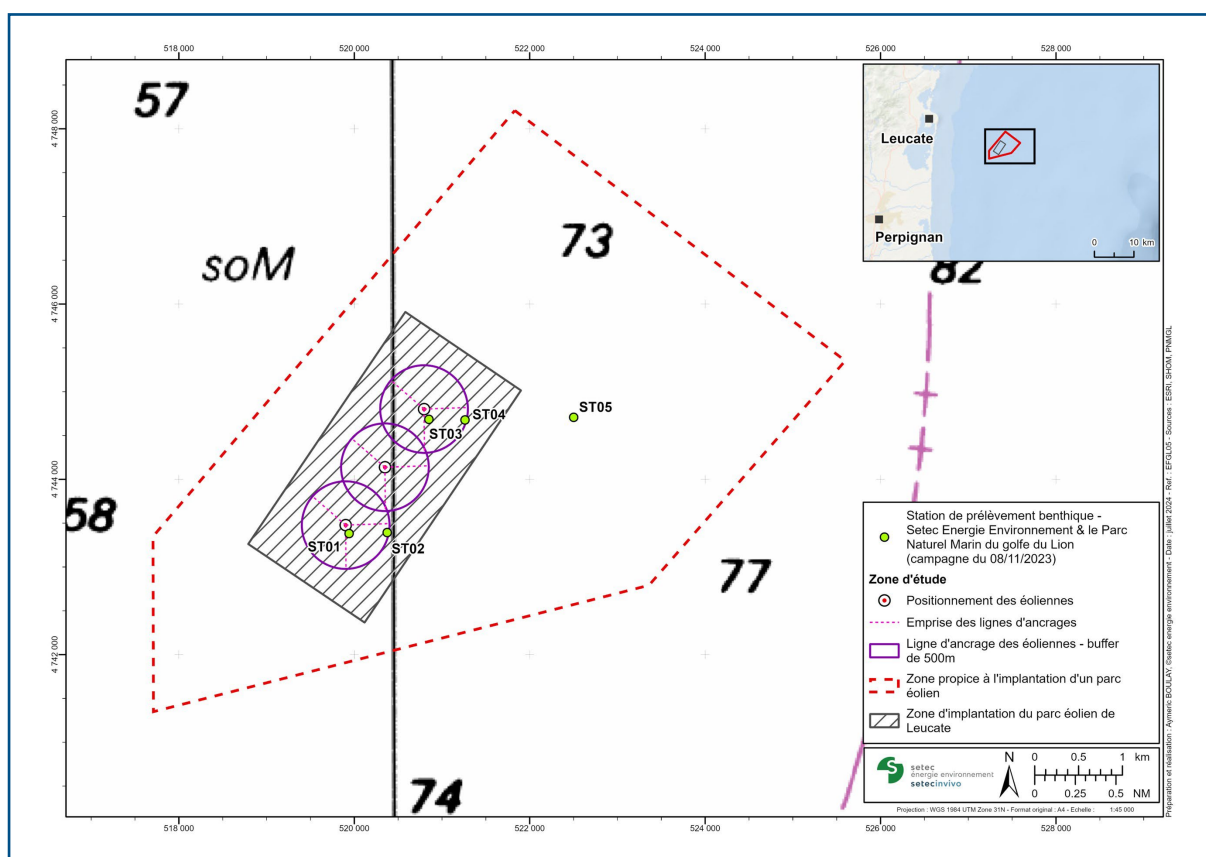


Figure 1 : Localisation des stations suivies : sous influence directe des éoliennes (ST01 à ST04) et à 2 km de distance la station contrôle (ST05)



Les coordonnées de chaque station et leur profondeur sont présentées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Coordonnées et profondeur théorique des stations (source : setec énergie environnement, 2024)

Stations	Coordonnées - WGS84		Profondeurs théoriques (m)
	LONG DD	LAT DD	
ST01	3.24403395	42.84275514	-69
ST02	3.2493386	42.84284353	-70
ST03	3.25520284	42.85445937	-71
ST04	3.2602319	42.85437793	-72
ST05	3.27540553	42.85462673	-76

2.2. Stratégie d'échantillonnage

La campagne a été réalisée à bord du navire MOBULA (12 m de long) du Parc Naturel Marin du golfe du Lion. Ce navire présente l'équipement nécessaire en termes de navigation, de sécurité et d'équipements techniques pour la réalisation de la mission.

La campagne en mer a été effectuée le 08 novembre 2023. L'embarquement et le débarquement ont eu lieu dans le port de Port-la-Nouvelle et les conditions de la mer étaient calmes, avec des vents inférieurs à 17 nœuds et des vagues inférieures à 1 mètre (**Figure 2**).

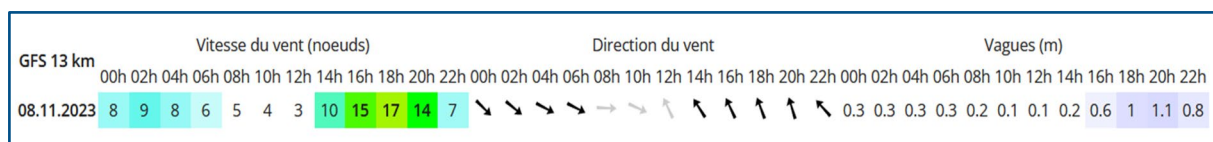


Figure 2 : Force, direction des vents et hauteur de vague dans la région de l'étude, le 8 novembre 2023

À chaque station, 4 prélèvements ont été effectués à l'aide d'une benne Van Veen (surface 0,1 m²). Un prélèvement était dédié à l'analyse de la granulométrie et trois autres dédiés à l'analyse des peuplements benthiques. Pour ces derniers, le contenu de la benne a été tamisé sur un tamis de 1 mm de vide de maille et fixé/préserver dans l'éthanol 90 %.



2.3. Paramètres mesurés et analyse des données

Le protocole de prélèvement des échantillons est issu du document de référence de la Directive Cadre Environnement (DCE) ([Grall et al., 2014](#)) qui s'appuie lui-même sur les documents du REBENT ([Grall et Hily 2003](#)) et de la norme NF EN ISO 16665 (Norme NF en ISO 16665:2014).

2.3.1. Acquisition des données hydrologiques

Afin de rendre compte des conditions physicochimiques observées au moment de l'échantillonnage, les paramètres hydrologiques de température, de salinité et d'oxygène dissous de la colonne d'eau ont été relevés à l'aide d'une sonde CTD sur 3 des 5 stations à une profondeur maximum de 50 m (limite d'immersion de la sonde).

2.3.2. Acquisition des données sédimentaires

Les prélèvements sur l'ensemble des 5 stations ont été réalisés au moyen d'une benne Van Veen dont la surface unitaire est de 0.1 m² (**Figure 3**). La benne de prélèvement pénètre de 20 à 30 cm environ dans le sédiment. Selon la DCE, un prélèvement est correct si la benne contient au moins 5 litres de sédiment de sable ou 10 litres de vase, la qualité du prélèvement ayant été évaluée à chaque benne.



Figure 3 : Benne Day lestée (source : setec énergie environnement, 2022)

Une fois la benne remontée, les sédiments ont été directement déversés dans des contenants étanches étiquetés pour être conservés jusqu'à leur traitement en laboratoire.



Tableau 2 : Caractéristiques de la méthode de prélèvement pour les données sédimentaires
(source : setec énergie environnement, 2024)

ENGIN	NOMBRE DE PRÉLÈVEMENT PAR STATION	SURFACE UNITAIRE	SURFACE TOTALE
Benne Van Veen	1	0.1 m ²	0.1 m ²

2.3.3. Acquisition des données faunistiques

Les échantillons destinés aux analyses faunistiques ont fait l'objet de prélèvements complémentaires et indépendants de ceux destinés aux analyses sédimentaires. L'acquisition des données faunistiques de macrofaune benthique s'est effectuée grâce à trois prélèvements par station à la benne Van Veen lestée (e.g. 3 répliques de 0.1 m²), soit une surface totale de 0.3 m².

Les bennes normées permettent la réplicabilité de la méthode dans l'espace et dans le temps. Cela confère à cette méthode un intérêt tout particulier dans le cadre de comparaison de données dans le temps pour un suivi environnemental. Les données récoltées peuvent ainsi être comparées entre elles, avec les données de l'état de référence ou avec les données temporelles issues de campagnes précédentes ou de la bibliographie.

Les échantillons de sédiment récoltés ont été directement tamisés sur le pont du bateau sur un tamis de maille de 1 mm. Cette taille permet de ne sélectionner que la macrofaune du sédiment (conformément à la norme ISO 16665 et aux protocoles REBENT et DCE). Les organismes vivants et le refus minéral du tamis ont été récupérés et conservés dans de l'éthanol à 90° dans des contenants étanches en plastique étiquetés jusqu'à leur traitement en laboratoire par setec énergie environnement.

Tableau 3 : Caractéristiques de la méthode de prélèvement pour les données sédimentaires
(source : setec énergie environnement, 2024)

ENGIN	NOMBRE DE PRÉLÈVEMENT PAR STATION	SURFACE UNITAIRE	SURFACE TOTALE
Benne Van Veen	3	0.1 m ²	0.3 m ²

2.4. Traitement des échantillons

Le protocole de traitement des échantillons est également issu du document de référence de la DCE qui s'appuie lui-même sur les documents du REBENT et de la norme NF EN ISO 16665.

2.4.1. Échantillons sédimentaires

La granulométrie est la mesure de la taille des grains d'un sédiment et l'étude de leur répartition au sein de l'échantillon selon des intervalles prédéfinis. Les résultats d'analyse permettent de déduire les principaux indices granulométriques caractérisant le sédiment (mode, médiane, indices de répartition).



2.4.1.1. Lavage avec élimination de la fraction de pélites et séchage

Au laboratoire, l'échantillon brut a dans un premier temps été photographié.

Les échantillons vaseux ont été tamisés sous l'eau sur un tamis de vide de maille de 63 μm afin de recueillir la fraction fine qui est mise à décanter et qui, si elle n'était pas séparée de l'échantillon, formerait des agglomérats et ne pourrait être quantifiée. Au bout de 24h, une fois le sédiment décanté, l'eau a été siphonnée avec précaution. Après cette étape, le passant et le refus de tamis ont tous deux été mis à l'étuve à 60 °C pendant 48 h.

2.4.1.2. Tamisage

Après séchage, l'échantillon a été tamisé sur colonne de tamis. Les tamis que nous avons utilisés sont les suivants :

63 μm , 125 μm , 250 μm , 315 μm , 500 μm , 1 mm, 1.25 mm, 2 mm, 4 mm, 5 mm, 6.3 mm, et 10 mm.

La tamiseuse a été programmée pour 10 à 15 minutes de vibrations à une fréquence de 2000 vibrations/sec.

2.4.1.3. Pesées

Chaque refus de tamis correspondant à une fraction granulométrique a été vidé au mieux avec un pinceau doux sans forcer sur le maillage dans un petit récipient.

La fraction a été pesée dans le récipient (dont le poids a été retranché au préalable), à température ambiante au centième de gramme à l'aide de balances de précision. Les résultats ont alors été reportés immédiatement dans le calepin de laboratoire prévu à cet effet.

Enfin, la fraction granulométrique a été photographiée avec une étiquette d'identification et conservée dans un petit sachet plastique avec le reste de l'échantillon.



Figure 4 : Illustration des étapes de traitement en laboratoire : (a) séchage en étuve, (b) tamisage et (c) pesée
(source : setec énergie environnement, 2022)



2.4.2. Échantillons de la macrofaune benthique

Les échantillons ont été triés, identifiés jusqu'au niveau taxonomique le plus bas et comptés (chaque tête uniquement). L'identification finale a été inter-calibrée entre les experts taxonomique et les noms d'espèces ont été vérifiés et mis à jour sur le site WoRMS (World Register of Marine Species ; WoRMS editorial board, 2024) qui constitue la base de données de référence mondiale des espèces marines.

2.4.2.1. Rinçage

Au laboratoire, chaque échantillon conservé dans l'éthanol a été rincé à l'eau douce. Les refus d'éthanol ont été filtrés et récupérés dans des bidons spécifiques et seront retraités par une entreprise spécialisée.

2.4.2.2. Tri

Chaque échantillon a été trié à l'aide de pinces sous hotte aspirante afin de sélectionner la faune parmi les débris et particules sédimentaires (éventuellement végétales). Les organismes récoltés ont été subdivisés selon leur embranchement (*Annelida*, *Echinodermata*, *Arthropoda*, *Mollusca*, etc.) et conservés dans des piluliers contenant de l'éthanol à 70°.

2.4.2.3. Identification spécifique

Les organismes ont été identifiés sous loupe binoculaire et/ou microscope dans le laboratoire de Setec à La Forêt-Fouesnant, jusqu'à l'espèce ou, lorsque ce n'est pas possible (animaux abimés lors des prélèvements ou de la conservation), à un rang taxonomique le plus précis possible.

Des exceptions ont pu être faites pour les individus des groupes suivants : Echiura, Hemichordata, Hydrozoa, Insecta, Nemertea, Oligochaeta, Phoronida, Platyhelminthes et Priapulida.

La validité de chaque nom d'espèce est vérifiée sur le World Register of Marine Species (WoRMS) ou TAXREF.

2.4.2.4. Dénombrement

En règle générale, le dénombrement s'est fait sur le comptage des têtes, de la partie postérieure de l'animal si l'identification se base sur cette portion de l'individu, ou des disques centraux pour les échinodermes.

Si la tête est manquante, mais que la présence de plusieurs parties de l'animal autorisant l'identification est observée sans toutefois permettre un dénombrement, l'individu a alors été comptabilisé pour signaler sa présence.





Figure 5 : Illustration du tri, identification et dénombrement au laboratoire des espèces récoltées
(source : setec énergie environnement, 2022)

2.5. Analyses des données

2.5.1. Analyses des données sédimentaires

La classification granulométrique utilisé est modifiée d'après [Wentworth \(1922\)](#) et présentée dans le **Tableau 4**.

Tableau 4 : Classification granulométrique (source : modifiée d'après Wentworth, 1922)

COULEUR	CLASSE	DIAMÈTRE DES GRAINS (μm)
	Limon / Argiles	(< 63 μm)
	Sable très fin	(63 - 125 μm)
	Sable fin	(125 - 250 μm)
	Sable moyen	(250 - 500 μm)
	Sable grossier	(500 μm - 1 mm)
	Sable très grossier	(1 - 2 mm)
	Gravillon / granules	(2 - 4 mm)
	Cailloux / graviers	(> 4 mm)

Les masses pesées au laboratoire ont été saisies sur Excel, une macro permettant de mettre en forme graphiquement les résultats, sous forme de courbes de fréquences et de courbes cumulatives, à partir desquelles un certain nombre de paramètres texturaux ont été définis et calculés.



Les principaux paramètres qui ont été calculés sont les suivants :

- Le mode correspondant à la classe granulométrique dominante (la mieux représentée). Lorsqu'un échantillon est constitué d'un mélange de deux ou plusieurs stocks sédimentaires, la courbe de fréquence est alors bi- ou polymodale (deux ou plusieurs « pics » apparaissent sur la courbe) ;
- La médiane correspondant, sur la courbe cumulative, à la valeur du diamètre D pour une ordonnée de 50 %. D'un point de vue granulométrique, l'échantillon comporte pondéralement autant de sédiments de diamètre supérieur à la médiane que de sédiments de diamètre inférieur à celle-ci ;
- Le Sorting index ou écart-type "*Graphic Standard Deviation*" correspondant à l'indice de classement de l'échantillon. Le classement est d'autant mieux que l'indice est faible.

Dans le rapport, les résultats seront présentés comme suit :

- Le mode et la médiane ;
- La photographie des sédiments : photographies de l'échantillon brut in situ et au laboratoire ;
- La situation de l'échantillon sur le Diagramme de Folk ;
- Les proportions de classes de sédiments d'après Wentworth modifiées sous forme d'histogramme ;
- Des observations particulières en commentaires.

2.5.2. Analyses des données faunistiques

L'exploitation des données benthiques acquises au cours de l'étude s'appuie sur :

- La structure spécifique des peuplements (abondance, densité, richesse spécifique selon les groupes zoologiques, indices de diversité spécifique, etc.) ;
- Les analyses multivariées spécifiques ;
- La caractérisation de l'état général de ces peuplements ;
- Les habitats en présence.

2.5.2.1. Structure spécifique

Richesse spécifique et abondance

La richesse spécifique (S) se définit comme le nombre d'espèces recensées à une échelle d'espace déterminée. Dans le cas présent, elle correspond au nombre d'espèces récoltées dans chaque station par cumul des espèces recensées dans les répliques de chaque station.

L'abondance correspond au nombre d'individus recensés par station (ici pour 0.5 m²). On parle de densité quand elle s'exprime par unité de surface de 1 m² (individus / m²).

Une courbe d'accumulation a été réalisée avec 999 permutations ce qui permet d'avoir une idée de l'effort d'échantillonnage à l'échelle de la diversité gamma, c'est à dire la diversité cumulée de plusieurs stations dans une zone donnée ([Whittaker 1960](#)).



Indices de diversité spécifique

À chaque station, la diversité alpha ou diversité locale, c'est à dire la diversité au niveau d'une station ([Whittaker 1960](#)), a été caractérisée grâce au calcul de différents indices de diversité.

Tout en constituant un élément essentiel de la description de la structure d'un peuplement, la richesse spécifique ne suffit pas toujours à la caractériser de manière optimale. En effet, l'abondance relative des espèces intervient aussi, car seule une faible proportion des espèces est réellement dominante.

Il s'avère nécessaire de combiner la richesse spécifique et l'équitabilité des abondances relatives des espèces afin de résumer l'information de diversité alpha dans un indice. De nombreux indices qui dérivent de « la théorie de l'information » et de « l'entropie du système » ont été proposés et nous présentons ci-après ceux utilisés dans cette étude.

Indice de Shannon-Weaver

L'indice de Shannon-Weaver (H') représente la quantité moyenne d'information fournie par les espèces et renseigne sur l'hétérogénéité de la structure d'une communauté ([Shannon et Weaver 1963](#)). Son calcul a été réalisé à partir de la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^{i=S} p_i \log_2(p_i)$$

où p_i représente l'abondance proportionnelle de l'espèce de rang i et est compris entre 0 et 1 : $p_i = \frac{n_i}{N}$;

S la richesse spécifique ; n_i le nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ; N le nombre total d'individus.

H' est toujours positif ou égal à 0 lorsqu'il n'y a qu'une seule espèce présente dans l'échantillon. Il est maximal lorsque toutes les espèces sont également distribuées ($H'_{max} = \log_2(S)$). Bien que H' augmente lorsque le nombre d'espèces augmente, il est sensible aux espèces rares. Il est donc particulièrement sensible à l'effort d'échantillonnage et doit donc être comparé entre études avec le même plan d'échantillonnage et les mêmes peuplements.

Indice d'équitabilité de Pielou

L'équitabilité de Pielou (E') permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces ([Pielou 1966](#)). Son calcul a été réalisé à partir de la formule suivante :

$$E' = \frac{H'}{H'_{max}} = \frac{H'}{\log_2(S)}$$

où H' représente l'indice de Shannon-Weaver ; H'_{max} la valeur maximale de l'indice de Shannon-Weaver ;

S la richesse spécifique

E' varie entre 0 et 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par le même nombre d'individus. Il est considéré que l'équitabilité du peuplement d'un milieu non-perturbé tend vers 1.



Modèle DIMO

Le modèle DIMO (DIversity MOnitoring) permet la visualisation de la richesse spécifique ($\log_2(S)$), de l'indice de Shannon-Weaver (H') et de l'équitabilité (E') sur un même plan, dans le but d'analyser la structure des peuplements ([Qinghong 1995](#)). Ce graphique comporte comme axes H' et $\log_2 S$, l'équitabilité étant représentée par l'angle à la diagonale (α) (**Figure 6** modifiée d'après [Qinghong, 1995](#)).

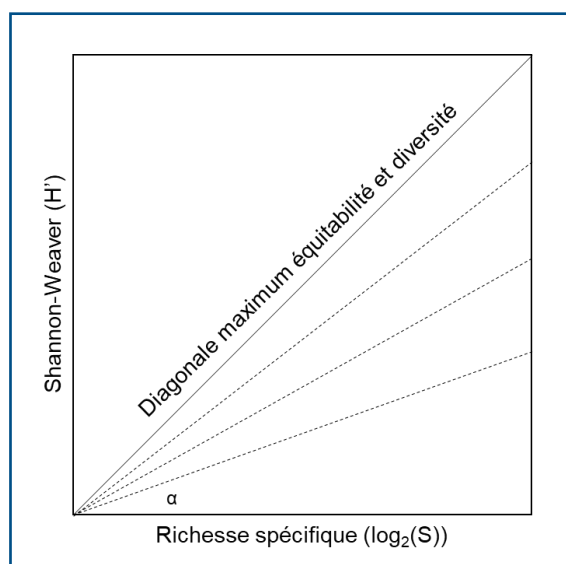


Figure 6: Représentation graphique du modèle DIMO (source : modifié d'après [Qinghong, 1995](#))

2.5.2.2. Analyses multivariées spécifiques

Pour analyser la diversité beta, c'est-à-dire le degré de changement dans la composition spécifique entre stations ([Whittaker 1960](#)), différentes analyses de regroupement ou d'ordination peuvent être réalisées. Ces analyses ont été effectuées à partir d'une matrice de distances construite avec l'indice de similarité de Bray-Curtis communément utilisé pour des données d'abondances d'espèces ([Field, Clarke, et Warwick 1982](#)). Les données ont tout d'abord été transformées en $\log_{10}(x+1)$ afin de réduire la contribution des espèces les plus abondantes.

Analyses de regroupement

Les analyses de regroupement permettent de mettre en évidence les regroupements naturels des échantillons et de visualiser la structure de la communauté à l'aide d'un dendrogramme. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) avec la méthode d'agrégation « Group average linkage » (UPGMA) a été réalisée permettant le regroupement des stations selon leur composition faunistique (richesse spécifique et densités). Les stations au sein d'un même groupe/assemblage sont considérées plus similaires entre elles d'un point de vue faunistique que les stations entre groupes/assemblages différents ([Borcard et al., 2018](#)).



Analyses d'ordination

Les analyses d'ordination permettent de construire une « carte » des stations dans un nombre réduit de dimensions à partir de leur composition faunistique (richesse spécifique et densités). Une analyse de positionnement multidimensionnel non métrique (nMDS) a été réalisée sur les stations [\[Borcard et al., 2018\]](#). Plus deux stations sont proches, plus elles sont semblables. Un indice de stress permet de quantifier la qualité de la représentation.

2.5.3. Classification des habitats en présence

Afin de faciliter la gestion des données sur les habitats naturels et les végétations dans les systèmes d'information sur la nature, le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) rend disponible le référentiel national des habitats HabRef sous forme informatique sur son site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN).

Une fois la recherche effectuée pour les habitats benthiques étudiés au sein de l'étude, une correspondance peut être effectuée dans HabRef. En réalisant les correspondances entre les habitats marins des différentes typologies, l'information et les travaux effectués dans leurs programmes respectifs deviennent accessibles et mutualisables.

Chaque typologie contenue dans HabRef est également téléchargeable séparément, tout comme chacune des tables de correspondances.



Figure 7 : Recherche de correspondances dans les typologies d'habitats sur le site de l'INPN
(source : INPN, 2022)

2.5.3.1. Le référentiel national typologie NatHab : La Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique (typologie NatHab-Atl) & La Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée (NatHab-Med)

Il existe deux typologies nationales pour les habitats marins benthiques métropolitains : une relative aux biocénoses de Méditerranée (NatHab-Med) et l'autre concernant les habitats de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique (NatHab-Atl). Elles ont été établies en synthétisant les typologies existantes (régionales, nationales et internationales) et en les complétant par les connaissances



nouvellement acquises. Ces typologies définissent un langage commun facilitant la mise en œuvre des politiques publiques de conservation et permettent d'inventorier les habitats marins présents en France métropolitaine. Leur utilisation est préconisée pour l'ensemble des programmes ayant trait à la conservation des habitats marins à l'échelle nationale. Elles servent également de support pour établir le point de vue français ainsi que les propositions de modifications et d'ajouts au référentiel européen des habitats EUNIS (pour le domaine marin).

La première version de la typologie des biocénoses benthiques des habitats de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique (NatHab-Atl), parue en 2013 (rapport explicatif Michez *et al.*, 2013), était intégralement basée sur la proposition de typologie du REBENT (Guillaumont *et al.*, 2008 et Bajjouk *et al.*, 2011) à laquelle des habitats identifiés dans la bibliographie ou émanant de la communauté scientifique avaient été intégrés ainsi que certains habitats de la classification EUNIS (2008). Elle contenait 458 unités réparties en 7 niveaux.

Suite à l'acquisition de nouvelles informations sur les habitats marins benthiques, une mise à jour de la typologie était nécessaire pour qu'elle soit le reflet des connaissances actuelles et a abouti à une deuxième version parue en 2015 (rapport explicatif Michez *et al.*, 2015). Elle incluait 565 unités réparties en 6 niveaux.

La version actuelle, la version 3, est parue en 2019 (rapport explicatif Michez *et al.*, 2019). Elle comporte 664 unités hiérarchisées selon 5 niveaux. Par rapport à la version 2, le premier niveau hiérarchique a entièrement été modifié par souci de cohérence avec la mise à jour d'EUNIS. Il se compose de 28 unités qui sont des combinaisons d'un étage et d'un type de substrat (par exemple les roches infralittorales). De nouveaux habitats ont été ajoutés, la codification a été totalement revisitée et la terminologie a été homogénéisée.

La collaboration de nombreux experts benthologues a été primordiale pour l'établissement et la consolidation de ce référentiel.

NatHab-Atl : 108 fiches descriptives pour les unités de niveau 2 sont disponibles pour la Manche, la Mer du Nord et l'Atlantique ([La Riviere et al., 2022](#)). Certaines informations descriptives sont également disponibles pour 314 unités de niveaux 3 ou 4.

Depuis la version 3 de la typologie, 1 unité a été supprimée et des libellés ont été modifiés. Une liste des espèces caractéristiques et une liste des espèces associées sont fournies sous forme de tableur XLS pour pouvoir être plus facilement manipulées en base de données. Les groupes taxonomiques et le caractère patrimonial et/ou réglementaire des espèces y sont précisés. Certaines espèces caractéristiques d'un sous-habitat (niveau 3 à 5) qui ne sont pas caractéristiques de l'habitat parent (niveau 2) sont renseignées.





Figure 8 : Les typologies des biocénoses benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique & de Méditerranée (source : OFB / MNHN, 2019 et 2014)

Ce référentiel national définit un langage commun facilitant la mise en œuvre des politiques publiques de conservation et permet d'inventorier les habitats présents en France métropolitaine. Son utilisation est préconisée pour l'ensemble des programmes ayant attrait à la conservation des habitats marins à l'échelle nationale.

Il sert également de support pour établir le point de vue français sur cette thématique ainsi que les propositions de modifications et d'ajouts au référentiel européen des habitats EUNIS.

2.5.3.2. La typologie EUNIS

La typologie EUNIS (European Nature Information System), référence européenne de classification des habitats pour les domaines terrestres, dulçaquicoles et marins, repose sur un classement hiérarchique des habitats permettant, pour le domaine marin, d'accéder à des niveaux de précision allant de la simple distinction entre les types rocheux ou meuble (niveau 2), intégrant d'une part, le mode d'exposition et le type de substrat (niveau 3), puis, d'autre part, la notion de groupement fonctionnel d'habitats (niveau 4), jusqu'à l'identification précise des peuplements benthiques définis par la présence d'espèces dominantes ou de groupes d'espèces caractéristiques (niveaux 5 et 6).

Concernant le substrat, la détermination des différents types de sédiments est basée sur des caractéristiques granulométriques. La classification granulométrique et sédimentaire la plus souvent utilisée est celle de [Wentworth \(1922\)](#) et Folk (1954).

Fondée sur les travaux des Anglo-saxons, la typologie EUNIS subit encore des évolutions au fur et à mesure de sa mise en application. Toutefois, en accord avec le programme MESH (Mapping European Seabed Habitats), le Réseau Benthique (REBENT), la version retenue dans cette étude, pour la détermination des habitats benthiques, est la version EUNIS de 2007 révisée en 2012. L'intérêt d'utiliser EUNIS réside dans la possibilité de comparer les habitats au niveau européen et de faciliter la mise en œuvre de directives européennes telles que la Directive Habitats et son outil opérationnel Natura 2000.



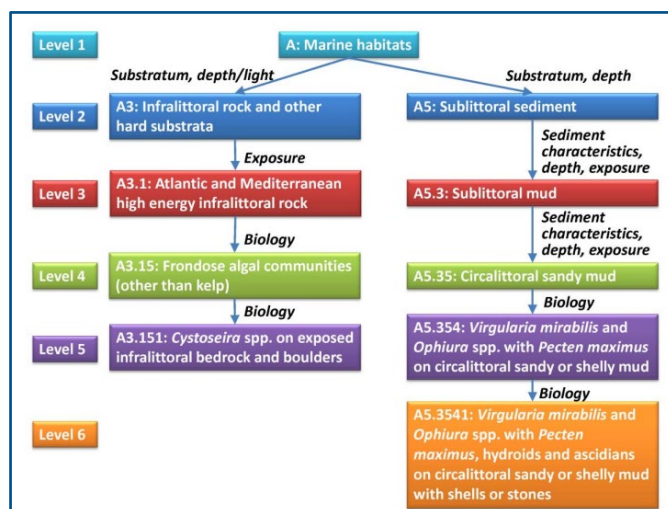


Figure 9 : Exemples de la hiérarchie d'EUNIS et les critères utilisés aux différents niveaux
(source : Galparsoro et al., 2012)

Afin de faciliter l'appropriation de cette typologie par les acteurs concernés (scientifiques, gestionnaires ou bureaux d'études) et favoriser les échanges de connaissance sur la biodiversité des habitats benthiques en cohérence avec ce standard, deux documents ont été publiés en 2015. Ces documents sont une traduction française qui transcrit au mieux les descriptions d'habitats de la classification EUNIS.

Il s'agit dans ces documents, du dictionnaire de la typologie EUNIS dans sa version 2007, revue en 2012 pour des modifications des codes de la classification paléarctique et ceux de la classification des habitats marins de la Grande-Bretagne. À noter que cette description reste identique pour les habitats communs à la version 2004, largement utilisée comme typologie de référence, notamment pour la cartographie d'habitats dans le cadre du REBENT. Seuls les habitats benthiques présents ou potentiellement présents en France ont été traduits. La présence en France a été déterminée par consultation des experts du domaine ainsi que des documents de référence (référentiel national, descriptifs EUNIS, Barcelone, cartes historiques).



Figure 10 : EUNIS - Traduction française des habitats benthiques des Régions Atlantique et Méditerranéenne
(source : Ifremer, 2015)



En janvier 2019, est paru également un guide intitulé « GUIDE de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS ».

Ce guide est un outil d'accompagnement à l'identification des habitats avec la typologie EUNIS.

Il permet de mieux appréhender cette typologie d'habitat et d'améliorer la rigueur et la reproductibilité des interprétations et identifications réalisées sur le terrain comme préalable aux inventaires, cartographies et suivis. À terme, cela permet d'entrevoir une bancarisation plus efficace des informations sur la distribution des habitats.

Sont proposés :

- une présentation de la typologie EUNIS (Partie A) ;
- des clefs de détermination pour identifier les grands types d'habitats jusqu'au niveau 3 d'EUNIS ; ce qui est le plus souvent possible à toute période de l'année sans relevé floristique (Partie B) ;
- des descriptions illustrées pour vérifier l'identification réalisée (Partie C) ;
- en complément, les habitats qui peuvent représenter des objectifs particuliers de conservation (Annexe).

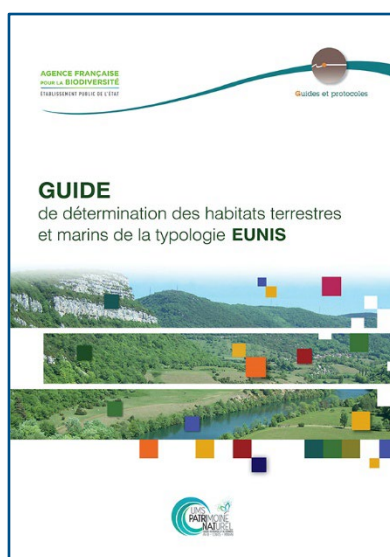


Figure 11 : Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS (source : OFB, 2019)

Une révision de la classification EUNIS des habitats marins a donc été publiée en 2019. À partir de juin 2021, la classification a été complétée par connexions vers l'annexe I de la directive Habitats et vers la liste rouge européenne des habitats. Une version mise à jour a été publiée en mars 2022. La codification des habitats s'en trouve complètement changée.



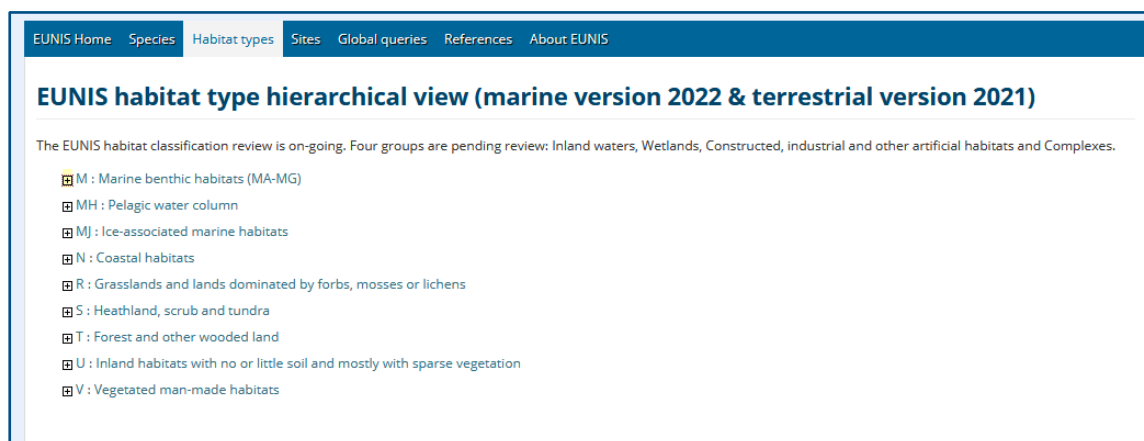


Figure 12 : Hiérarchie d'EUNIS dans sa version de 2022 (source : EUNIS, 2022)

2.5.3.3. Interprétation française des Habitats d'Intérêt Communautaire (HIC) marins

La Directive « Habitats-Faune-Flore » (DHFF, 92/43/CEE) liste dans son Annexe I les types d'Habitats naturels d'Intérêt Communautaire (HIC) dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation (ZSC). Cette annexe étant limitée aux codes et intitulés de ces habitats, la Commission européenne a publié un manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne (European Commission, 2013) qui constitue la référence au niveau européen pour la définition des Habitats d'Intérêt Communautaire, communément désignée « EUR 28 ».

Parmi les HIC, on distingue les habitats prioritaires définis comme habitats naturels en danger de disparition vis-à-vis desquels la Communauté européenne porte une responsabilité particulière pour leur conservation, compte tenu de l'importance de leur aire de répartition naturelle dans le territoire européen. Ces types d'habitats prioritaires sont indiqués par un astérisque (*) à l'Annexe I de la DHFF. En France métropolitaine, on dénombre et considère neuf HIC « marins » (**Figure 13**).

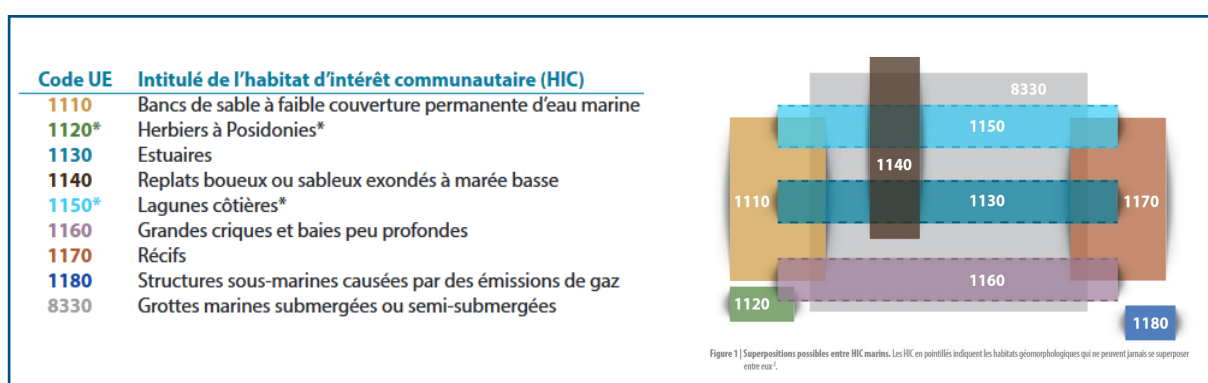


Figure 13 : Liste des Habitats naturels d'intérêt communautaire ou HIC, considérés comme HIC marins en France métropolitaine (* = habitat prioritaire) et superpositions possibles entre HIC marins (source : De Bettignies *et al*, 2021)



Plusieurs HIC marins peuvent se superposer ou se chevaucher, c'est-à-dire qu'une zone sur le terrain peut correspondre à plusieurs HIC. La superposition (ou « chevauchement ») est ici entendue comme la possibilité de rencontrer plusieurs HIC différents au même endroit, et non comme la superposition de couches géomatiques pouvant correspondre à un biais de représentation selon un plan (**Figure 13**).

Pour les habitats marins, les Cahiers d'habitats Natura 2000 – Tome 2 Habitats côtiers (Bensettiti *et al.*, 2004) constituaient jusqu'à maintenant la déclinaison française des HIC définis au niveau européen et faisaient référence au niveau national pour la gestion des sites Natura 2000 en mer. Les neuf HIC marins, appelés aussi « habitats génériques », y étaient déclinés en 45 habitats dits « habitats élémentaires » (ou « habitats déclinés »). Initialement, les habitats élémentaires ont été déclinés pour mieux définir des unités présentant des enjeux de conservation et de gestion particuliers au sein des HIC, mais toute la gamme de variabilité possible d'un HIC n'a pas été déclinée en habitats élémentaires. En conséquence, une zone peut correspondre à un HIC (EUR 28) sans correspondre à une unité d'habitat élémentaire 3 (Bensettiti *et al.*, 2004) et les Cahiers d'habitats côtiers présentent à ce titre des lacunes de complétude importantes.

Certaines zones pouvant correspondre à des HIC pourraient ne pas avoir été identifiées comme telles, lorsqu'aucun habitat élémentaire correspondant n'a été décliné. La dernière mise à jour du CT88 préconise désormais l'utilisation des typologies nationales.

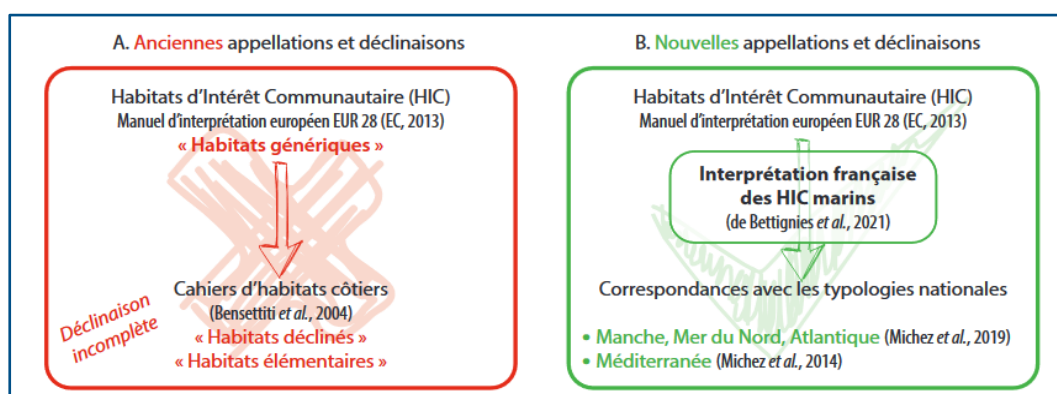


Figure 14 : Comparaison des anciennes et nouvelles appellations et déclinaisons des HIC
(source : De Bettignies *et al.*, 2021)



Figure 15 : Interprétation française
des Habitats d'Intérêt Communautaire marins
(source : De Bettignies *et al.*, 2021)



3. Résultats

3.1. Analyses des données hydrologiques

Le tableau ci-dessous présente les paramètres hydrologiques (température, salinité, turbidité, oxygène, pH et fluorescence) mesurés le jour des prélèvements à la benne au droit de 3 points de prélèvement de la faune benthique, à mi-profondeur (27.45 m).

Les trois points de mesure présentent tous des données physico-chimiques similaires pour les six paramètres mesurés (température, salinité, oxygène dissous, pH et fluorescence), indiquant ainsi une homogénéité spatiale de ces paramètres.

Tableau 5 : Paramètres hydrologiques mesurés le 08 novembre 2023 sur les stations ST03, ST04, et ST05.

STATION	PROFONDEUR	TEMPÉRATURE (°C)	SALINITÉ (G/L)	TURBIDITÉ 0-125 NTU (NTU)	OXYGÈNE (MGL)	PH	FLUORESCENCE (μGL)
ST03	Mi-profondeur (27 m)	16.7 (+/- 0.05)	38.00 (+/- 0.03)	0	9.5 (+/- 0.03)	8.4 (+/- 0.01)	9.7 (+/- 0.5)
ST04	Mi-profondeur (27 m)	16.8 (+/- 0.1)	38.05 (+/- 0.05)	0.0087 (+/- 0.02)	9.5 (+/- 0.09)	8.5 (+/- 0.01)	9.8 (+/- 1)
ST05	Mi-profondeur (27 m)	16.8 (+/- 0.1)	38.05 (+/- 0.05)	0.0063 (+/- 0.02)	9.5 (+/- 0.09)	8.5 (+/- 0.02)	9.6 (+/- 1)



3.2. Analyses des données granulométriques

Les photos ci-dessous représentent le sédiment brut des prélèvements des 5 stations. La couleur est variable selon l'échantillon en fonction de son oxydation et de son état de conservation.

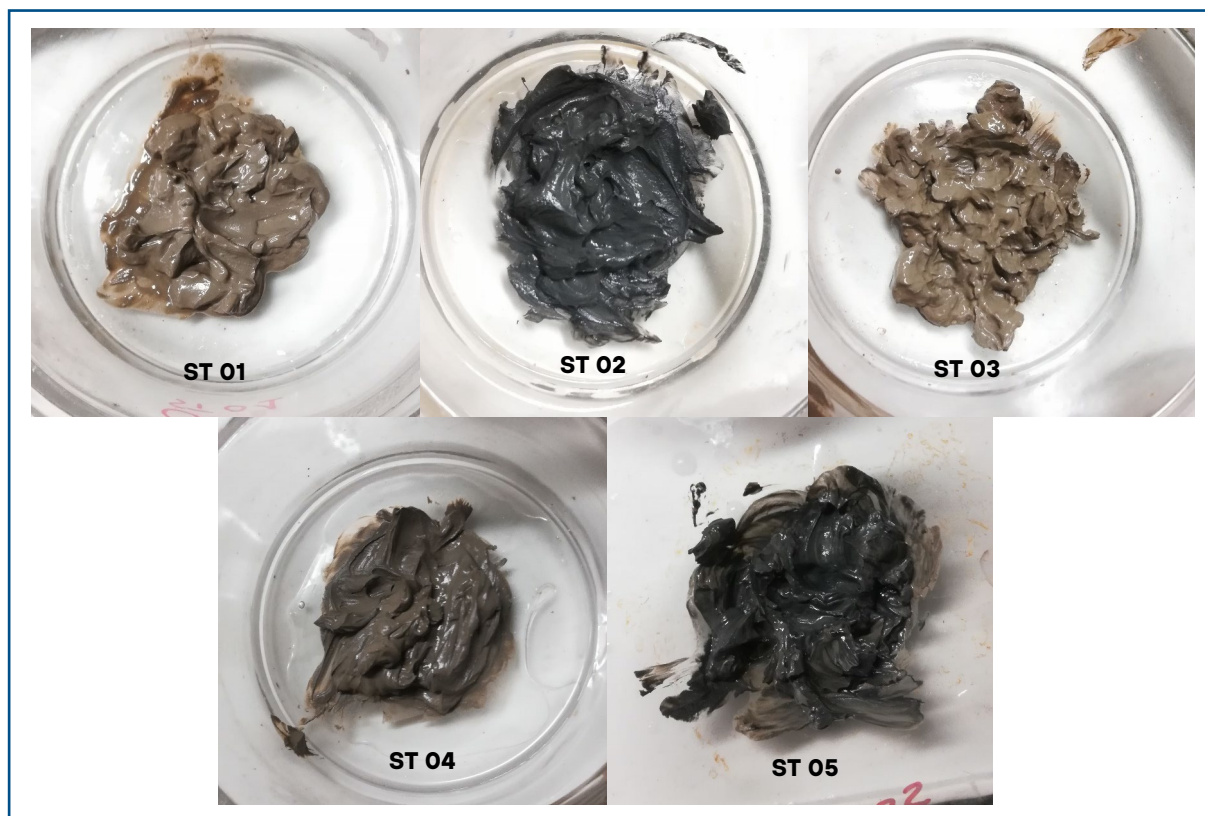


Figure 16 : Échantillons sédimentaires bruts des 5 stations

L'analyse qualitative des échantillons sédimentaires au droit des stations de prélèvements biologiques montre qu'ils sont de composition vaseuse, avec une fraction sableuse quasi nulle.

Tableau 6 : Granulométrie et faciès sur les stations

ÉCHANTILLONS	MODE (μ M)	MÉDIANE (μ M)	FRACTION FINE (%)	FACIÈS
ST01	Fines < 63 μ m	<63 μ m	99.0	LIMONS / ARGILES
ST02	Fines < 63 μ m	<63 μ m	98.0	LIMONS / ARGILES
ST03	Fines < 63 μ m	<63 μ m	99.0	LIMONS / ARGILES
ST04	Fines < 63 μ m	<63 μ m	99.0	LIMONS / ARGILES
ST05	Fines < 63 μ m	<63 μ m	99.0	LIMONS / ARGILES

Le graphe ci-après illustre la composition granulométrique d'échantillons prélevés sur la zone d'étude :

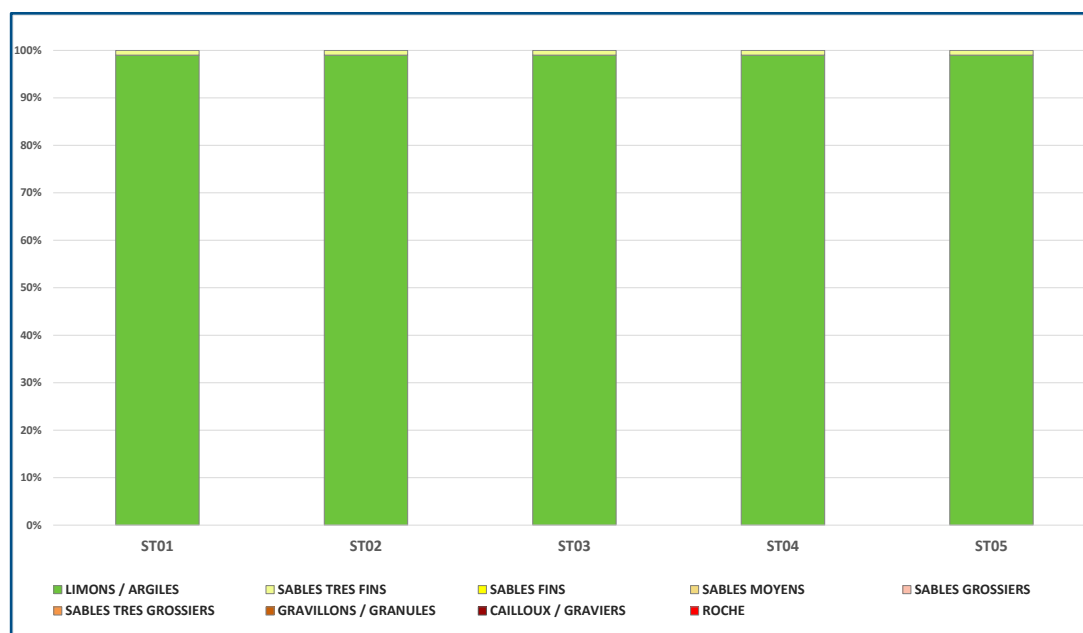


Figure 17 : Pourcentages des fractions granulométriques de la zone d'étude

Pour les stations étudiées, le substrat se compose en très grande majorité de vases (argiles et limons) < 63 μ m, avec des proportions de 99 %. Le diagramme de Folk permet de visualiser toutes les stations bio-sédimentaires étudiées selon une autre classification. Cette représentation montre une seule tendance : les stations sont classées dans les vases (« M »)

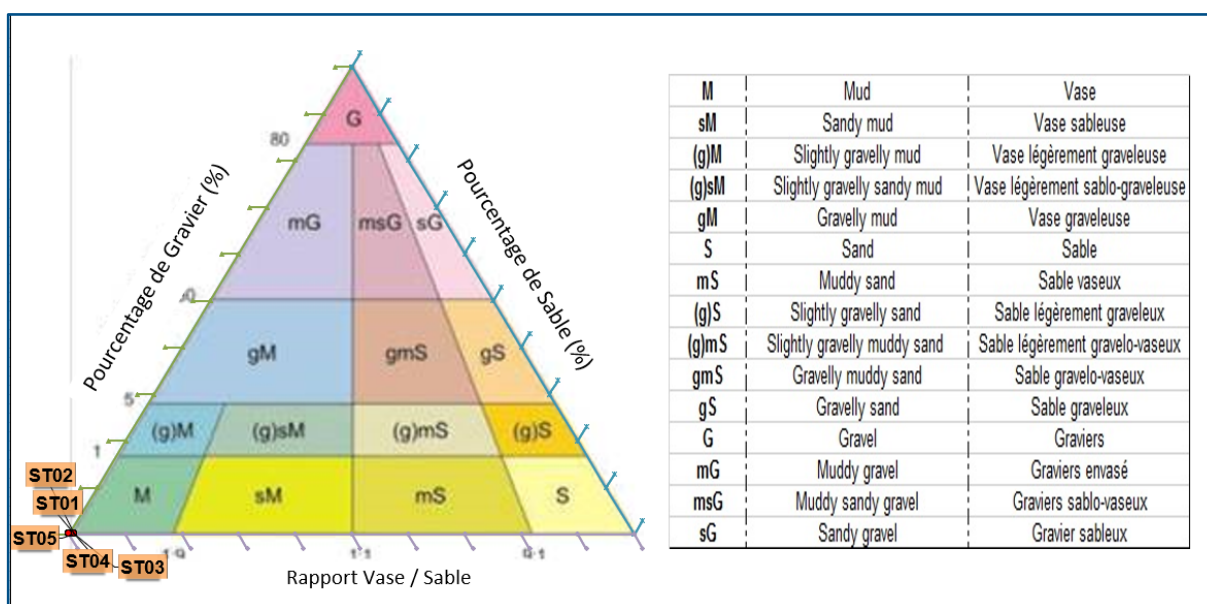


Figure 18 : Diagramme de Folk pour les 5 stations



3.3. Analyses des données faunistiques

La présentation des résultats concerne dans une première partie les paramètres généraux des peuplements (abondance, richesse spécifique, densité) et dans une seconde partie les analyses basées sur les indices écologiques.

Comme vu dans le protocole, chaque station a fait l'objet de 3 prélèvements par benne, pour ce qui concerne les analyses faunistiques. Ces derniers ont été effectués au plus proche du point GPS théorique.

3.3.1. Richesse spécifique (S) et Abondance (A)

Parmi les 5 stations (15 répliquats), un total de 169 individus a été observé appartenant à 54 espèces différentes.

3.3.1.1. Résultats par stations

Dans chaque répliquat, de 5 à 16 espèces différentes ont été identifiées avec des abondances variant de 8 à 19 individus par 0,1 m² (**Tableau 7**). L'échantillon ST05-b a présenté les valeurs les plus élevées en termes de richesse spécifique et d'abondance, tandis que l'échantillon ST05-c a présenté les valeurs les plus basses.

Tableau 7 : Paramètres de richesse spécifique et d'abondance des espèces sur les répliquats des stations d'étude

Répliquats des stations	ST 01 - a	ST 01 - b	ST 01 - c	ST 02 - a	ST 02 - b	ST 02 - c
Richesse spécifique	8	7	7	8	7	9
Abondance (0,1 m ²)	12	8	9	12	11	12
Répliquats des stations	ST 03 - a	ST 03 - b	ST 03 - c	ST 04 - a	ST 04 - b	ST 04 - c
Richesse spécifique	10	8	14	5	7	7
Abondance (0,1 m ²)	14	11	15	10	8	9
Répliquats des stations	ST 05 - a	ST 05 - b	ST 05 - c			
Richesse spécifique	8	16	5			
Abondance (0,1 m ²)	11	19	8			

La liste d'espèces et les abondances par répliquat et le total par station sont présentées ci-dessous (**Tableau 8**).



Tableau 8 : Liste d'espèces et abondances sur les réplicats et sur les stations

Espèces matched	ST1 - a	ST1 - b	ST1 - c	ST1	ST2 - a	ST2 - b	ST2 - c	ST2	ST3 - a	ST3 - b	ST3 - c	ST3	ST4 - a	ST4 - b	ST4 - c	ST4	ST5 - a	ST5 - b	ST5 - c	ST5
ANNELIDES																				
<i>Abyssoninoe hibernica</i>	2			2				0			1	1		2	1	3	1			1
Ampharetidae				0		1		1	1			1				0	1			1
<i>Ancistrosyllis groenlandica</i>			1	1				0				0				0				0
<i>Anobothrus amourexii</i>	1		3	4		3		3			1	1				0				0
<i>Aphelochaeta filiformis</i>				0	1	1		2		1	1	2	1			1				0
<i>Cenogenus</i>				0				0				0			1	1				0
<i>Chaetozone</i>				0				0				0				0			1	1
<i>Chaetozone carpenteri</i>	1			0	1			0		1	1	0				0		1		0
<i>Drilonereis filum</i>		1		1				0				0				0				0
<i>Galathowenia oculata</i>				0		1	1	2	3			3				0		1	1	2
<i>Glycera fallax</i>				0	1			1			1	1				0				0
<i>Goniada maculata</i>				0				0				0				0	1			1
<i>Harmothoe</i>		1		1				0	1			1				0				0
<i>Heteromastus filiformis</i>				0				0				0				0			1	1
<i>Labioleaneira yhlani</i>				0				0		1		1				0				0
<i>Scoletoma emandulata mabiti</i>				0				0			1	1				0				0
<i>Magelona alleni</i>		1		1				0				0				0				0
<i>Magelona wilsoni</i>	1			0				0				0				0				0
<i>Paucibranchia kinbergi</i>		2		2	2		3	5	2			2		1		1	1	1		2
<i>Melinna palmata</i>				0	1			1				0			1	1		1		1
<i>Nephtys ciliata</i>	1			1		1		1	2		1	3				0		1		1
<i>Nereis lamellosa</i>				0				0				0				0		1		1
<i>Ninoe armoricana</i>			1	1	4	1		5				0	2	1	1	4	2			2
<i>Notomastus latericeus</i>				0			1	1				0				0				0
<i>Paradiopatra calliopae</i>				0				0	1		1	2				0				0
Paraonidae		1		1				0				0				0				0
<i>Paraprionospio</i>				0				0	1			1				0				0
<i>Poecilochaetus mirabilis</i>				2				0			1	1				3				1
<i>Prionospio</i>		1	1	2				0				0				0				0
<i>Prionospio dubia</i>	3		1	4				0	1	2		3		1		1		3	4	7
<i>Prionospio ehlersi</i>				0				0			1	1			1	1	1			1
Sabellidae				0				0				0		1		1				0
<i>Spiophanes afer</i>				0				0			1	1				0		1		1
<i>Sternaspis scutata</i>	2			2		3	1	4	1	2		3	5		3	8	3	1	1	5
<i>Terebellides stroemii</i>				0				0				0				0				0
ECHINODERMES																				
<i>Paraleptopentacta elongata</i>				0				0		2		2				0				0
<i>Oosteregrina digitata</i>				0				1				1				0		1		1
MOLLUSQUES																				
<i>Thyasira biplicata</i>				0			1	1				0				0		1		1
<i>Falcidens</i>				0				0				0		1		1				0
CRUSTACÉS																				
<i>Leptocheirus hirsutimanus</i>		1		1			1	1				0				0				0
<i>Alpheus glaber</i>			1	1				0	1		2	3	1		1	2		1		1
<i>Goneplax rhomboides</i>				0	1			1				0				0				0
Callinassidae				0			1	1				0				0				0
<i>Paraphoxus</i>				0			2	2				0		1		1				0
<i>Ebalia granulosa</i>				1				0		1		0				0				0
<i>Upogebia</i>				0				0				0				0		1		1
<i>Othomera schmidtii</i>				0				0				0				0		1		1
<i>Ampelisca brevicornis</i>				0				0				0				0		1		1
Caridion				0				0				0				0	1			1
CNIDAIRES																				
Actinaraea	1		1	2				0				0				0				0
Veretillidae				0				0			1	1				0		1		1
SIPUNCULIDES																				
<i>Golfingia (Golfingia) elongata</i>				0				0			1	1				0				0
DIVERS																				
Nemertea				0	1			1				0	1			1		1		1
Phoronida				0			1	1		1		1				0				0



La **Figure 19** et le **Tableau 9** présentent la richesse spécifique et l'abondance par station. La richesse spécifique varie entre 14 et 25, avec des valeurs maximales dans les stations ST03 et ST05. L'abondance totale varie entre 27 individus par 0,3 m² dans ST04 et 40 individus par 0,3 m² dans ST03.

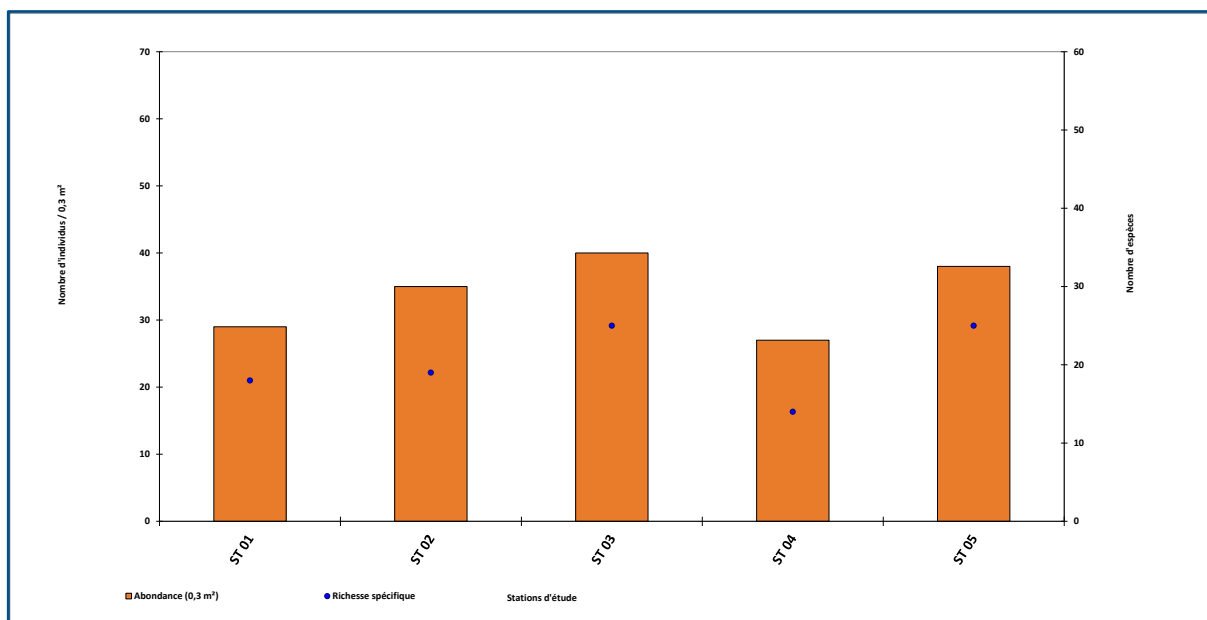


Figure 19 : Densité et richesse spécifique des stations d'étude

Tableau 9 : Paramètres de richesse spécifique et d'abondance des espèces sur les stations d'étude

Stations	ST 01	ST 02	ST 03	ST 04	ST 05
Richesse spécifique	18	19	25	14	25
Abondance (0,3 m ²)	29	35	40	27	38

3.3.1.2. Groupes taxonomiques

D'un point de vue de la richesse spécifique, on observe des tendances plutôt homogènes sur les cinq stations : les groupes taxonomiques dominants sont les groupes des annélides polychètes (35 espèces au total) et des crustacés majoritairement décapodes (10 taxons).

Les mollusques et échinodermes sont quant à eux au nombre de 2 espèces. On note aussi la faible présence de cnidaires (2 espèces), de siponcles (1 espèce) et d'espèces diverses (vers nérmertes et phoronida).



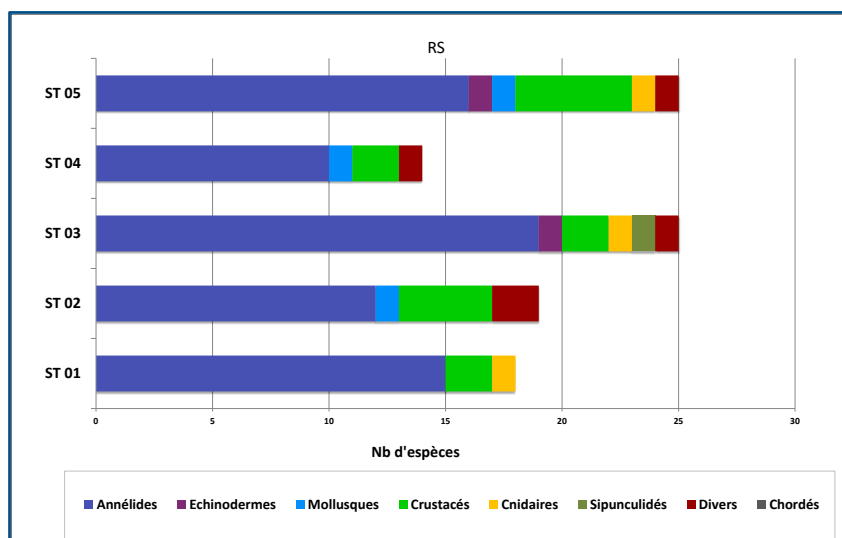


Figure 20: Répartition de la richesse spécifique selon le groupe zoologique

La répartition de l'abondance montre la même tendance que la richesse spécifique : le groupe zoologique le plus abondant était celui des annélides avec un maximum de 31 individus par 0,3 m² dans ST03, suivi des crustacés avec un maximum de 5 individus par 0,3 m² dans ST02 et ST05 (**Figure 21**).

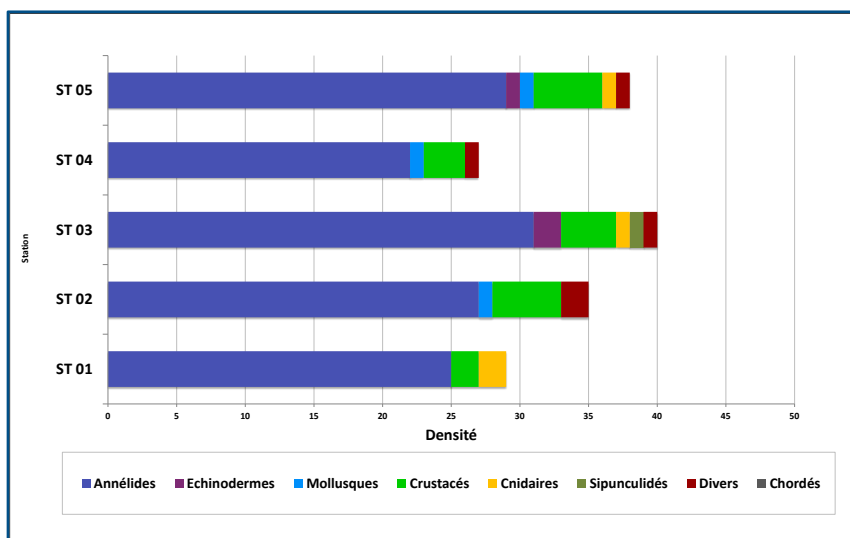


Figure 21: Répartition de l'abondance (0.3 m²) selon le groupe zoologique



Parmi toutes les espèces identifiées, *Paucibranchia kinbergi* (annélides polychètes) était la seule espèce présente à toutes les stations (**Figure 10**). Cinq espèces d'annélides en plus (*Abyssoninoe hibernica*, *Chaetozone carpenteri*, *Nephtys ciliata*, *Ninoe armoricana* et *Prionospio dubia*) étaient également très communes, se trouvant à 80 % des stations ainsi que le crustacé *Alpheus glaber* (décapodes) (**Figure 22**).

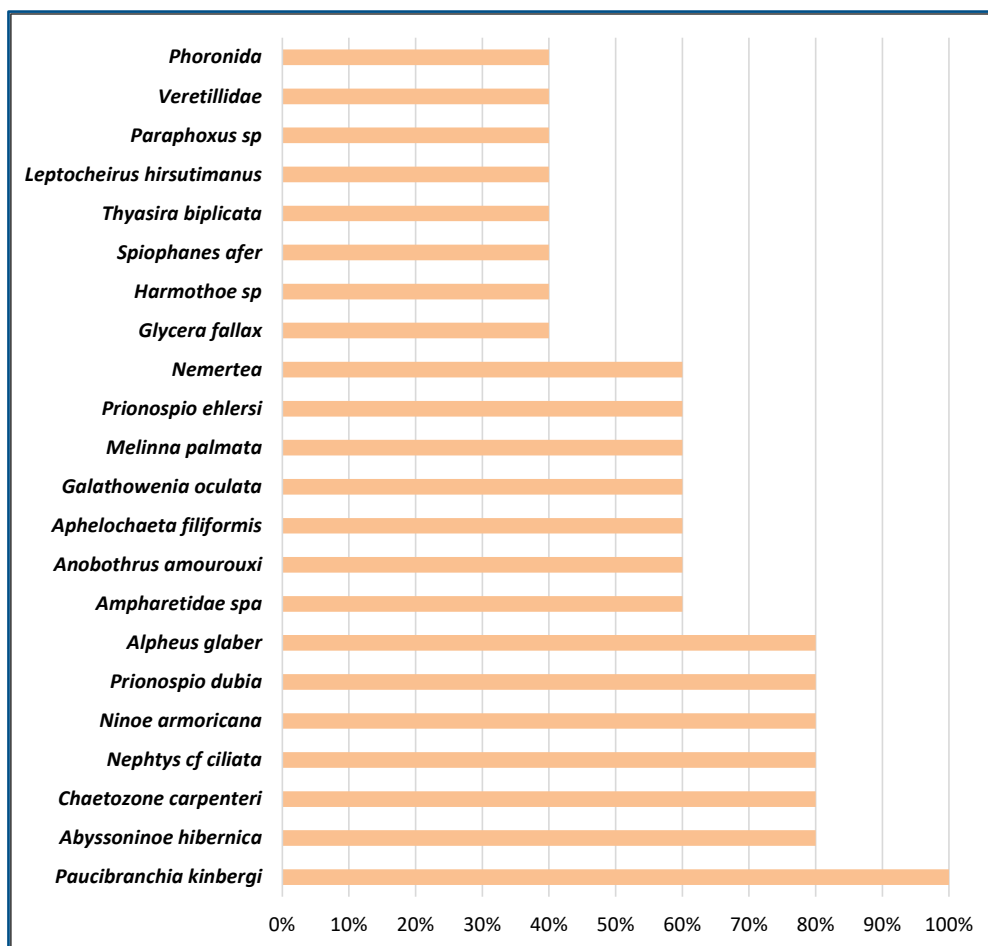
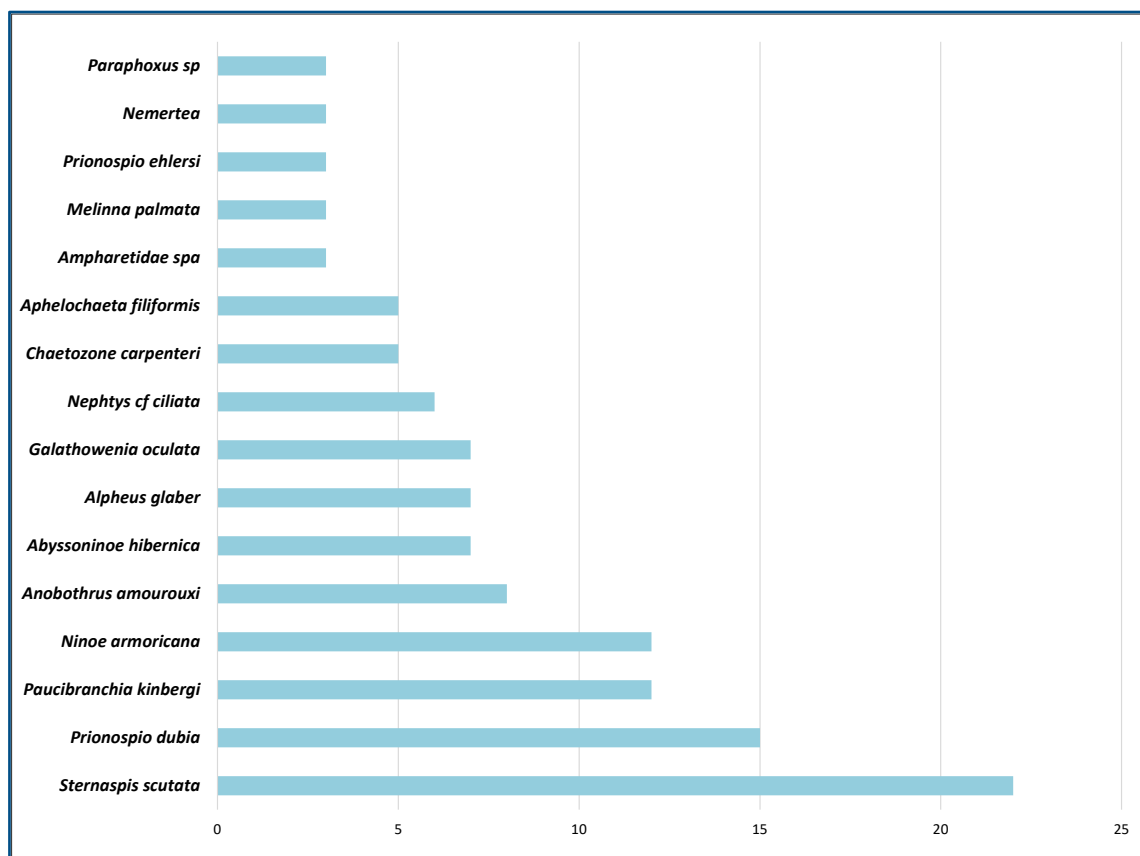


Figure 22: Occurrence des espèces les plus communes sur les cinq stations.



La figure ci-après (**Figure 23**) montre l'abondance des espèces les plus communes de toutes les stations. Parmi les 16 espèces les plus communes, 14 sont des annélides polychètes, avec *Sternaspis scutata* et *Prionospio dubia* étant les plus abondantes (23 et 15 ind.0,3 m⁻²). Nous soulignons également la présence du cardon rouge (*Alpheus glaber*), un crustacé décapode qui, après les vers



annélides polychètes, est l'espèce la plus abondante de la communauté.

Figure 23: Abondances des espèces dominantes sur l'ensemble des 5 stations d'étude
(nb d'individus dans 0,3 m² par station)



3.3.2. Indices de diversité

3.3.2.1. Indice de Shannon-Weaver (H') et d'Équitabilité de Piélou (E')

La **Tableau 10** et la **Figure 24** présentent les valeurs des indices de Shannon-Weaver et d'équitabilité par station. Les deux indices de diversité étaient maximums à la station ST03 et minimums à la station ST04, mais ils variaient légèrement entre les stations. L'indice Shannon-Weaver a varié de 2,30 à 3,10, tandis que l'indice d'équitabilité a varié entre 0,87 et 0,96, indiquant une communauté équilibrée car il est proche de zéro. Selon Molvaer *et al.*, (1997), ces valeurs indiquent que la communauté est considérée comme étant dans un état « modéré », sauf à la station ST03, qui est considérée comme « bonne », puisqu'il dépasse le seuil de 3.

Tableau 10: Valeurs de l'indice de Shannon-Weaver et de l'Équitabilité

Station	ST 01	ST 02	ST 03	ST 04	ST 05
Indice de Shannon	2.75	2.72	3.10	2.30	2.96
Indice d'Équitabilité (Piélou)	0.95	0.93	0.96	0.87	0.92

EcoQ	HIGH	GOOD	MODERATE	POOR	BAD
H'	H' > 4	4 > H' ≥ 3	3 > H' ≥ 2	2 > H' ≥ 1	H' < 1

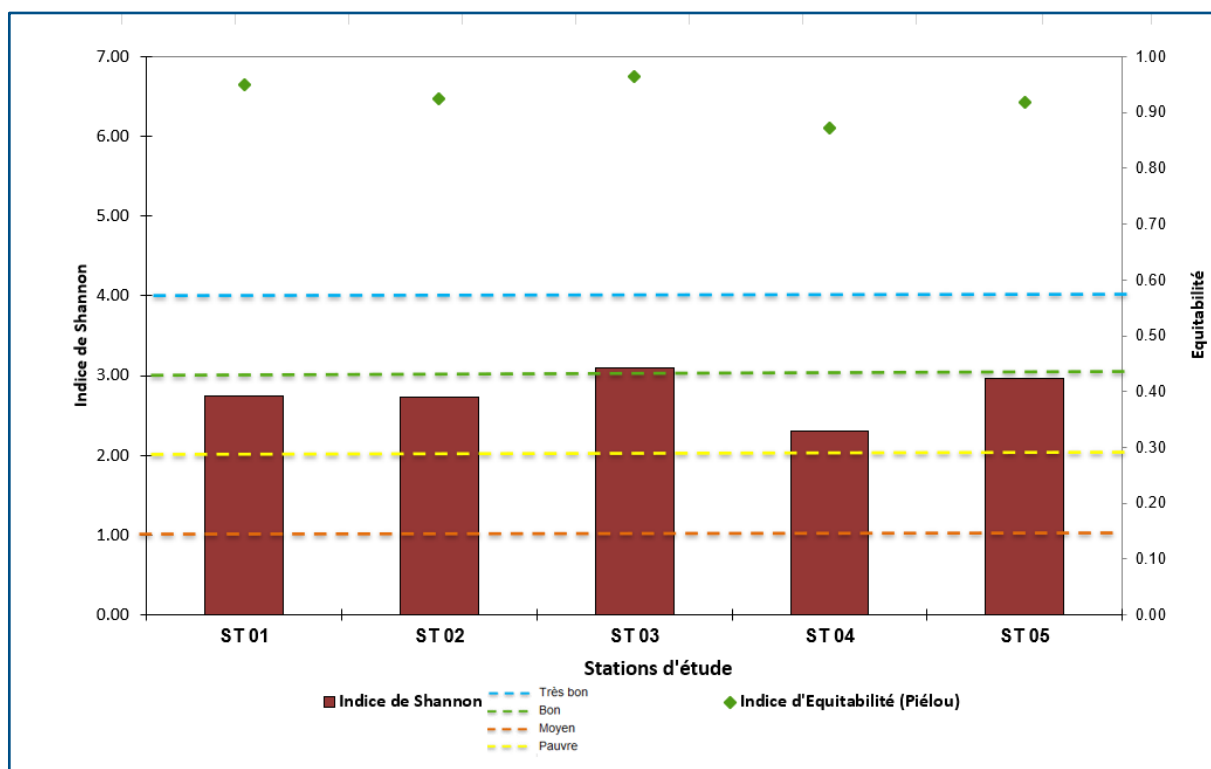


Figure 24: Indices de diversité de Shannon et d'Équitabilité sur les stations d'étude



3.3.2.2. Le modèle DIMO

Le modèle DIMO (DIversity MOonitoring) développé par Qinghongen 1995 permet la visualisation de la richesse spécifique ($\log_2 S$), de l'indice de Shannon-Weaver (H') et de l'équitabilité (J) sur un même plan, dans le but d'analyser la structure des peuplements. Cette dernière est représentée par l'angle formé par la droite représentée sur le graphique suivant :

La distribution spatiale montre que les peuplements présentent des richesses spécifiques et une répartition des espèces plutôt homogènes sur l'ensemble des cinq stations. Il est également possible de voir que ST03 et ST04 sont respectivement les stations les plus et les moins diverses.

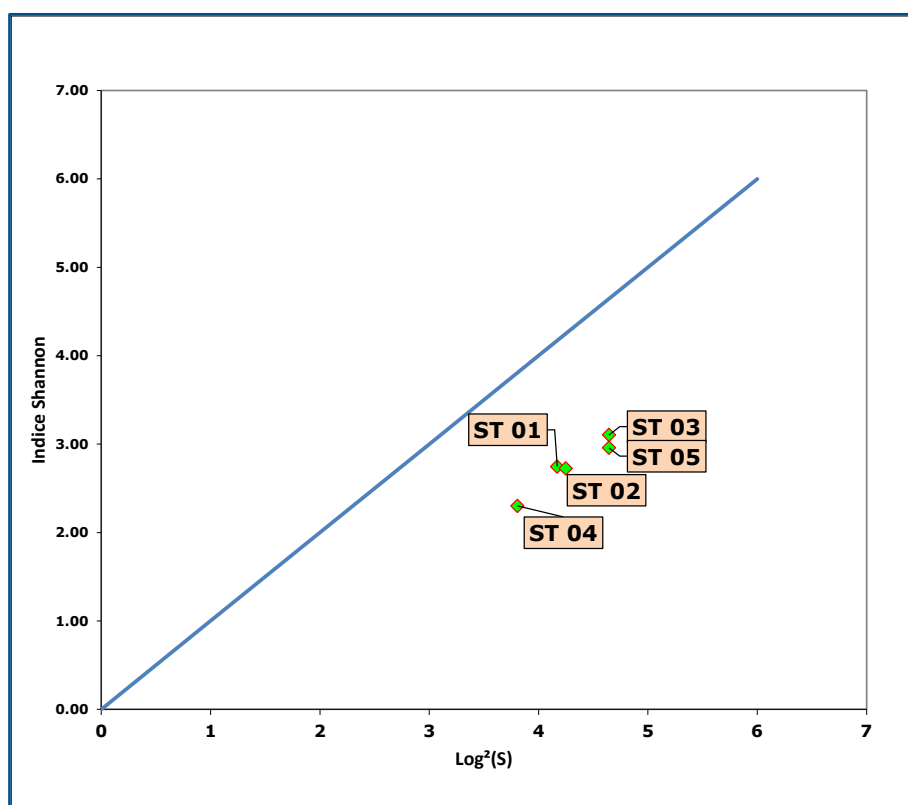


Figure 25: Modèle DIMO appliqué aux stations

À l'échelle des sites d'études, les peuplements sont globalement similaires, moyennement diversifiés et à l'équilibre.



3.3.3. Indices basés sur les groupes écologiques

L'identification des groupes écologiques des espèces en présence a été réalisée pour pouvoir déterminer les indices basés sur les groupes écologiques : l'AMBI et le M-AMBI.

3.3.3.1. L'AMBI

Le tableau ci-dessous présente les valeurs obtenues pour l'indice AMBI après avoir traité la liste d'espèces en présence avec le logiciel prévu à cet effet.

Tableau 11 : Valeurs de l'indice AMBI et pourcentages des groupes écologiques sur les stations

Stations	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI
ST 01	14.80	66.70	14.80	3.70	0.00	1.611
ST 02	2.90	60.00	34.30	2.90	0.00	2.057
ST 03	22.50	55.00	12.50	10.00	0.00	1.65
ST 04	19.20	34.60	42.30	3.80	0.00	1.962
ST 05	18.90	45.90	24.30	10.80	0.00	1.905

Ces résultats permettent d'obtenir les figures ci-dessous (**Figure 26** et **Figure 27**) pour l'analyse.

Les groupes écologiques sont répartis de façon assez homogène entre les stations du site.

Les stations sont principalement dominées par des espèces du groupe écologique II (indifférentes à l'hypertrophisation), entre 35 % (station ST04) et 67 % (ST01).

Les espèces du groupe I (sensibles) sont moins présentes (voir très peu présentes avec 3 % pour la station ST02) (entre 15 % pour ST01 et 23 % pour ST03).

Les espèces du groupe III (tolérantes à l'hypertrophisation) sont réparties différemment selon les stations : elles sont plus présentes sur les stations ST02 et ST04 (respectivement 34 et 42 %) et les autres stations (entre 13 et 5 %).

Des espèces du groupe IV sont présentes et correspondent à des espèces opportunistes du second ordre et en faible pourcentage (3 à 11 %). Il s'agit de certains vers polychètes (de la famille des Cirratulidae, Spionidae ou Capitellidae, par exemple).

Les espèces opportunistes de premier ordre (groupe V) sont absentes sur les stations.



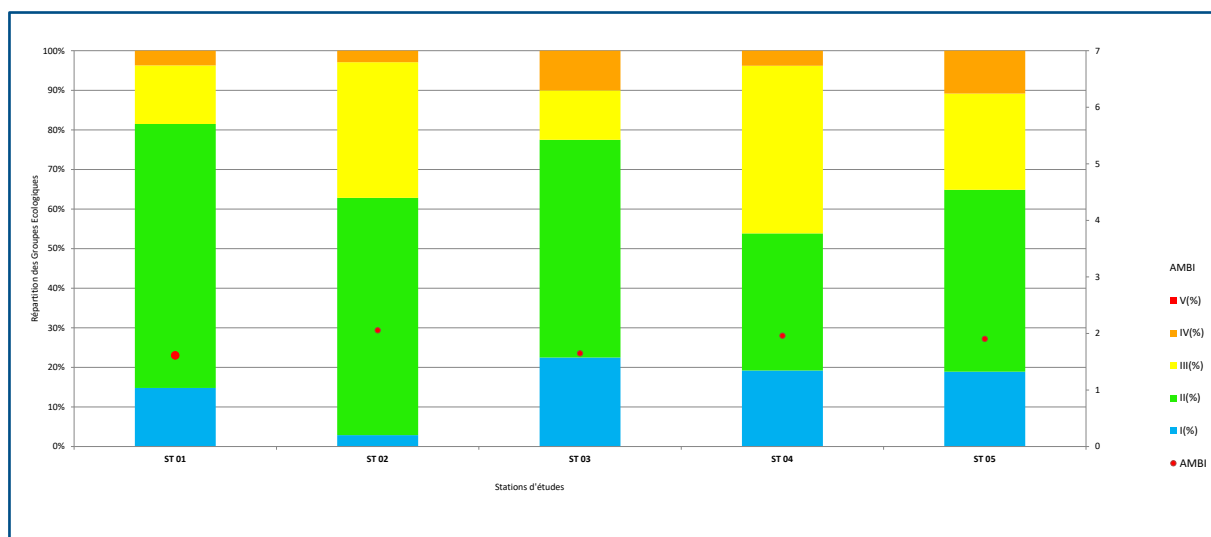
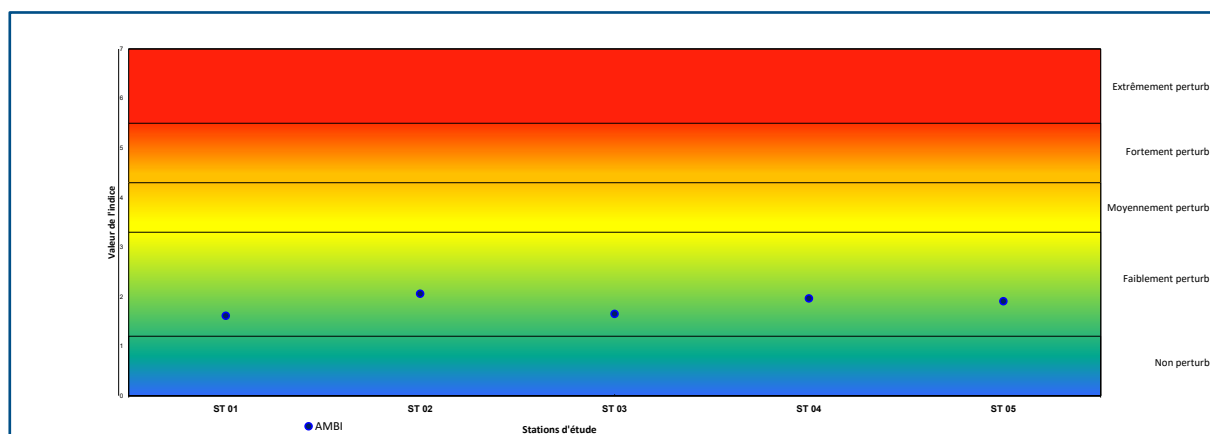


Figure 26: Répartition des groupes écologiques sur les stations d'étude et valeur moyenne de l'AMBI

Les résultats de l'indice AMBI sur les stations du site étudié révèlent des résultats très proches sur les stations. Les stations présentent des résultats d'un état environnemental « faiblement perturbé » pour les stations vis-à-vis d'une perturbation due à un apport en matière organique.

La dominance d'espèces indifférentes à l'hypertrophisation et la présence « faible à moyenne » d'espèces opportunistes (de second ordre) sont révélatrices d'un état environnemental en adéquation avec le type de milieu étudié. L'AMBI révèle une très légère perturbation au regard de l'apport en



matière organique.

Figure 27 : Valeur de l'indice AMBI et degré de perturbation



3.3.3.2. Le M-AMBI

Les résultats de l'exercice d'inter calibration ont mis en lumière l'intérêt du M-AMBI combinant l'indice de Shannon-Weaver (indice de diversité) et l'AMBI (indice fonctionnel basé sur la polluo-sensibilité des espèces). En effet, le M-AMBI a été mis au point par l'équipe de l'AZTI pour permettre de compléter les résultats obtenus par l'AMBI. Le calcul du M-AMBI est basé sur une analyse factorielle de l'AMBI, de la richesse spécifique et de l'indice de diversité H' (indice de Shannon-Weaver) (Muxika *et al.*, 2007).

Il permet donc de prendre en compte ces trois facteurs à la fois. L'AMBI met en évidence les perturbations de type organique en s'appuyant sur l'analyse des espèces présentes et leur polluosensibilité. Le calcul du M-AMBI est donc basé sur les résultats obtenus avec l'AMBI pondéré par l'indice de Shannon-Weaver (H') et la richesse spécifique (S).

Pour le calcul de l'indice les stations, les conditions d'application sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12: Conditions de références pour le calcul de la valeur de M-AMBI dans les eaux côtières

Environnement hydro-sédimentaire	Etat	Richesse spécifique	Diversité de Shannon-Weaver	de AMBI
Sables fins plus ou moins envasés subtidaux	Très bon	58	4	1
	Très mauvais	1	0	6
Sables fins plus ou moins intertidaux	Très bon	35	4	1
	Très mauvais	1	0	6
Sables (fins à moyens) exposés	Très bon	15	3,5	1
	Très mauvais	1	0	6

Le tableau et le graphique ci-dessous montrent que la prise en compte des trois paramètres cités révèle des peuplements dont l'état général est jugé comme « bon » pour les stations ST01, ST02, ST04 et ST05 et « très bon » pour ST03. L'application des conditions de référence de M-AMBI a été faite en appliquant les valeurs de référence des sables (fins plus ou moins envasés) subtidaux : elles présentent un seuil de la richesse spécifique S=58 dans le cas d'un milieu en très bon état. Une très légère perturbation de type organique semble être observée sur les stations d'étude.

Tableau 13: Valeur du M-AMBI sur des stations et valeurs de référence

	Stations	AMBI	Diversité	Richesse spécifique	M-AMBI	Statut
Valeurs de références	"Mauvais"	6	0	1	0	Mauvais
	"Très bon"	1	4	58	1	Très bon
	ST 01	1.61	3.96	18	0.71	Bon
	ST 02	2.06	3.93	19	0.68	Bon
	ST 03	1.65	4.48	25	0.79	Très bon
	ST 04	1.96	3.32	14	0.61	Bon
	ST 05	1.91	4.27	25	0.75	Bon



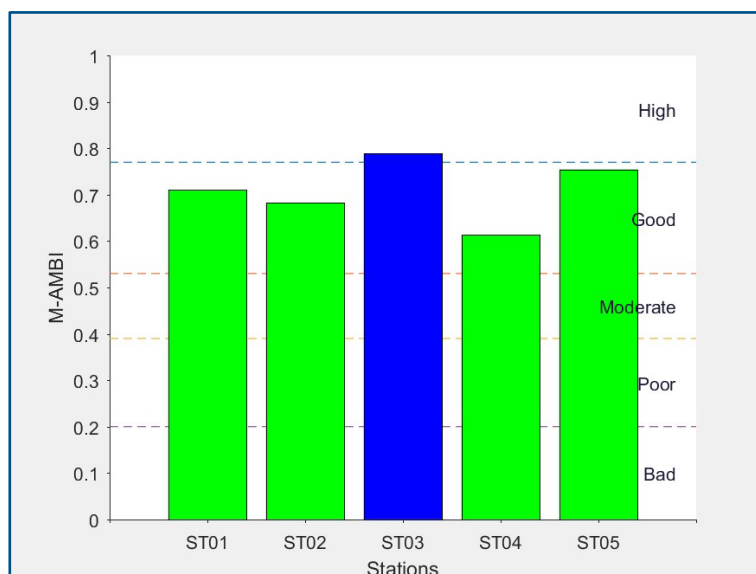


Figure 28: Histogramme des résultats du M-AMBI sur les 5 stations

3.3.4. Analyses multivariées spécifiques

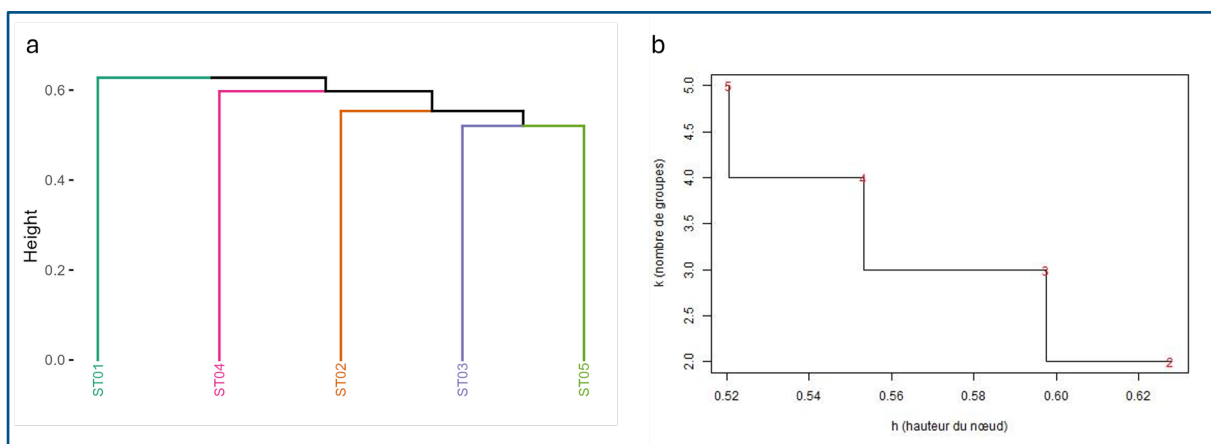
L'analyse multivariée effectuée sur l'endofaune a révélé **qu'il n'y a pas de différence dans la structure de la communauté entre les stations**. Le tableau ci-dessous (**Tableau 14**) montre la distance de dissimilarité de Bray Curtis entre les stations. Les valeurs variaient entre 0,52 et 0,67, indiquant que toutes les paires d'échantillons ont des distances similaires, témoignant d'une structure communautaire similaire entre les échantillons.

Tableau 14 : Distance de dissimilarité de Bray-Curtis entre toutes les paires de stations

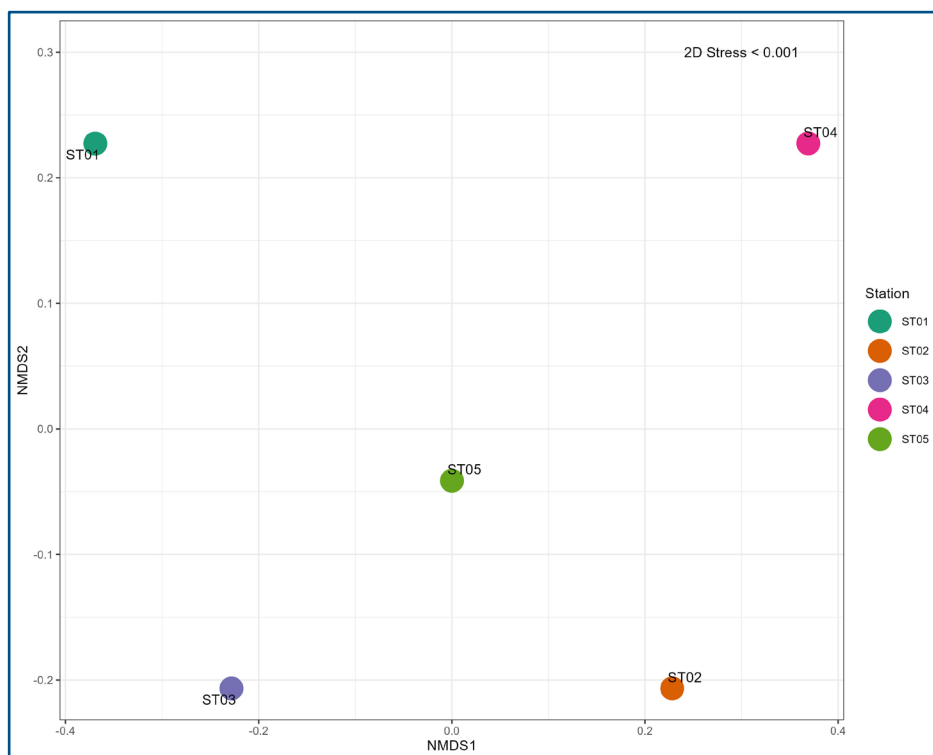
	ST01	ST02	ST03	ST04
ST02	0.63			
ST03	0.60	0.57		
ST04	0.66	0.57	0.67	
ST05	0.61	0.54	0.52	0.55

La figure ci-dessous montre les résultats de la classification hiérarchique à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance de chaque station (**Figure 29a**). Cette analyse de regroupement n'a montré aucun regroupement évident des échantillons. La **Figure 29 b** présente les valeurs de hauteur où se produit une fusion entre deux branches d'un dendrogramme. Les groupes se forment lorsque la hauteur entre deux nœuds est la plus élevée. La figure montre que toutes les hauteurs entre les nœuds sont similaires, indiquant ainsi qu'aucun groupe clair n'est formé.





La nMDS présente la distribution spatiale des échantillons dans un espace en 2D, montrant l'absence d'agrégation des échantillons (**Figure 30**).



3.3.5. Classification des peuplements benthiques

Grâce aux typologies en vigueur, il est possible d'effectuer une classification des habitats en présence. La mise en relation avec la typologie nationale NatHab-Med (Typologie des habitats marins benthiques de Méditerranée) ainsi que la correspondance avec la typologie EUNIS (révisée en 2019 et la hiérarchie ayant été revue en 2022 : les deux dénominations y sont présentées) a été réalisée et la traduction a été extraite des documents à disposition (Bajjouk *et al.*, 2015). Pour rappel, la granulométrie est la première donnée utilisée dans la typologie pour déterminer un habitat.

L'habitat principal des stations présentes est le « IV.1.1.b. — Faciès des vases gluantes à *Virgularia mirabilis* et *Pennatula phosphorea* » (NatHab-Med 2019), MC6-513 / MD6-511 (EUNIS 2022) // A5.392 (EUNIS 2012)

La description disponible dans la typologie NatHab-Med présente l'habitat comme ceci :

« La vase gluante est la vase qui est plus communément appelée « vase côtière » et qui est généralement de couleur grise plus ou moins foncée. C'est, comme la vase molle, une vase provenant d'apports terrigènes, mais dont les particules restent en suspension plus longtemps et par conséquent se déposent, plus loin du rivage, en quantité moindre que les sédiments constituant les vases molles, et beaucoup plus lentement que ceux-ci. Ce faciès se caractérise par l'abondance des pennatules *Virgularia mirabilis* et *Pennatula phosphorea* sur des fonds de vase gluante. La dynamique est liée aux apports quantitatifs et qualitatifs de sédiments. L'évolution du faciès peut être rapide, notamment par la multiplication d'autres espèces de la biocénose, par exemples celles du faciès à *Alcyonium palmatum* et *Parastichopus regalis* (IV.1.1.c.). Il ne peut être exclu que ce faciès puisse également être supplanté progressivement par le faciès des vases molles à *Turritellinella tricarinata* (Syn. *Turritella communis* (IV.1.1.a.). »



Tableau 15: Tableau récapitulatif des biocénoses des stations présentes sur les stations suivant les typologies
(source : setec énergie environnement, 2024)

TYPOLOGIE NATHAB-MED 2019	DÉNOMINATION DE LA BIOCÉNOSE
IV	CIRCALITTORAL
IV.1	VASES
IV.1.1.	Biocénose des vases terrigènes côtières (VTC)
IV.1.1.b	Faciès de vases gluantes à <i>Virgularia mirabilis</i> et <i>Pennatula phosphorea</i>
TYPOLOGIE EUNIS 2022	DÉNOMINATION DE LA BIOCÉNOSE
M	Habitats benthiques marins
MC6 / MD6	Vase du circalittoral Vase du circalittoral du large
MC6-5	Vase du circalittoral en Méditerranée
MD6-5	Vase du circalittoral du large en Méditerranée
MC6-51	Biocénose des vases terrigènes côtières du circalittoral en Méditerranée
MD6-51	Biocénose des vases terrigènes côtières du circalittoral du large en Méditerranée
MC6-513	Faciès de vases gluantes à <i>Virgularia mirabilis</i> et <i>Pennatula phosphorea</i> sur vase du circalittoral
MD6-511	Faciès des vases gluantes à <i>Virgularia mirabilis</i> et <i>Pennatula phosphorea</i> sur vase du bas du circalittoral
TYPOLOGIE EUNIS 2012	DÉNOMINATION DE LA BIOCÉNOSE
A	Habitats marins
A5	Sédiment subtidal
A5.3	Vase subtidale
A5.39	Biocénoses méditerranéennes des vases terrigènes côtières
A5.392	Faciès des vases gluantes à <i>Virgularia mirabilis</i> et <i>Pennatula phosphorea</i>
CODE HIC	Dénomination de la biocénose
-	Pas de correspondance exacte



4. DISCUSSION

Les données obtenues dans cette étude ont permis de caractériser **l'endofaune présente sur le site du projet EFGL**.

Les résultats des données sédimentaires et faunistiques ont révélé que toutes les stations sont similaires avec le même type de caractéristiques sédimentaires et une communauté de l'endofaune associée ressemblante.

Les résultats granulométriques ont révélé que le sédiment dans toutes les stations est du type limons et argiles, de composition vaseuse avec une fraction de sable presque inexistante.

Les assemblages d'espèces décrits sont en accord avec le type de sédiment. Nous avons observé que toutes les stations sont très similaires en termes de diversité et de structure de la communauté, bien que la station ST03 semble avoir une diversité légèrement plus élevée et des abondances d'organismes plus importantes. L'analyse multivariée montre clairement l'absence de structures communautaires différentes entre les stations, indiquant que toute la zone d'étude a le même type de communauté de l'endofaune.

La communauté est clairement dominée par les annélides, tant en termes de diversité que d'abondance. Nous notons en particulier la forte abondance de *Sternaspis scutata* et *Prionospio dubia*. Ces espèces ont été signalées précédemment dans le golfe du Lion et sont fortement associées aux habitats de sédiments fins (Labruno *et al.*, 2007). Parmi les crustacés, nous soulignons la présence du cardon rouge (*Alpheus glaber*) en tant que décapode le plus abondant dans toutes les stations. Le cardon rouge est une petite crevette fouisseuse, généralement jusqu'à 43 mm de longueur, commune dans les mers du nord-ouest de la Méditerranée (Carter *et al.*, 1994, Atkinson *et al.*, 2003).

L'état initial réalisée en 2017 par P2A Développement offre un point de comparaison intéressant à cette étude. Celle-ci contient des données interprétées sur 5 stations d'étude localisées au sein de l'aire d'étude immédiate de la ferme pilote (parmi les 12 stations qui avaient été inventoriées). Le protocole qui avait été appliqué est similaire à celui appliqué dans cette caractérisation de l'état de référence (0.10 m² ; 3 réplicats). La principale différence notable repose sur la période d'échantillonnage laquelle avait été réalisé au cours de la saison estivale (mai et août 2017). Les principaux points de comparaison en termes de résultats sont présentés ci-dessous :

- La richesse spécifique de ces cinq stations variait entre 5 et 11 espèces/station, ce qui est plus faible que les résultats obtenus dans cet état de référence (14 à 25 espèces/station).
- Les abondances sont quant à elles tout à fait comparables entre les deux études, avec dans les deux cas, des vers annélides polychètes qui dominent largement les échantillons dans des proportions de 80 à 250 individus/m² (P2A 2017) et de 90 à 133 individus/m² (SETEC 2024).
- En 2017, l'espèce majoritaire était *Galathowenia oculata*. En 2024, c'est également un vers annélide polychète qui est le plus abondant, mais de l'espèce *Sternaspis scutata*. Cette différence s'explique principalement par le fait que le traitement des données en 2017 reposait sur la totalité des 12 stations lesquelles étaient réparties le long d'un gradient côte-large contrairement à celui de 2024 ne repose que sur des stations « large ».



- Les espèces caractéristiques des vases terrigènes côtières évoquées dans le rapport de 2017 pour les 5 stations situées au sein de l'aire d'étude immédiate de la ferme pilote comme *Alpheus glaber*, *Sternaspis scutata*, *Ampharete grubei*, *Oestergrenia digitata*, *Magelona allenii*, *Nephtys incisa*, *Turitella communis*, ont toutes été détectées et identifiées sur la plupart sur les stations de cette nouvelle étude. Seules les espèces d'annélides *Ampharete grubei*, *Nephtys incisa* et le mollusque *Turitella communis* n'ont pas été inventoriées.

Selon l'indice AMBI (indices variant de 1.6-ST01- à 2.05-ST02), la communauté dans la zone d'étude est considérée comme principalement indifférente à l'hypertrophisation, et l'état environnemental est classé comme « faiblement perturbé » vis-à-vis d'une perturbation due à un apport en matière organique. Ces résultats sont proches de ceux obtenus lors de l'étude d'impact où les indices AMBI variaient de 1.34 (S4) à 3.21 (S7) et témoignaient d'un état environnemental de peu à faiblement perturbé

Les résultats de l'indice M-AMBI montrent des peuplements dont l'état général est jugé comme « bon » pour les stations ST01, ST02, ST04 et ST05 et « très bon » pour ST03.

Les résultats présentés ont permis la description de l'habitat comme le "IV.1.1.b. — Faciès des vases gluantes à *Virgularia mirabilis* et *Pennatula phosphorea*" (NatHab-Med 2019), MC6-513 / MD6-511 ([EUNIS 2012](#)) // A5.392 ([EUNIS 2012](#)). Lors de la caractérisation de l'état initial de l'environnement, figurant dans l'étude d'impact (P2A 2017), cet habitat A5.39 avait également été mentionné. Celui-ci caractérisait à la fois l'aire d'étude éloignée et l'aire d'étude immédiate (raccordement et ferme pilote). La superficie qu'il représentait au sein de l'aire d'étude immédiate de la ferme pilote était de 29.30 km², soit 100 % de cette dernière. Les résultats apportés par cette nouvelle étude, définissant cette fois l'état de référence du site avant travaux, restent donc en parfaite concordance avec les données collectées en 2017.



5. RÉFÉRENCES

- De Bettignies, Thibaut, Marie La Riviere, Juliette Delavenne, Stephanie Dupre, Vincent Gaudillat, Anne-Laure Janson, Fanny Lepareur, Noemie Michez, Guillaume Paquignon, Aurelien Schmitt, Gwenola de Roton, et Vincent Toison. 2021. Interprétation française des Habitats marins d'intérêt Communautaire marins. Paris (FR): PatriNat (OFB-CNRS-MNHN).
- Borcard, Daniel, François Gillet, et Pierre Legendre. 2018. Numerical Ecology with R. 2e éd. Springer.
- Field, John G., K. Robert Clarke, et Richard M. Warwick. 1982. « A Practical Strategy for Analysing Multispecies Distribution Patterns ». Marine Ecology Progress Series 8:37-52. doi: 10.3354/meps008037.
- Galparsoro, Ibon, David W. Connor, Ángel Borja, Annabelle Aish, Patricia Amorim, Touria Bajjouk, Caroline Chambers, Roger Coggan, Guillaume Dirberg, Helen Ellwood, Douglas Evans, Kathleen L. Goodin, Anthony Grehan, Jannica Haldin, Kerry Howell, Chris Jenkins, Noémie Michez, Giulia Mo, Pål Buhl-Mortensen, Bryony Pearce, Jacques Populus, Maria Salomidi, Francisco Sánchez, Alberto Serrano, Emily Shumchenia, Fernando Tempera, et Mickaël Vasquez. 2012.
- « Using EUNIS Habitat Classification for Benthic Mapping in European Seas: Present Concerns and Future Needs ». Marine Pollution Bulletin 64(12):2630-38. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.10.010.
- Garcia, Aurélie, Nicolas Desroy, Patrick Le Mao, et Laurence Miossec. 2014. Protocole de suivi stationnel des macroinvertébrés benthiques de substrats meubles subtidiaux et intertidaux dans le cadre de la DCE - Façades Manche et Atlantique - Rapport AQUAREF. France: MNHN - Ifremer.
- Grall, Jacques, et Christian Hily. 2003. Échantillonnage quantitatif des biocénoses subtidales des fonds meubles. Fiche technique Rebut. FT01-2003-01. France.
- La Riviere, Marie, Juliette Delavenne, Anne-Laure Janson, Salomé Andres, Thibaut de Bettignies, Hugues Blanchet, François-Xavier Decaris, René Derrien, Sandrine Derrien-Courtet, Jacques Grall, Céline Houbin, Lise Latry, Aodren Le Gal, Aurélie Lutrand, Lénaïck Menot, Louise Percevault, Adeline Tauran, et Éric Thiébaud. 2022. Fiches descriptives des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique. PatriNat (OFB-CNRS-MNHN).
- Norme NF en ISO 16665. 2014. Qualité de l'eau - Lignes directrices pour l'échantillonnage et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles. France.
- Pielou, Evelyn C. 1966. « Shannon's Formula as a Measure of Specific Diversity: Its Use and Misuse ». The American Naturalist 100(914):463-65. doi: <https://doi.org/10.1086/282439>.
- Qinghong, Liu. 1995. « A Model for Species Diversity Monitoring at Community Level and Its Applications ». Environmental Monitoring and Assessment 34(3):271-87. doi: 10.1007/BF00554798.
- Shannon, Claude, et Warren Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Urbana, Illinois: University Illinois Press.
- Wentworth, Chester K. 1922. « A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments ». The Journal of Geology 30(5):377-92. doi: 10.1086/622910.
- Whittaker, R. H. 1960. « Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California ». Ecological Monographs (30):279-338. doi: 10.2307/1943563.



ÉTAT DE RÉFÉRENCE SC3
SUIVI DES PEUPELEMENTS BENTHIQUES PAR PRÉLÈVEMENTS À LA
BENNE (SC3BIS : ENDOFAUNE)
RAPPORT N°1 - Juillet 2024



Les éoliennes flottantes
du golfe du Lion