



**Communauté de Communes
de la Région d'Audruicq**



Dépollution pyrotechnique et gestion pluriannuelle du cordon dunaire du Platier d'Oye

● Annexe 8.2.2 : Analyse physico-chimique des sédiments et inventaire de la faune benthique du platier d'Oye.

Rapport de mission du 26/08/2024



PRODUCTIONS / RÉVISIONS

Version	Date	Description	Auteurs	Relecteur
1	08/10/2024	Première révision	J. CADIOU C.ETIENNE	S. MARMIN
1.2	18/10/2024	Prise en compte des remarques de PMCO	J. CADIOU	S. MARMIN

COORDONNÉES

Siège social	Responsable d'affaires
setec énergie environnement	Julie CADIOU Cheffe de projet évaluation environnement en milieu marin
Immeuble Central Seine 42 - 52 quai de la Rapée - CS 71230 75583 PARIS CEDEX 12 FRANCE	Agence de La Forêt-Fouesnant Z.A. La Grande Halte 29940 LA FORÊT-FOUESNANT FRANCE
Tél +33 1 82 51 55 55 Fax +33 1 82 51 55 56 environnement@setec.fr https://energie-environnement.setec.fr/	Tél +33 2 98 51 44 19 julie.cadiou@setec.com

Table des matières

1	Objectif de la mission	6
2	Déroulement de la mission	6
2.1	Date de la mission, composition de l'équipe et accès à la plage	6
2.2	Matériel et méthode	6
2.2.1	Présentation des stations de prélèvements	7
2.2.2	Prélèvements et traitement des sédiments	9
2.2.2.1	Analyse faunistique	11
2.2.2.2	Analyse des paramètres physiques	12
2.2.2.3	Analyse des paramètres chimiques	13
2.2.3	Analyse des données	13
2.2.3.1	Analyses faunistiques	13
2.2.3.1.1	Richesse spécifique (S) et Abondance (A)	13
2.2.3.1.2	Indices de diversité	13
2.2.3.1.2.1	Indice de Shannon-Weaver (H')	13
2.2.3.1.2.2	Indice d'équitabilité de Pielou (E')	14
2.2.3.1.2.3	Modèle DIMO	14
2.2.3.1.3	Indices basés sur les groupes écologiques	15
2.2.3.1.3.1	L'indice biotique pour la macrofaune benthique : l'AMBI	17
2.2.3.1.3.2	L'indice biotique M-AMBI	18
2.2.3.2	Analyses granulométriques	19
2.2.3.3	Classification des habitats	20
2.2.3.3.1	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)	20
2.2.3.3.2	La typologie EUNIS	22
2.2.3.3.3	Interprétation française des Habitats d'Intérêt communautaire (HIC) marins	24
2.2.3.4	Analyse des paramètres chimiques	26
3	Résultats	27
3.1	Analyse des données granulométriques	27
3.2	Analyse chimique des sédiments	31
3.3	Analyses de la faune benthique	32
3.3.1	Richesse spécifique (S) et Abondance (A)	32
3.3.1.1	Résultats par stations	32
3.3.1.2	Groupes taxonomiques	33
3.3.2	Indice de diversité	36
3.3.2.1	Indice de Shannon-Weaver (H') et d'Équitabilité de Pielou (E')	36

3.3.2.2 Le modèle DIMO	37
3.3.3 Indices basés sur les groupes écologiques	38
3.3.3.1 L'AMBI	38
3.4 Classification des peuplements benthiques.....	40
4 Conclusion.....	44

Table des illustrations

Figures

Figure 1 : Passerelle par le parking de la plage des Ecardines, photo prise le 20 août 2024.	6
Figure 2 : Escalier par le parking de la plage des Ecardines, photo prise le 20 août 2024.	6
Figure 3 : Localisation des stations échantillonnées. Source : Setec énergie environnement.	8
Figure 4 : Illustration du matériel nécessaire aux prélèvements sédimentaire. Auteur : SEE.....	9
Figure 5 : Illustration de la méthode de prélèvement des sédiments (photo en haut à gauche), d'une photo de la zone prélevée réalisée sur chaque station (photo en haut à droite) et des 9 prélèvements réalisés sur chaque station avant tamisage pour inventorier la faune benthique (photo du bas).	10
Figure 6 : Illustrations du tri, de l'identification et du dénombrement effectués en laboratoire.	11
Figure 7 : Illustration des étapes de traitement en laboratoire : (a) séchage en étuve, (b) tamisage et (c) pesée (source : setec énergie environnement, 2022)	12
Figure 8 : Représentation graphique du modèle DIMO (source : modifié d'après Qinghong, 1995)	15
Figure 9 : Modèle des Indices biotiques montrant l'importance relative des différents groupes écologiques le long du gradient de perturbations croissantes (Glémarec et Hily, 1981).....	16
Figure 10 : Base écologique de l'indice AMBI (Borja et al., 2000).....	17
Figure 11 : Équivalence entre les valeurs de l'AMBI et les différents états écologiques de la DCE (Borja et al, 2004)..	17
Figure 12 : Conditions de références pour le calcul de la valeur de M-AMBI dans les eaux côtières.....	18
Figure 13 : Synthèse des valeurs de l'EcoQ pour l'indice de Shannon-Weaver (Molvaer et al., 1997), de l'AMBI (Borja et al., 2003) et le M-AMBI (Muxika et al., 2007)	18
Figure 14 : Recherche de correspondances dans les typologies d'habitats sur le site de l'INPN (source : INPN, 2022).....	20
Figure 15 : 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 16 : Exemples de la hiérarchie d'EUNIS et les critères utilisés aux différents niveaux (source : Galparsoro et al., 2012)	22
Figure 17 : EUNIS - Traduction française des habitats benthiques des Régions Atlantique et Méditerranée (source : Ifremer, 2015).....	23
Figure 18 : Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS (source : OFB, 2019)	24
Figure 19 : Hiérarchie d'EUNIS dans sa version de 2022 (source : EUNIS, 2022)	24
Figure 20 : 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)	25
Figure 21 : Comparaison des anciennes et nouvelles appellations et déclinaisons des HIC (source : de Bettignies et al, 2021)	26
Figure 22 : : Interprétation française des Habitats d'Intérêt communautaire marins (source : de Bettignies et al., 2021)	26
Figure 23 : Rappel de la localisation des stations échantillonnées. Source : Setec énergie environnement.....	27
Figure 24 : Photos des échantillons de sédiments des 7 prélèvements	28
Figure 25 : Représentation des classes de sédiments en fonction des stations	29
Figure 26 : Diagramme de Folks pour toutes les stations	30
Figure 27 : Densité et richesse spécifique des stations d'études	33

Figure 28 : Répartition de la richesse spécifique selon le groupe zoologique	34
Figure 29 : Répartition de l'abondance (0.26m ²) selon le groupe zoologique	34
Figure 30 : Illustrations d'espèces de polychètes inventoriées : <i>Nephtys cirrosa</i> , <i>Scolecipis (Scolecipis) squamata</i> , <i>Ophelia rathkei</i> , <i>Spio martinensis</i>	35
Figure 31 : Illustrations d'espèces d'arthropodes inventoriées : <i>Bathyporeia pelagica</i> , <i>Talitrus saltator</i> , <i>Philocheras trispinosus</i> , <i>Eurydice pulchra</i> , ...	35
Figure 32 : Indices de diversité de Shannon et d'Équitabilité sur les stations d'étude.....	36
Figure 33 : Modèle DIMO appliqué aux stations.....	37
Figure 34 : Répartition des groupes écologiques sur les stations d'étude et valeur moyenne de l'AMBI	39
Figure 35 : Valeur de l'indice AMBI et degré de perturbation	39

Tableaux

Tableau 1 : Coordonnées GPS en degrés, minutes, secondes et heures de prélèvement des stations d'échantillonnage relevées in situ	9
Tableau 2 : Classification granulométrique (source : modifiée d'après Wentworth, 1922)	19
Tableau 3 : Faciès des stations échantillonnées (selon Wentworth modifiée)	29
Tableau 4 : Résultats des analyses chimiques des stations S1, S2, S3, S4, S5, S6 et S7.	31
Tableau 5 : Paramètres de richesse spécifique et d'abondance des espèces sur les stations d'étude.....	32
Tableau 6 : Liste d'espèces et abondances sur les stations	32
Tableau 7 : Valeurs de l'indice de Shannon-Weaver et de l'Équitabilité.....	36
Tableau 8 : Valeurs de l'indice AMBI et pourcentages des groupes écologiques sur les stations	38
Tableau 9 : Tableau récapitulatif des biocénoses des stations présentes suivant les typologies (source : setec énergie environnement, 2024)	43

1 Objectif de la mission

Une opération de sécurisation pyrotechnique ainsi que des opérations de rechargement en sable sont prévues dans le cadre du projet de gestion pluriannuelle du cordon dunaire du Platier d'Oye de la commune d'Oye-Plage. Afin d'intégrer au mieux le projet à son environnement, une des missions consiste à vérifier la compatibilité sédimentaire de la zone de prélèvement et de la zone de rechargement. Cette compatibilité s'axe sur la granulométrie, la composition en faune benthique et la contamination chimique.

Le présent rapport fait état des résultats obtenus pour ces 3 axes (granulométrie, composition faunistique et contamination) pour toutes les zones concernées par l'opération de sécurisation pyrotechnique ainsi que les zones de prélèvement et celles de rechargement en sable.

2 Déroulement de la mission

2.1 Date de la mission, composition de l'équipe et accès à la plage

La mission s'est déroulée sur la journée du 21 août 2024 lors des marées de vives eaux. Les coefficients de marée étaient de 101 le matin et de 105 l'après-midi.

L'équipe était composée de deux membres de chez Setec énergie environnement.

L'équipe est arrivée sur la plage 2h avant l'étale de marée basse du matin afin de réaliser les prélèvements sur les stations les plus éloignées et est retournée l'après-midi 1h après la marée haute pour réaliser les prélèvements des stations situées en haut de plage.

L'équipe est entrée sur la plage par le parking de la plage par lequel la passerelle et l'escalier sont adaptés au passage avec les chariots, comme le montrent les Figure 1 et Figure 2.



Figure 1 : Passerelle par le parking de la plage des Ecardines, photo prise le 20 août 2024.



Figure 2 : Escalier par le parking de la plage des Ecardines, photo prise le 20 août 2024.

2.2 Matériel et méthode

L'analyse des échantillons permettra de qualifier certaines propriétés du sédiment ainsi que son habitat benthique.

Les échantillons prélevés font donc l'objet des caractérisations suivantes :

- La caractérisation des propriétés physiques, notamment la granulométrie du sédiment et la matière organiques (analyses sédimentaires physiques) ;
- La caractérisation biologique des peuplements benthiques (analyses faunistiques) ;

- La caractérisation des propriétés chimiques, notamment l'analyse de la contamination du sédiment selon les seuils N1/N2.

2.2.1 Présentation des stations de prélèvements

La carte suivante présente la localisation des stations échantillonnées. Une station a été fixée par zone de travaux.

- S1 et S2 correspondent aux zones de rechargement de sable,
- S3 et S4 correspondent aux zones de prélèvement de sable,
- S5, S6 et S7 correspondent aux zones de circulation des engins entre les zones de rechargement et de prélèvement.

Toutes ces zones feront l'objet de l'opération de dépollution pyrotechnique.

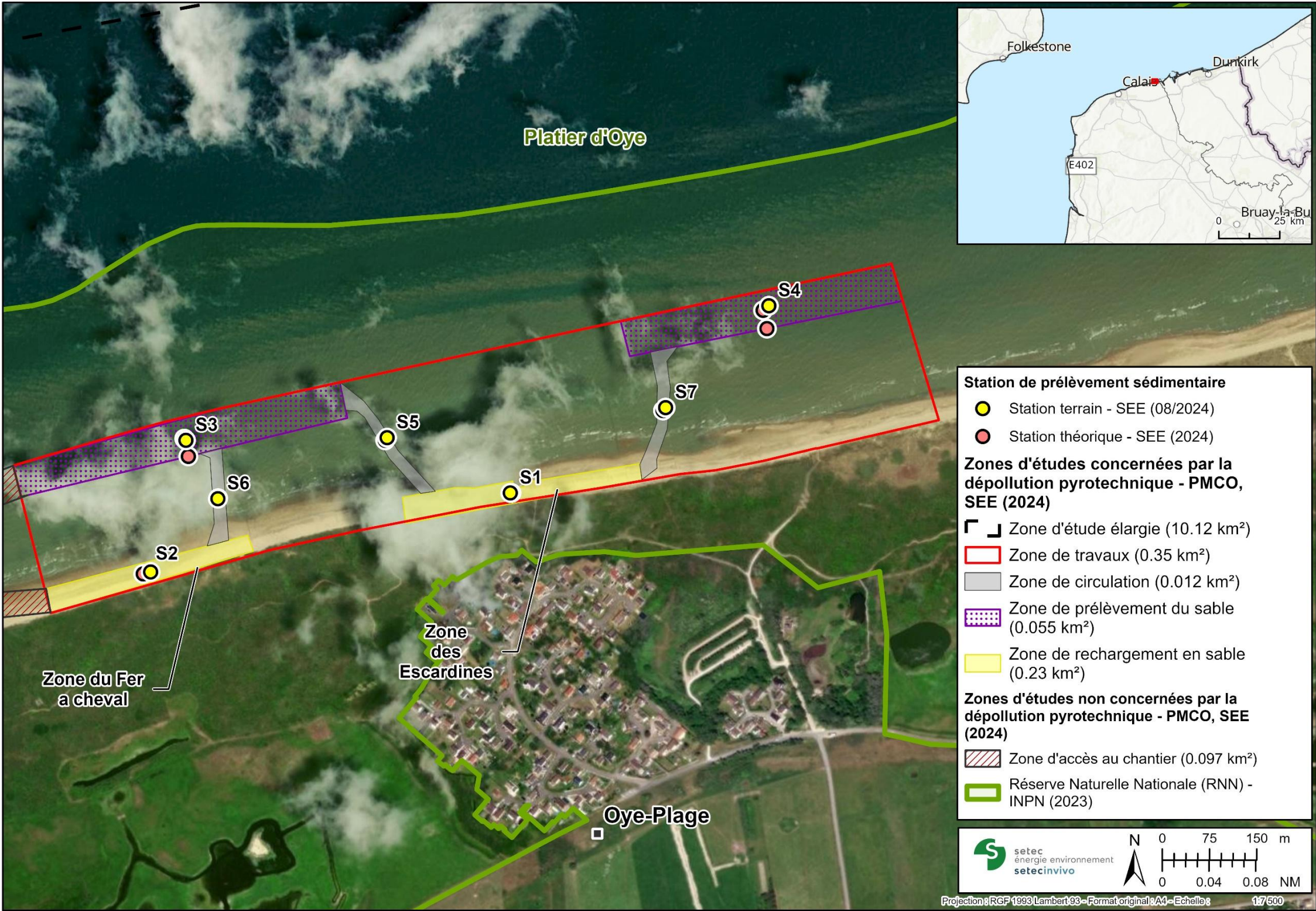


Figure 3 : Localisation des stations échantillonnées. Source : Setec énergie environnement.

Les coordonnées GPS relevées sur le terrain sont résumées dans le tableau suivant. Il présente également les heures de prélèvement et des commentaires. Toutes les stations sont concernées par les trois types d'analyse (granulométrie, analyse chimique, inventaire macrofaune benthique).

Tableau 1 : Coordonnées GPS en degrés, minutes, secondes et heures de prélèvement des stations d'échantillonnage relevées in situ

NOM	LONG_DMS RÉALISÉ	LAT_DMS RÉALISÉ	HEURE DÉBUT	HEURE FIN	COMMENTAIRE
S1	002° 03' 39.69" E	51° 00' 21.61" N	16h05	16h25	
S2	002° 03' 10.55" E	51° 00' 17.35" N	16h35	17h00	
S3	002° 03' 13.3" E	51° 00' 24.11" N	8h20	8h55	Grande quantité de sable, obligé de mettre dans 2 seaux.
S4	002° 04' 0.5" E	51° 00' 31.36" N	7h40	8h00	
S5	002° 03' 29.63" E	51° 00' 24.36" N	10h05	10h25	
S6	002° 03' 15.93" E	51° 00' 21.14" N	9h05	9h45	
S7	002° 03' 52.21" E	51° 00' 26.08" N	10h35	11h00	

2.2.2 Prélèvements et traitement des sédiments

Le protocole de prélèvement est issu du document de référence de la DCE¹ (2014) qui s'appuie lui-même sur les documents du REBENT² et de la norme NF EN ISO 16665³.

Les prélèvements ont été réalisés au moyen d'un carottier à main cylindrique TASM de diamètre interne de 192,2 mm, soit sur une surface normée de 0,029 m². Le carottier était enfoncé jusqu'à 20 cm de profondeur, permettant ainsi 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 initial ou avec les données temporelles issues de campagnes précédentes ou de la bibliographie.

Pour chaque station, la surface totale requise pour l'étude de la macrofaune benthique s'élève à 0,26 m². De ce fait, 9 prélèvements ont donc été effectués sur chaque station pour atteindre cette surface.

L'échantillon récolté a été tamisé sur tamis de maille carrée de 1 mm, cette taille permettant 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 ensuite récupérés puis conservés dans l'alcool à 70° (Éthanol) dans des seaux en plastique.



Figure 4 : Illustration du matériel nécessaire aux prélèvements sédimentaire. Auteur : SEE.

¹ Garcia A., Desroy N., Le Mao P., Miossec L. – 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 2014 – 13 p. + Annexes.

² Hily. C. et Grall. J. 2003. Fiche Technique REBENT 01 - Echantillonnage quantitatif des biocénoses subtidales de substrats meubles.

³ Norme NF EN ISO 16665. 2014. Qualité de l'eau - Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles.

Un dixième prélèvement était effectué pour récupérer le sédiment pour les analyses physiques et chimiques. Pour les analyses chimiques et la matière organique, les sédiments ont été conditionnés directement dans des flacons en verre ambrés fournis par le laboratoire Eurofins. Pour la granulométrie, les sédiments ont directement été mis dans des contenants étanches et ont été traités dans le laboratoire de Setec Energie Environnement à La Forêt-Fouesnant selon la méthode décrite en paragraphe 2.2.2.2.

Tous les contenants ont fait l'objet d'un codage. Les flacons en verre ont été conditionnés dans des glacières avec des blocs réfrigérants jusqu'à l'envoi au laboratoire. Les autres pots et seaux sont stockés au laboratoire de Setec énergie environnement jusqu'à leurs analyses.



Figure 5 : Illustration de la méthode de prélèvement des sédiments (photo en haut à gauche), d'une photo de la zone prélevée réalisée sur chaque station (photo en haut à droite) et des 9 prélèvements réalisés sur chaque station avant tamisage pour inventorier la faune benthique (photo du bas).

2.2.2.1 Analyse faunistique

Le protocole pour le tri et l'identification de la faune benthique est le suivant :

Rincage

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.

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*...) et conservés dans des piluliers contenant de l'éthanol à 70°.

Identification spécifique

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

La liste bibliographique des ouvrages et documents utilisés pour la détermination est citée en fin de rapport. La validité de chaque nom d'espèce a été vérifiée sur le World Register of Marine Species (WoRMS).

Dénombrement

En règle générale, le dénombrement se 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 est alors comptabilisé pour signaler sa présence.



Figure 6 : Illustrations du tri, de l'identification et du dénombrement effectués en laboratoire.

2.2.2.2 Analyse des paramètres physiques

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). L'analyse de la granulométrie est réalisée par les équipes spécialistes de Setec énergie environnement.

Les étapes sont les suivantes :

Lavage avec élimination de la fraction de pélites et séchage :

- Dans un premier temps, l'échantillon brut est photographié ;
- Lorsque l'échantillon est strictement sableux (dépourvu de fraction fine), le sédiment est directement rincé à l'eau douce et mis à l'étuve pour séchage à 60°C durant 48h ;
- Si l'échantillon est vaseux, il est tamisé sous 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 quantifié. Au bout de 24 h, une fois le sédiment décanté, l'eau est siphonnée avec précaution. Après cette étape, le passant et le refus de tamis sont tous deux mis à l'étuve à 60°C pendant 48h.

Tamisage

- Après séchage, l'échantillon est tamisé sur colonne de tamis. Les tamis que nous utilisons 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 est programmée pour 10 minutes de vibrations à une fréquence de 2000 vibrations/sec.

Pesées

- Chaque refus de tamis, correspondant à une fraction granulométrique, est vidé au mieux avec un pinceau doux sans forcer sur le maillage, dans un petit récipient ;
- La fraction est 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 ;



Figure 7 : Illustration des étapes de traitement en laboratoire : (a) séchage en étuve, (b) tamisage et (c) pesée (source : setec énergie environnement, 2022)

Teneur en matière organique totale (MO)⁴

La matière organique (MO) peut être calculée grâce au rapport constant :

$$\%MO / \%C = 1,724$$

⁴ Fournier J., Bonnot-Courtois C., Paris R., Voldoire O., Le Vot M., 2012. Analyses granulométriques, principes et méthodes. CNRS, Dinard, 99p.

La teneur en MO s'obtient par la méthode de la perte au feu. Cette méthode est déconseillée pour les échantillons possédant beaucoup de calcaire. Le domaine d'étalonnage de cette méthode varie de 1 à 50% de MO.

C'est le laboratoire EUROFINs qui effectue cette analyse sur les échantillons.

2.2.2.3 Analyse des paramètres chimiques

Les paramètres chimiques sont analysés par le laboratoire Eurofins.

Eurofins Analyses pour l'Environnement

5, rue d'Oterswiller - 67700 Saverne

Tél 03 88 911 911 - Fax 03 88 916 531

Une partie des métaux a été analysée par spectrophotométrie de masse et une autre partie par chromatographie.

2.2.3 Analyse des données

2.2.3.1 Analyses faunistiques

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

- La structure des peuplements (abondance, densité, richesse spécifique selon les groupes zoologiques) ;
- La caractérisation des peuplements (indices de diversité...) ;
- La caractérisation de l'état général de ces peuplements et de leur sensibilité dans le temps.

2.2.3.1.1 Richesse spécifique (S) et Abondance (A)

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 répliquas 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).

2.2.3.1.2 Indices de diversité

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.

2.2.3.1.2.1 Indice de Shannon-Weaver (H')

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 abondante en termes de densité, de biomasse, de productivité ou de tout autre critère de leur importance relative.

À l'opposé, la fraction largement majoritaire est constituée d'espèces peu communes, rares, voire très rares. Tandis que les espèces dominantes jouent un rôle majeur dans le fonctionnement de l'écosystème, les nombreuses espèces rares conditionnent la diversité du peuplement.

Il s'avère nécessaire de combiner l'abondance relative des espèces et la richesse spécifique totale afin d'obtenir une expression mathématique de l'indice général de diversité. De nombreux indices de ce type ont été proposés qui dérivent de la « théorie de l'information ». Parmi ces indices, nous avons utilisé celui de Shannon-Weaver dont la formule est la 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.

2.2.3.1.2.2 Indice d'équitabilité de Pielou (E')

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.

2.2.3.1.2.3 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 suivante modifiée d'après Qinghong, 1995).

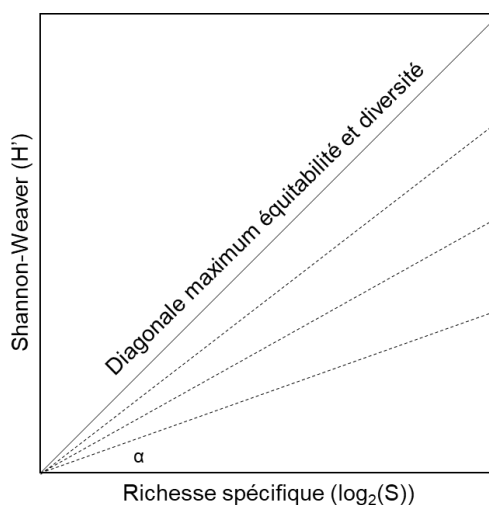


Figure 8 : Représentation graphique du modèle DIMO (source : modifié d'après Qinghong, 1995)

2.2.3.1.3 Indices basés sur les groupes écologiques

L'évaluation de la qualité environnementale d'un milieu peut également, et de manière complémentaire, être approchée par une analyse et une reconnaissance des groupes écologiques. Ces derniers sont composés d'espèces de polluo-sensibilité différentes. Ces groupes sont considérés comme des indicateurs biologiques face à l'excès de matière organique et au déficit d'oxygène résultant de sa dégradation. Les espèces sont regroupées en cinq (5) groupes écologiques de polluo-sensibilité différente :

- **Groupe I** : espèces sensibles à une hypertrophisation. Elles disparaissent les premières lorsqu'il y a enrichissement du milieu. Ce sont des suspensivores, des carnivores sélectifs et quelques dépositivores de subsurface tubicoles.
- **Groupe II** : espèces indifférentes à une hypertrophisation du milieu. Ces espèces sont peu influencées par une augmentation de la quantité de matière organique (espèces carnivores et nécrophages peu sélectives).
- **Groupe III** : espèces tolérantes à une hypertrophisation du milieu. Ces espèces sont naturellement présentes dans les vases, mais comme leurs proliférations sont stimulées par l'enrichissement du milieu, leur présence est un signe du déséquilibre du système. Ce sont des espèces dépositivores de surface, profitant du film superficiel chargé de matière organique.
- **Groupe IV** : espèces opportunistes de second ordre. Ce sont de petites espèces à cycle court (< 1 an), abondantes dans les sédiments réduits des zones polluées. Ce sont des dépositivores de subsurface.
- **Groupe V** : espèces opportunistes de premier ordre. Ce sont des dépositivores, proliférant dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface.

Le modèle des Indices Biotiques (IB) mis en place par Glémarec et Hily (1981) a permis de distinguer 4 grandes étapes de variations du milieu en fonction des espèces observées :

- **Indice Biotique = 0**. Il constitue l'état normal d'un peuplement avec une dominance des espèces sensibles (Groupe écologique I), les premières à disparaître en cas de pollution organique. Ce sont généralement des suspensivores, dépositivores de surface ou carnivores.
- **Indice Biotique = 2**. Les espèces tolérantes (Groupe 3) sont stimulées et sont beaucoup plus abondantes. Ce sont des dépositivores de surface comme les mollusques bivalves (Abra, Tellina, etc.), des polychètes Ampharetidés ou des Spionidés. Apparaissent aussi les premiers détritivores, consommateurs de matière végétale figurée (Crustacé, Tanaïdace), c'est le cas des Nereidés ou d'amphipodes Talidridés, Dexaminidés,

Gammaridés, Melitidés, etc. Ces espèces tolérantes, dominant les espèces sensibles, définissent cette première étape du déséquilibre.

- **Indice Biotique = 4.** C'est la première étape de pollution. Le milieu est caractérisé par des espèces opportunistes de second ordre (groupe IV) susceptibles de proliférer. Ces espèces sont des déposivores de surface ou de subsurface (limivores) qui appartiennent à des familles de polychètes spécialisées parmi lesquelles les Cirratulidés, les Spionidés du genre *Polydora* avec de nombreuses espèces, les Nereidés du genre *Neanthes*, des Eunicien de la famille des Dorvilleidés et des Capitellidés.
- **Indice Biotique = 6.** C'est l'étape de pollution maximale, caractérisée par quelques espèces opportunistes de 1er ordre, qui atteignent des densités exceptionnelles (100 000 ind/m²) à la surface des sédiments réduits. Ces espèces très peu nombreuses sont : le Capitellidé *Capitella capitata* (complexe d'espèces), le Spionidé *Malacoceros fuliginosus* et le Leptostracé *Nebalia bipes*. Ces espèces cohabitent avec de nombreux Oligochètes (*Clitellata*) et nématodes.

Entre ces quatre (4) grandes étapes existent des étapes de transition (IB = **1, 3 et 5**), définies en premier lieu par l'effondrement des paramètres de Richesse Spécifique S et d'Abondance A ou au contraire, par l'explosion d'une espèce indifférente (groupe II), favorisée par le manque de compétition. Ces espèces sont généralement carnivores (ex. : *Nephtys hombergii*) ou nécrophages (ex. : *Pagurus*). L'étape 7 correspond au milieu azoïque, c'est-à-dire qu'aucun invertébré n'y survit.

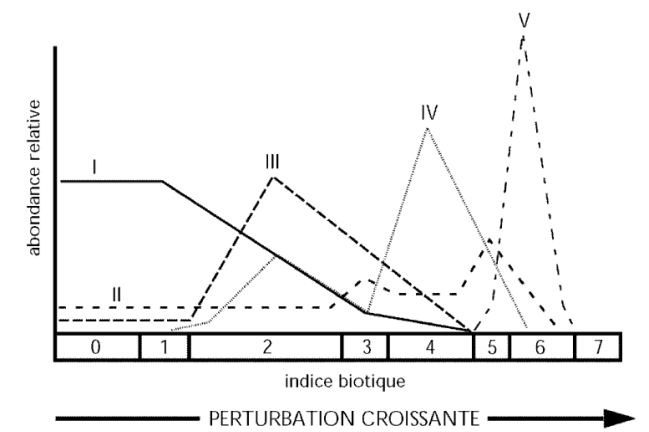


Figure 9 : Modèle des Indices biotiques montrant l'importance relative des différents groupes écologiques le long du gradient de perturbations croissantes (Glémarec et Hily, 1981)

2.2.3.1.3.1 L'indice biotique pour la macrofaune benthique : l'AMBI

Les indices biotiques pour la macrofaune benthique ont été développés dans le cadre du contrôle de surveillance des masses d'eaux côtières et de transition pour la Directive Cadre sur l'Eau (Agence de l'Eau & Ifremer). L'indice AMBI repose sur les proportions d'abondance que représentent les 5 groupes écologiques correspondant au classement des espèces en fonction de leur sensibilité/tolérance face à un gradient de stress environnemental (par exemple une pollution ou une modification du milieu). L'indice calculé permet de qualifier le milieu de 0 (milieu normal, aucune pollution) à 7 (milieu azoïque, très forte pollution).

Calcul de l'AZTI Marine Biotic Index (AMBI) (Borja et al., 2000) :

$$AMBI = \{(0 \times \%GI) + (1.5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4.5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)\} / 100$$

Avec :

- %GI : abondance relative des espèces sensibles aux perturbations
- %GII : abondance relative des espèces indifférentes aux perturbations
- %GIII : abondance relative des espèces tolérantes aux perturbations
- %GIV : abondance relative des espèces opportunistes de second ordre
- %GV : abondance relative des espèces opportunistes de premier ordre

L'AMBI a été soumis à de multiples tests pour vérifier sa validité (Borja et al., 2004) et possède l'avantage d'avoir été comparé à ceux fournis par d'autres analyses univariées (diversité, richesse spécifique) ou multivariées pour prouver sa robustesse et son pouvoir discriminant. D'autre part, il a été validé par une série de tests basés sur des composants chimiques (Borja et al., 2000) en identifiant et caractérisant des gradients spatiaux et temporels.

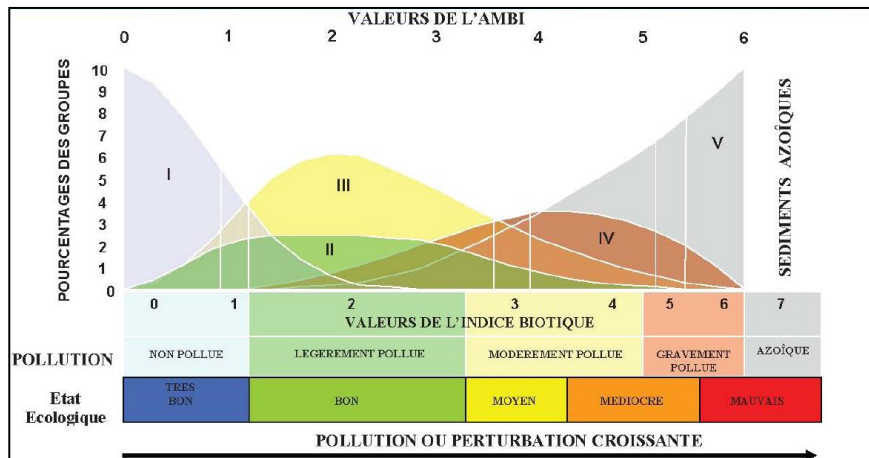


Figure 10 : Base écologique de l'indice AMBI (Borja et al., 2000)

Etat écologique	AMBI	Classification de la pollution
Mauvais	$5.5 < AMBI \leq 7$	Azoïque
Médiocre	$4.3 < AMBI \leq 5.5$	Gravement pollué
Moyen	$3.3 < AMBI \leq 4.3$	Modérément pollé
Bon	$1.2 < AMBI \leq 3.3$	Légèrement pollué, état transitoire
Très bon	$0 < AMBI \leq 1.2$	Normal

Figure 11 : Équivalence entre les valeurs de l'AMBI et les différents états écologiques de la DCE (Borja et al, 2004)

L'indice AMBI permet la classification de la qualité écologique des eaux littorales par l'analyse des composantes biotiques du milieu (peuplements benthiques). En effet, une corrélation avec les États écologiques définis par la Directive Cadre Eau (DCE) a été proposée par Borja (2004).

2.2.3.1.3.2 L'indice biotique M-AMBI

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 (3) facteurs à la fois.

Environnement hydro-sédimentaire	Etat	Richesse spécifique	Diversité de Shannon-Weaver	AMBI
Sables fins plus ou moins envasés subtidiaux	Très bon	58	4	1
	Très mauvais	1	0	6
Sables fins plus ou moins envasés 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

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

EcoQ	H'	AMBI	M-AMBI
Très bon	$H' > 4$	$AMBI \leq 1,2$	$M-AMBI > 0,85$
Bon	$3 < H' \leq 4$	$1,2 < AMBI \leq 3,3$	$0,55 < M-AMBI \leq 0,85$
Moyen	$2 < H' \leq 3$	$3,3 < AMBI \leq 4,3$	$0,4 < M-AMBI \leq 0,55$
Pauvre	$1 < H' \leq 2$	$4,3 < AMBI \leq 5,5$	$0,2 < M-AMBI \leq 0,4$
Mauvais	$H' \leq 1$	$5,5 < AMBI \leq 7$	$M-AMBI \leq 0,2$

Figure 13 : Synthèse des valeurs de l'EcoQ pour l'indice de Shannon-Weaver (Molvaer et al., 1997), de l'AMBI (Borja et al., 2003) et le M-AMBI (Muxika et al., 2007)

Le M-AMBI est simple d'utilisation notamment grâce au logiciel AMBI et est très parlant dans le domaine des études de la faune benthique, cependant il doit tout de même être manipulé et interprété avec précaution.

Le M-AMBI a des conditions d'utilisation. Borja et Muxika (2005) ont préconisé certains filtres concernant les données que voici :

1. Ne jamais utiliser l'AMBI sur des communautés de substrat dur ;
2. Retirer les taxa n'appartenant pas aux invertébrés benthiques ;
3. Retirer tous les taxa d'eau douce ;
4. Pour les salinités supérieures à 10, retirer les insectes ;
5. Retirer les juvéniles quand l'espèce n'est pas identifiée ;
6. Retirer les taxa spécifiques aux sédiments non meubles (nudibranches ...) ;
7. Retirer les taxa appartenant à l'épifaune ;
8. Retirer les espèces appartenant au plancton ;
9. Ne jamais utiliser les hauts niveaux taxonomiques, excepté ceux présents dans la liste d'espèces fournie par l'AZTI ⁵.

⁵ Logiciel « AZTI Marine Biotic Index. V. 5.0 » développé par AZTI Tecnalia téléchargeable sur : <http://ambi.azti.es>

D'après Borja (2013) :

10. La Richesse spécifique (S) doit être supérieure à 4 ;
11. L'abondance (A) doit être supérieure à 6 ;
12. Le pourcentage de taxa « non assignés » (% NA) à un groupe écologique doit être inférieur à 20 % ;
13. Les taxa doivent être actualisés et les synonymes identifiés avant l'assignation à un groupe écologique ;
14. La surface d'échantillonnage doit être identique pour tous les prélèvements ;
15. Un minimum de 50 stations est recommandé pour **optimiser** la robustesse du M-AMBI.

2.2.3.2 Analyses granulométriques

La classification granulométrique que nous avons utilisée est modifiée d'après Wentworth (1922) et présentée dans le tableau suivant :

Tableau 2 : 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 correspondante, 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.

À noter que les 2 échantillons qui ont fait l'objet d'une analyse physico-chimique par Eurofins, ont également fait l'objet d'une analyse granulométrique par laser. Cette méthode est intéressante pour analyser des sédiments fins de vase. Pour les sédiments de sable concernés par la mission, cette méthode n'apporte pas d'information complémentaire.

2.2.3.3 Classification des habitats

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

2.2.3.3.1 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)

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 Rivière 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 15 : 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.

2.2.3.3.2 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.

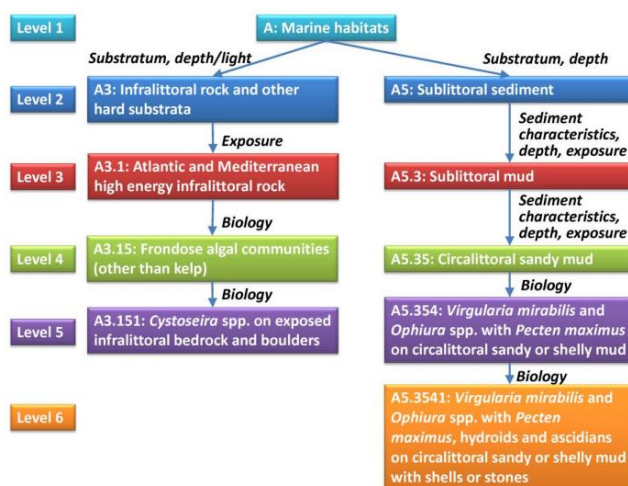


Figure 16 : Exemples de la hiérarchie d'EUNIS et les critères utilisés aux différents niveaux (source : Galparsoro et al., 2012)

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, descriptif EUNIS, Barcelone, cartes historiques).



Figure 17 : EUNIS - Traduction française des habitats benthiques des Régions Atlantique et Méditerranée (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.

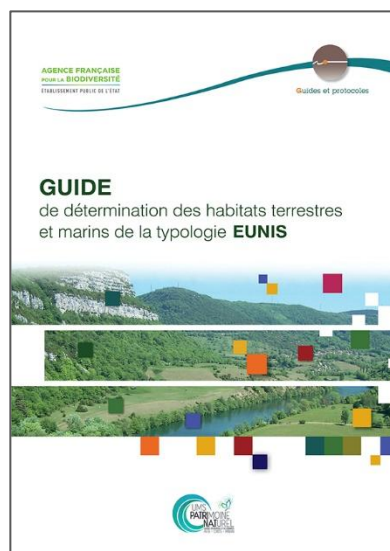


Figure 18 : Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS (source : OFB, 2019)

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

2.2.3.3.3 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 ».

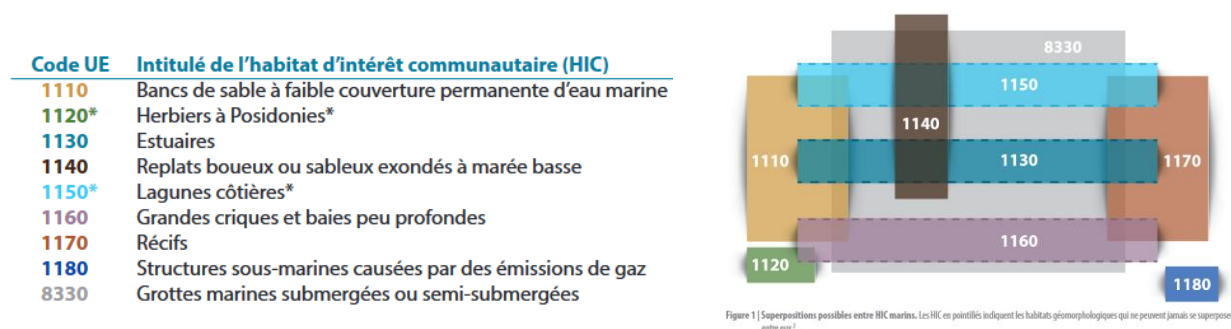


Figure 20 : Liste des Habitats naturels d'intérêt communautaire ou HIC, considérés comme HIC marins en France métropolitaine (* = habitat prioritaire) et superpositions possibles entre HIC marins (source : de Bettignies et al, 2021)

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.

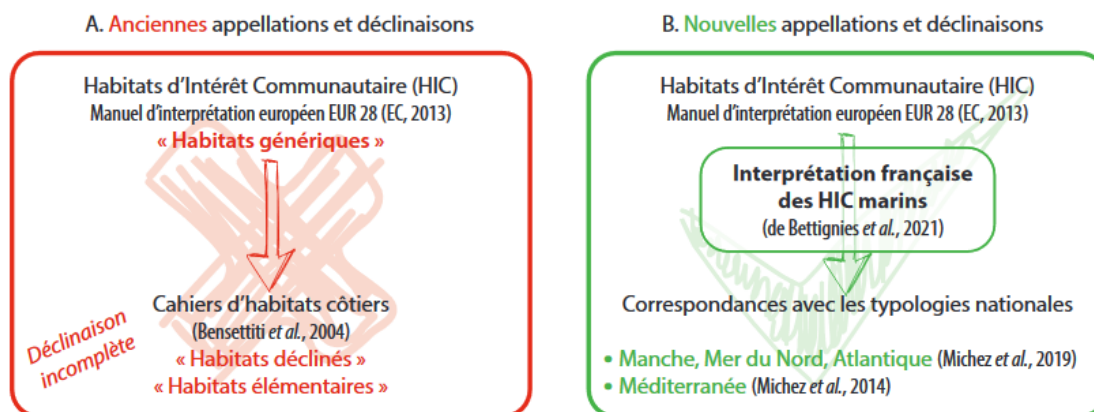


Figure 21 : Comparaison des anciennes et nouvelles appellations et déclinaisons des HIC (source : de Bettignies et al., 2021)



Figure 22 : Interprétation française des Habitats d'Intérêt communautaire marins (source : de Bettignies et al., 2021)

2.2.3.4 Analyse des paramètres chimiques

Les résultats des analyses sont comparés aux seuils N1/N2 Arrêté du 30 juin 2020 modifiant l'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.

3 Résultats

3.1 Analyse des données granulométriques

La Figure 23 ci-dessous reprend les stations échantillonnées au cours de la mission. Celles-ci ont été établies en fonction des différentes zones des travaux. Elles correspondent également aux différents niveaux de l'estran.

- S1 et S2 : stations de haut de plage ;
- S3 et S4 : stations du bas de l'estran ;
- S5, S6 et S7 : stations au milieu de l'estran.

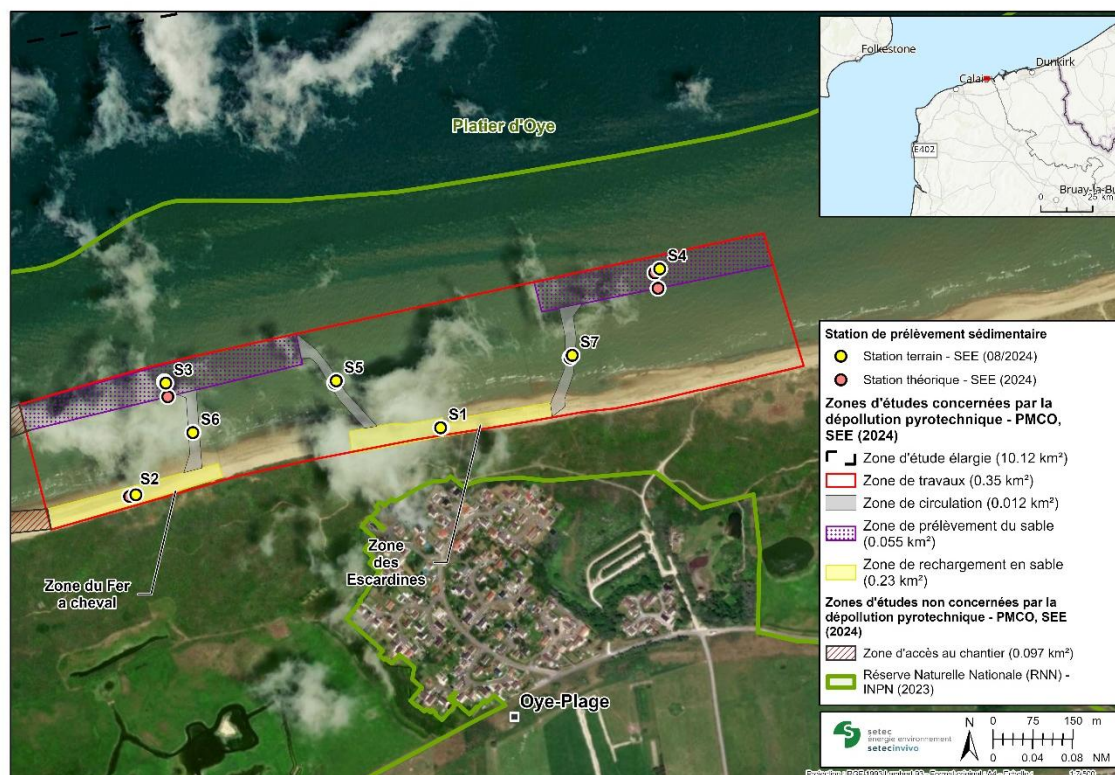


Figure 23 : Rappel de la localisation des stations échantillonnées. Source : Setec énergie environnement.

Les photos ci-dessous représentent le sédiment brut des prélèvements.

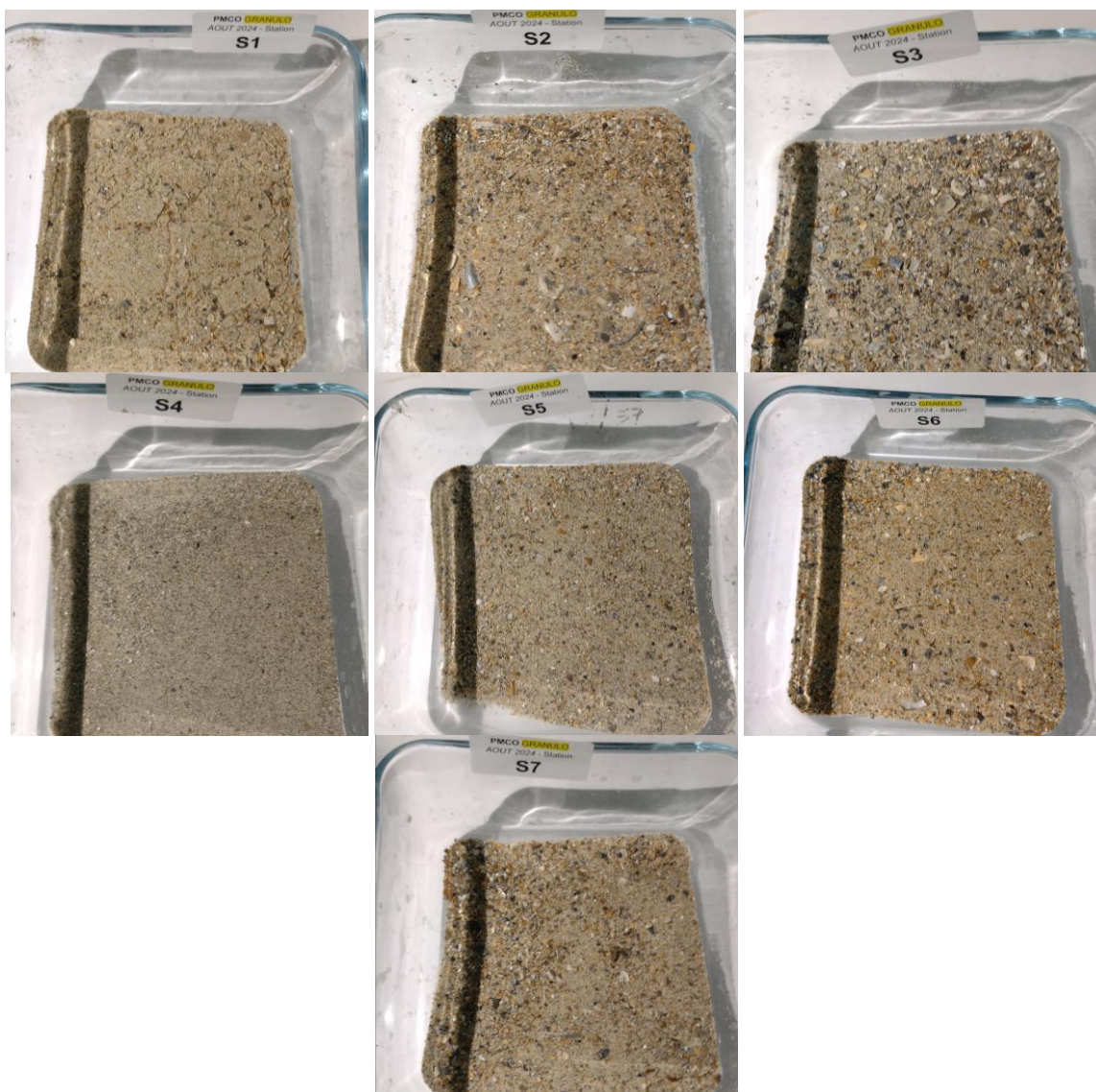


Figure 24 : Photos des échantillons de sédiments des 7 prélèvements

L'analyse qualitative des échantillons pour chaque station est représentée sur les figures suivantes. De manière générale, tous les échantillons sont composés en majorité de sables moyens avec une part de sables fins plus ou moins conséquent en fonction des stations. La station S4 est quant à elle classée en sables fins.

Le diagramme de Folk permet de visualiser toutes les stations biosédimentaires étudiées selon une autre classification. Cette représentation montre une seule tendance : les stations sont classées dans les « sables » (S).

Les pourcentages en particules fines ($> 63\mu\text{m}$) sont nuls sur toutes les stations.

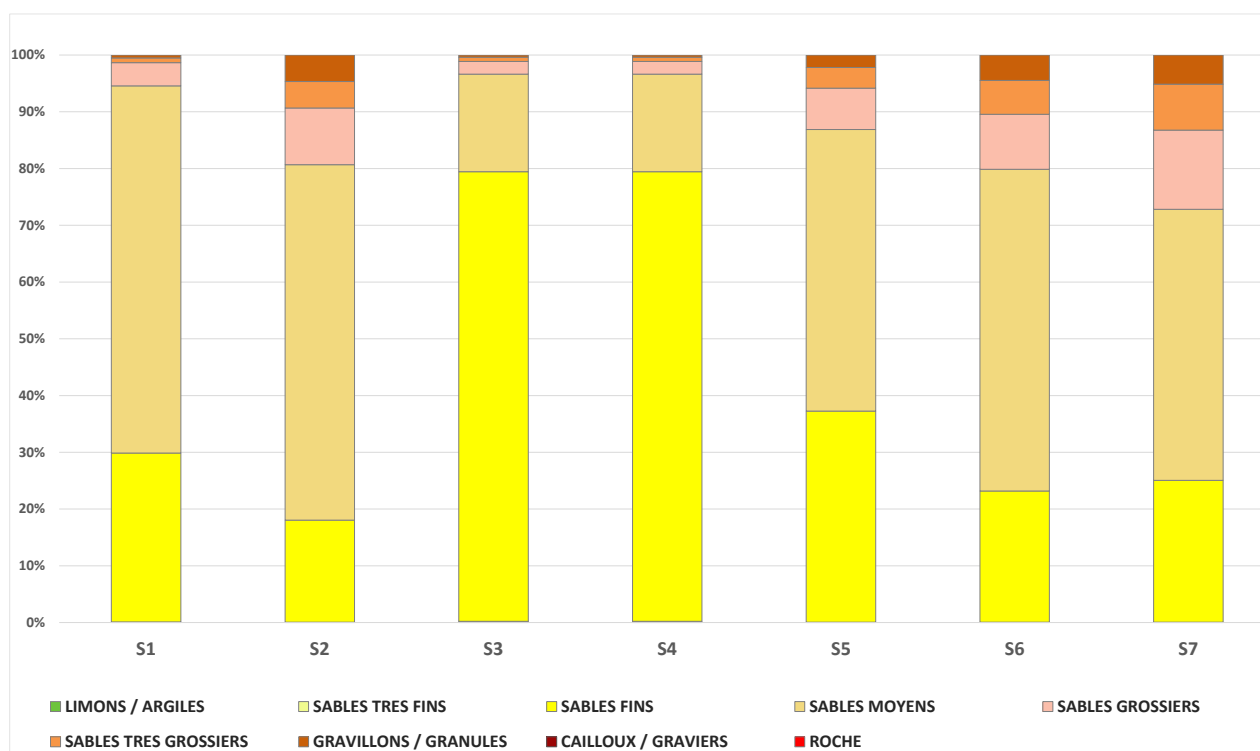


Figure 25 : Représentation des classes de sédiments en fonction des stations

Tableau 3 : Faciès des stations échantillonnées (selon Wentworth modifiée)

Echantillons	Mode (µm)	Médiane (µm)	Fraction fine (%)	Faciès
S1	250	286	0.0	SABLES MOYENS
S2	315	336	0.0	SABLES MOYENS
S3	125	348	0.0	SABLES MOYENS
S4	125	204	0.0	SABLES FINS
S5	125	277	0.0	SABLES MOYENS
S6	250	307	0.0	SABLES MOYENS
S7	315	331	0.0	SABLES MOYENS

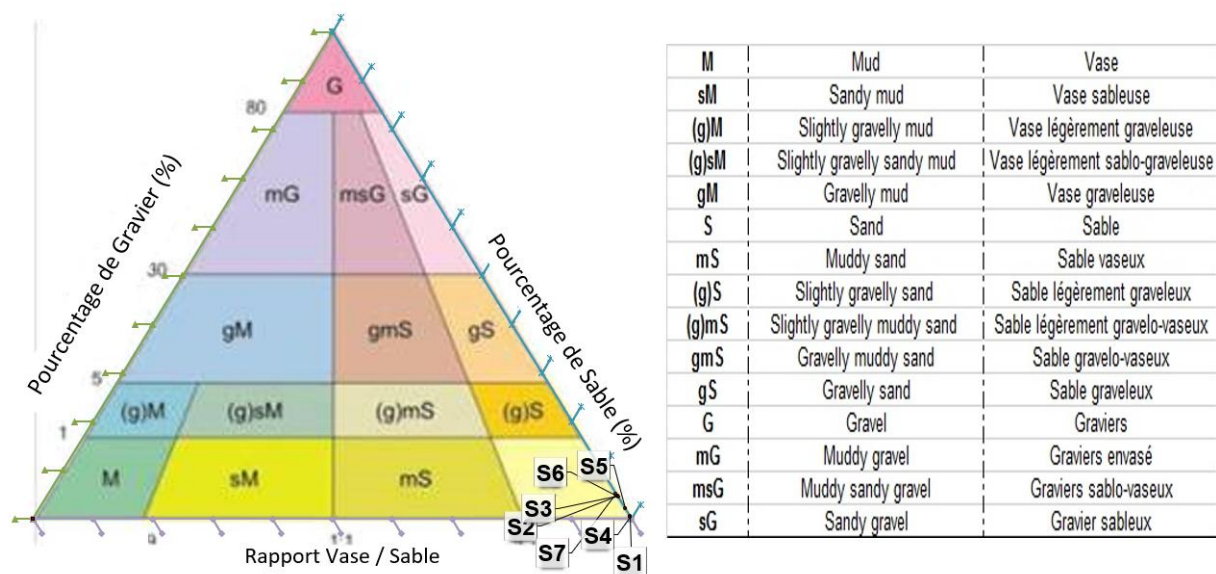


Figure 26 : Diagramme de Folks pour toutes les stations

Conclusion : Les sédiments prélevés dans la zone de prélèvement de sable et celle de rechargement ont des caractéristiques très proches. Le diagramme de Folk met en évidence que toutes les stations sont classées dans la partie sableuse « S ». Les stations S6 et S7 situées à chaque extrémité de la zone de prélèvement présentent une fraction de sables moyens et grossiers un peu plus conséquente que les autres stations. Aucune des stations ne présente de fraction fine < 63µm.

3.2 Analyse chimique des sédiments

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant. Aucun résultat ne dépasse les seuils réglementaires N1, N2 et seuil d'interdiction de clapage.

Tableau 4 : Résultats des analyses chimiques des stations S1, S2, S3, S4, S5, S6 et S7.

Paramètres	Unités	Seuil N1	Seuil N2	Seuil N3	24E156399-001	24E156399-002	24E156399-003	24E156399-004	24E156399-005	24E156399-006	24E156399-007
					S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
					21/08/2024	21/08/2024	21/08/2024	21/08/2024	21/08/2024	21/08/2024	21/08/2024
Matière sèche											
Matière sèche	% P.B./No unit				92.3	85.6	80.8	77.7	80.6	82.3	88.9
Mesures physiques											
Masse volumique	g/cm ³				1.57	1.67	2.13	2.16	1.88	1.79	1.62
Perte au feu à 550°C	% MS/No unit				0.365	0.737	0.916	1.47	0.614	0.775	0.727
Pourcentage cumulé 0.02 à 2 µm	%/No unit				0	0	0	0.38	0	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 20 µm	%/No unit				0	0	0	1.27	0	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 63 µm	%/No unit				0	0	0	1.27	0	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 200 µm	%/No unit				3.81	1.77	14.28	25.38	16.04	6.48	4.93
Pourcentage cumulé 0.02 à 2000 µm	%/No unit				100	100	100	100	100	100	100
Fraction 2 - 20 µm	%/No unit				0	0	0	0.89	0	0	0
Fraction 20 - 63 µm	%/No unit				0	0	0	0	0	0	0
Fraction 63 - 200 µm	%/No unit				3.81	1.77	14.28	24.11	16.04	6.48	4.93
Fraction 200 - 2000 µm	%/No unit				96.19	98.23	85.72	74.62	83.96	93.52	95.07
Analyses immédiates											
pH extrait à l'eau	No unit/No unit				9.5	9.3	9.2	9.1	9.2	9.2	9.2
Indice de pollution											
Azote Kjeldahl	g/kg M.S.				< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Carbone Organique Total par Combustion	% C/No unit				< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Métaux											
Aluminium	mg/kg M.S.				467	591	544	585	841	478	482
Arsenic	mg/kg M.S.	25	50	100	2.87	3.06	3.08	3.05	4	3.07	2.82
Cadmium	mg/kg M.S.	1.2	2.4	10	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Chrome	mg/kg M.S.	90	180	370	2.39	2.87	4.19	3.17	3.74	2.53	2.49
Cuivre	mg/kg M.S.	45	90	368	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Nickel	mg/kg M.S.	37	74	140	1.47	2.04	1.65	1.76	2.45	1.6	1.67
Phosphore	mg/kg M.S.				186	155	127	126	198	144	130
Plomb	mg/kg M.S.	100	200	500	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Zinc	mg/kg M.S.	276	552	600	< 5	6.72	5.27	5.46	7.38	7.91	< 5
Mercur	mg/kg M.S.	0.4	0.8	1.2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Phosphore (P2O5)	mg/kg M.S.				426	355	290	290	454	331	297
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs)											
Naphtalène	mg/kg M.S.	0.16	1.13	1590	< 0,0021	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,0021	< 0,0022	< 0,0022
Acénaphthylène	mg/kg M.S.	0.04	0.34	480	< 0,0023	0.0033	0.0029	< 0,0022	< 0,0023	< 0,0024	< 0,0024
Acénaphthène	mg/kg M.S.	0.015	0.26	370	< 0,0021	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,0021	< 0,0022	< 0,0022
Fluorène	mg/kg M.S.	0.02	0.28	390	< 0,0021	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,0021	< 0,0022	< 0,0022
Phénanthrène	mg/kg M.S.	0.24	0.87	1230	< 0,0021	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,0021	< 0,0022	< 0,0022
Anthracène	mg/kg M.S.	0.085	0.59	830	< 0,0021	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,0021	< 0,0022	< 0,0022
Fluoranthène	mg/kg M.S.	0.6	2.85	4020	0.0091	< 0,002	0.016	< 0,002	0.0059	< 0,0022	< 0,0022
Pyrene	mg/kg M.S.	0.5	1.5	2120	0.0074	0.0057	0.012	0.0036	0.0054	< 0,0022	< 0,0022
Benzo (a)-anthracène	mg/kg M.S.	0.26	0.93	1310	0.0054	0.0085	0.0081	0.0036	0.0034	< 0,0022	< 0,0022
Chrysène	mg/kg M.S.	0.38	1.59	2240	0.0046	0.0064	0.01	0.0046	0.005	< 0,0022	< 0,0022
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg M.S.	0.4	0.9	1270	0.0051	0.0087	0.015	0.0078	0.0056	< 0,0022	< 0,0022
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg M.S.	0.2	0.4	560	< 0,0021	0.0027	0.0045	0.0028	< 0,0021	< 0,0022	< 0,0022
Benzo(a)pyrène	mg/kg M.S.	0.43	1.015	1430	0.0041	0.0057	0.0081	0.004	0.0032	< 0,0022	< 0,0022
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg M.S.	0.06	0.16	230	< 0,0021	< 0,002	0.0031	< 0,002	< 0,0021	< 0,0022	< 0,0022
Benzo(ghi)Pérylene	mg/kg M.S.	1.7	5.65	7970	0.0047	0.0045	0.012	0.0029	0.0071	< 0,0022	< 0,0022
Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	mg/kg M.S.	1.7	5.65	7970	0.0031	0.0056	0.007	0.004	0.004	< 0,0022	< 0,0022
Somme des HAP	mg/kg M.S.				0.045	0.051	0.099	0.033	0.041	0.001	0.001
PCB congénères réglementaires (7 composés) (Brut)											
PCB 28	mg/kg M.S.	0.005	0.01	13	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PCB 52	mg/kg M.S.	0.005	0.01	13	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PCB 101	mg/kg M.S.	0.01	0.02	26	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PCB 118	mg/kg M.S.	0.01	0.02	26	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0.001	< 0,001	< 0,001
PCB 138	mg/kg M.S.	0.02	0.04	53	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PCB 153	mg/kg M.S.	0.02	0.04	53	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PCB 180	mg/kg M.S.	0.01	0.02	26	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
SOMME PCB (7)	mg/kg M.S.				0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Organostains (µg/kg MS)											
Monobutylétain cation (MBT)	µg/kg M.S.				< 2,5	< 2,5	2,6	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Dibutylétain cation (DBT)	µg/kg M.S.				< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Tributylétain cation (TBT)	µg/kg M.S.	100	400	400	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Tétra-butylétain (TeBT)	µg/kg M.S.				< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
MonoOctylétain cation (MOT)	µg/kg M.S.				< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
DiOctylétain cation (DOT)	µg/kg M.S.				< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Triphénylétain cation (TPHT)	µg/kg M.S.				< 4,1	< 4,2	< 4,3	< 4	< 4	< 4,1	< 4,2
Tricyclohexylétain cation (TchHexT)	µg/kg M.S.				< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Autres paramètres analysés											
Température	°C/No unit				22	22	22	22	22	22	22
Minéralisation Eau Régale - Bloc chauffant après p	No unit/No unit				Fait	Fait	Fait	Fait	Fait	Fait	Fait
Préparation physico-chimique (séchage à 40°C)	No unit/No unit				Fait	Fait	Fait	Fait	Fait	Fait	Fait
Refus pondéral à 2 mm	%/No unit				1.09	6.69	7.5	1.69	2.16	12.3	4.73
Carbone Organique Total par Combustion	mg C/kg M.S.				< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1030	< 1000

3.3 Analyses de la faune benthique

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.

3.3.1 Richesse spécifique (S) et Abondance (A)

Parmi les 7 stations pour l'étude de la faune benthique, un total de 215 individus a été observé appartenant à 19 espèces différentes.

3.3.1.1 Résultats par stations

Dans chaque station, de 0 à 10 espèces différentes ont été identifiées avec des abondances variant de 0 à 109 individus par 0,26 m² (Tableau 5). L'échantillon de la station S6 a présenté les valeurs les plus élevées en termes de richesse spécifique et d'abondance (10 espèces pour 109 individus), tandis que les stations S1 et S2, situées en haut de plage, ont présenté les valeurs les plus basses avec 2 espèces sur chacune des stations pour respectivement 5 et 6 individus. La station S7 est également très pauvre avec 4 espèces, mais présente une forte abondance notamment du polychète *Scolelepis (Scolelepis) squamata*.

Tableau 5 : Paramètres de richesse spécifique et d'abondance des espèces sur les stations d'étude

Stations	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Richesse spécifique	2	2	5	4	6	10	4
Abondance (0,26 m ²)	5	6	8	18	17	109	52

La liste d'espèces et les abondances par réplique et le total par station sont présentées ci-dessous :

Tableau 6 : Liste d'espèces et abondances sur les stations

Stations	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
ANNELIDES POLYCHETES							
<i>Eteone sp.</i>						1	
<i>Nephtys cirrosa</i>			3	6	3		2
<i>Nephtys hombergii</i>				1			
<i>Lepidonotus squamatus</i>						1	
<i>Ophelia rathkei</i>						9	
<i>Scolelepis (Scolelepis) squamata</i>					3	67	44
<i>Spio martinensis</i>				6			
CRUSTACÉS							
<i>Apocorophium acutum</i>			2				
<i>Apocorophium cf. lacustre</i>						1	
<i>Bathyporeia pelagica</i>				5	2		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			1			4	
<i>Cumopsis goodsir</i>					1		
<i>Eurydice affinis</i>	1					13	2
<i>Eurydice pulchra</i>		5				11	
<i>Haustorius arenarius</i>					6	1	4
<i>Jassa sp.</i>			1			1	
<i>Philocheira trispinosus</i>					2		
<i>Pontocrates arenarius</i>		1	1				
<i>Talitrus saltator</i>	4						

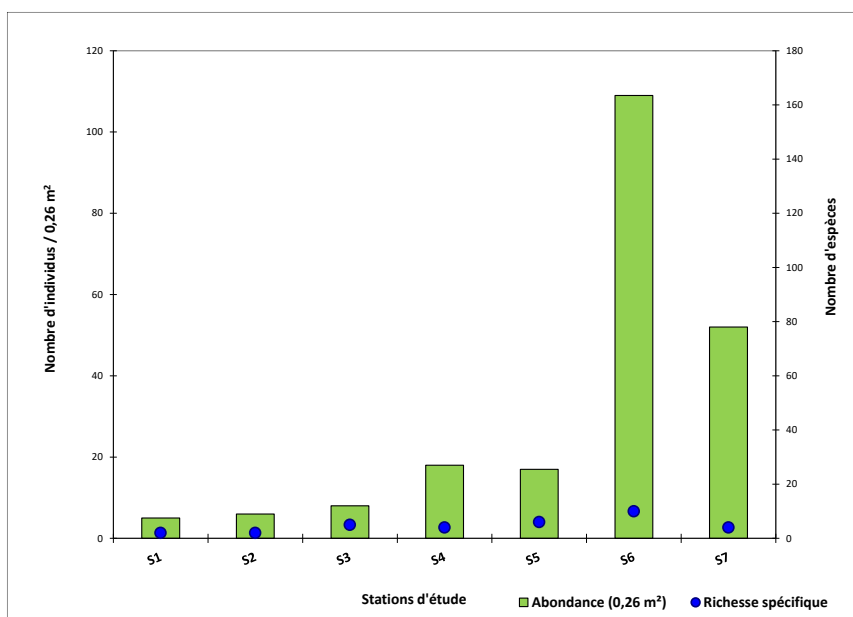


Figure 27 : Densité et richesse spécifique des stations d'études

3.3.1.2 Groupes taxonomiques

Les groupes taxonomiques dominants sont les groupes des crustacés (12 espèces), des annélides polychètes (7 espèces au total) (Figure 28).

D'un point de vue de la richesse spécifique, on observe des tendances hétérogènes à savoir que les stations de haut de plage S1 et S2 sont très pauvres avec 2 espèces sur chacune d'entre elles qui sont uniquement des crustacés. Les autres stations, situées plus bas sur l'estran, ont entre 4 et 10 espèces composées des vers polychètes et de crustacés (principalement amphipodes et isopodes). La station S6 est la plus diversifiée.

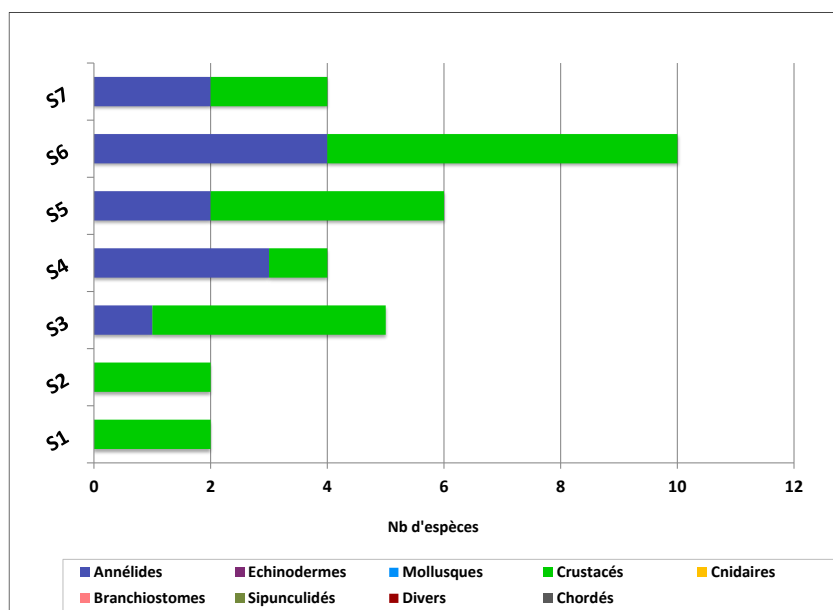
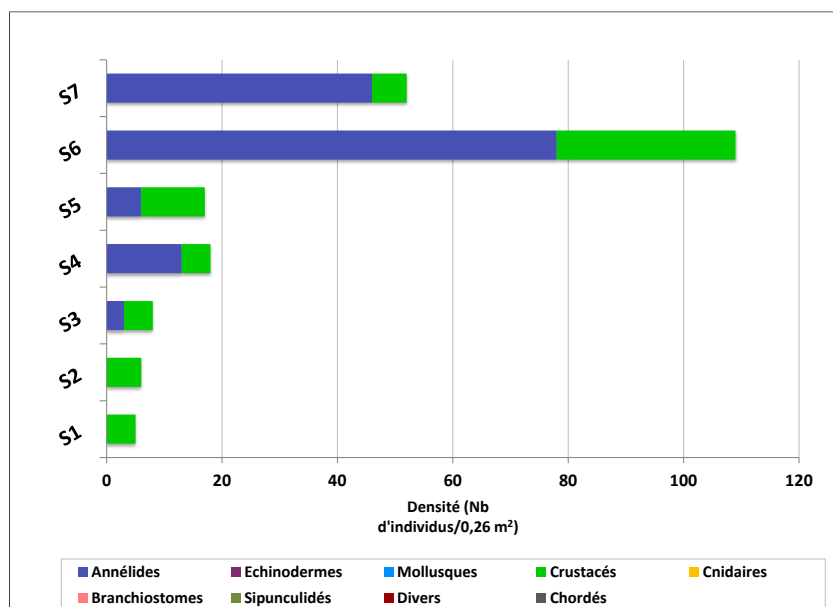


Figure 28 : Répartition de la richesse spécifique selon le groupe zoologique

La répartition de l'abondance montre la même tendance que la richesse spécifique : le groupe zoologique le plus abondant était celui des crustacés avec un maximum de 31 individus par 0,26 m² dans S06, et des annélides avec un maximum de 78 individus par 0,26 m² dans S3 (Figure 29). La station S6 présente la plus forte densité, pour chacun des groupes taxonomiques.

Figure 29 : Répartition de l'abondance (0.26m²) selon le groupe zoologique

Parmi les espèces en présence, on peut citer le ver polychète *Nephtys cirrosa* ainsi que les crustacés amphipodes *Bathyporeia pelagica*, *Bathyporeia sarsi* qui dominent les stations S2, S3 et S4, alors que S6 et S7 sont plus dominés par le polychète *Scolecipis* (*Scolecipis*) *squamata* et les isopodes *Eurydice affinis* et *Eurydice pulchra*. S1 présente l'espèce typique des hauts de plage *Talitrus saltator*.



Figure 30 : Illustrations d'espèces de polychètes inventoriées : *Nephtys cirrosa*, *Scolelepis (Scolelepis) squamata*, *Ophelia rathkei*, *Spio martinensis*



Figure 31 : Illustrations d'espèces d'arthropodes inventoriées : *Bathyporeia pelagica*, *Talitrus saltator*, *Philocheras trispinosus*, *Eurydice pulchra*,

3.3.2 Indice de diversité

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

Le tableau et la figure ci-dessous présentent les valeurs des indices de Shannon-Weaver et d'équitabilité par station. L'indice Shannon-Weaver varie entre 0.65 (station S2, en haut de plage) et 2.38 (station S5), tandis que l'indice d'équitabilité varie entre 0.72 (S1, situé en haut de plage) et 0.93 (S3) indiquant une communauté équilibrée, car la valeur tend vers zéro. D'une façon générale, toutes les stations sont plutôt équilibrées, mais ces résultats sont normaux compte tenu de la faible richesse spécifique couplée à des abondances plutôt faibles. Selon Molvaer et al. (1997), ces valeurs indiquent que la communauté est considérée comme étant dans un état « modéré », pour S3 et S5, qui est considérée comme « pauvre », pour S4 et S6 et « mauvais » pour S1 et S2, situées en haut de plage.

Tableau 7 : Valeurs de l'indice de Shannon-Weaver et de l'Équitabilité

Station	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Indice de Shannon	0.72	0.65	2.16	1.80	2.38	1.91
Indice d'Équitabilité (Pielou)	0.72	0.65	0.93	0.90	0.92	0.58

EcoQ	HIGH	GOOD	MODERATE	POOR	BAD
H'	$H' > 4$	$4 < H' \leq 3$	$3 < H' \leq 2$	$2 < H' \leq 1$	$H' < 1$

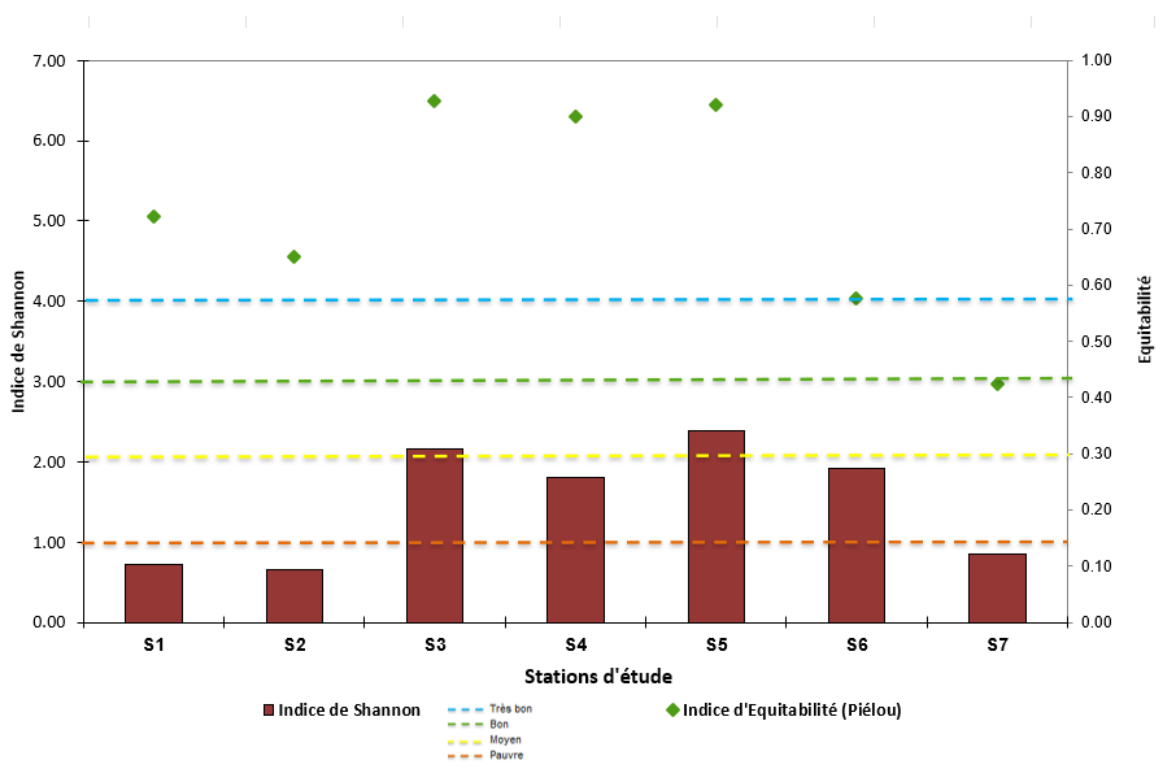


Figure 32 : Indices de diversité de Shannon et d'Équitabilité sur les stations d'étude

3.3.2.2 Le modèle DIMO

Le modèle DIMO (Diversity MONitoring) développé par Qinghong en 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 très faibles notamment pour les stations S1, S2 et S7, et une répartition des espèces plutôt homogène sur l'ensemble des stations (du fait qu'elles sont sur chacune d'entre elles peu nombreuses). Il est également possible de voir que S7 est très pauvre en richesse spécifique et qu'elle présente un déséquilibre du fait de l'abondance importante (44 individus) de l'espèce de polychète *Scolelepis (Scolelepis) squamata*.

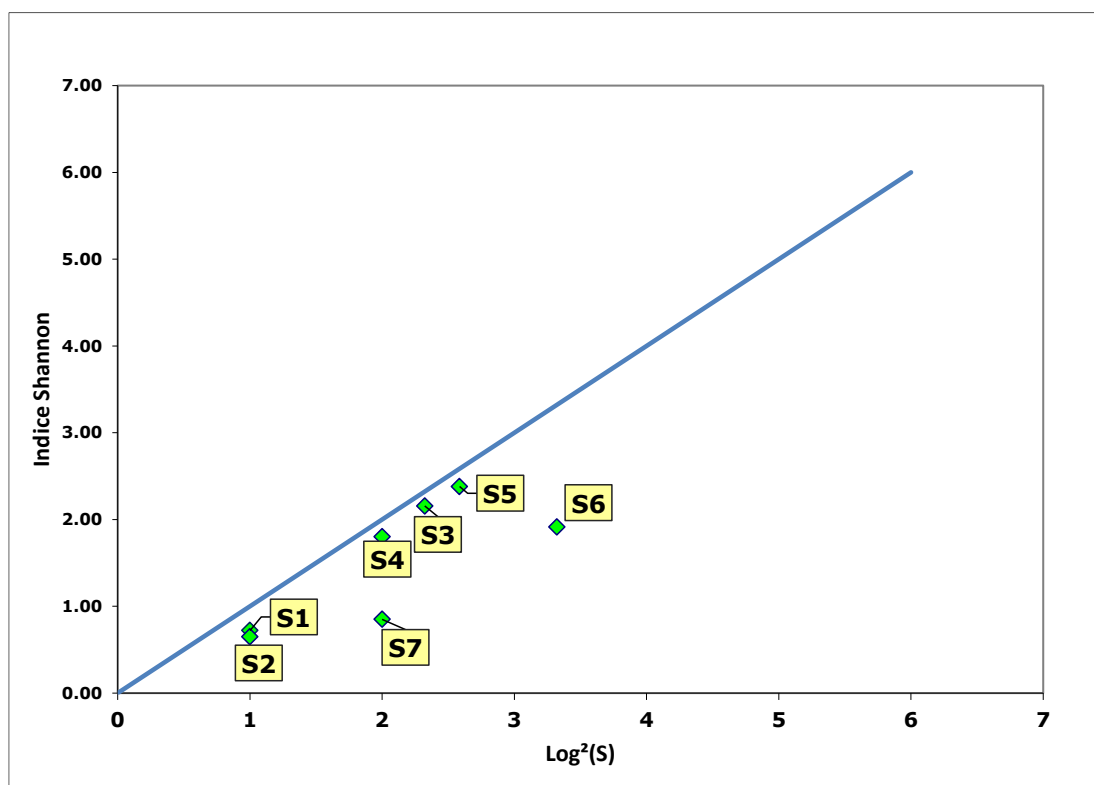


Figure 33 : Modèle DIMO appliqué aux stations

À l'échelle des sites d'études, les peuplements sont globalement similaires pour S3, S4 et S5 moyennement diversifiés et à l'équilibre. Les stations S1 et S2 situées en haut de plage, du fait de leur richesse spécifique et de leur abondance très faibles ont des résultats comparables. La station S7 est quant à elle pauvre et dominée par une espèce de vers polychète *Scolelepis (Scolelepis) squamata*.

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.

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

Stations	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI
S1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<i>Incalculable</i>
S2	83.30	16.70	0.00	0.00	0.00	<i>Incalculable</i>
S3	12.50	50.00	25.00	0.00	12.50	2.25
S4	27.80	38.90	33.30	0.00	0.00	1.58
S5	58.80	23.50	17.60	0.00	0.00	0.88
S6	34.90	0.90	63.30	0.00	0.90	1.97
S7	11.50	3.80	84.60	0.00	0.00	2.60

Ces résultats permettent d'obtenir les figures ci-dessous pour l'analyse.

Les groupes écologiques qui composent les stations du site sont répartis de façon assez hétérogène au sein de ces dernières.

Les stations S1 et S2, très pauvres, sont dominées par des espèces sensibles à l'hypertrophisation (groupe I).

Les autres stations sont présentes à la fois des espèces du groupe écologique I (sensibles à l'hypertrophisation), II (indifférentes à l'hypertrophisation), III (tolérantes à l'hypertrophisation) et même V (opportunistes de premier ordre) sur la station S3 et S6 dans une moindre mesure (*Jassa sp.*).

Les espèces du groupe I (sensibles) sont plus présentes sur l'ensemble du site avec 47% de représentativité.

Les espèces du groupe III (tolérantes à l'hypertrophisation) sont plus présentes sur les stations S6 et S7 avec la dominance de *Scolecopsis (Scolecopsis) squamata*.

Les espèces opportunistes de second ordre (groupe IV) sont absentes sur les stations.

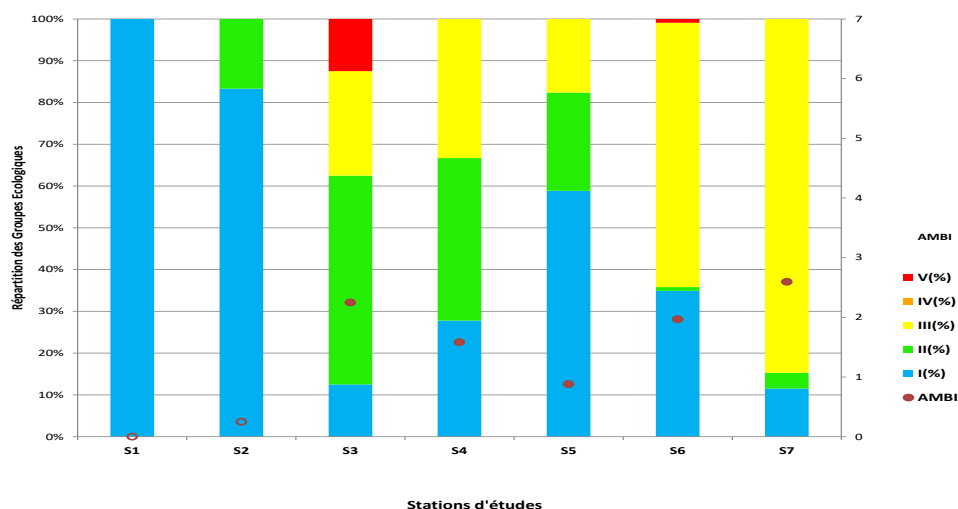


Figure 34 : Répartition des groupes écologiques sur les stations d'étude et valeur moyenne de l'AMBI

Sur les stations du site étudié, l'indice révèle des résultats très proches sur les stations S3, S4, S6 et S7. Les stations présentent des résultats d'un état environnemental « légèrement perturbé » pour les stations vis-à-vis d'une perturbation due à un apport en matière organique. La station S5 révèle quant à elle d'un état environnemental « non perturbé ».

L'indice AMBI n'est pas interprétable pour les stations S1 et S2 compte tenu de leurs faibles richesses spécifiques et abondance. Ces conditions ne permettent pas le calcul recevable de l'indice.

La dominance d'espèces sensibles et indifférentes à l'hypertrophisation, la présence très faible d'espèces tolérantes et le peu d'espèces opportunistes sont révélatrices d'un état environnemental en adéquation avec le type de milieu étudié. L'AMBI révèle une faible perturbation au regard de l'apport en matière organique.

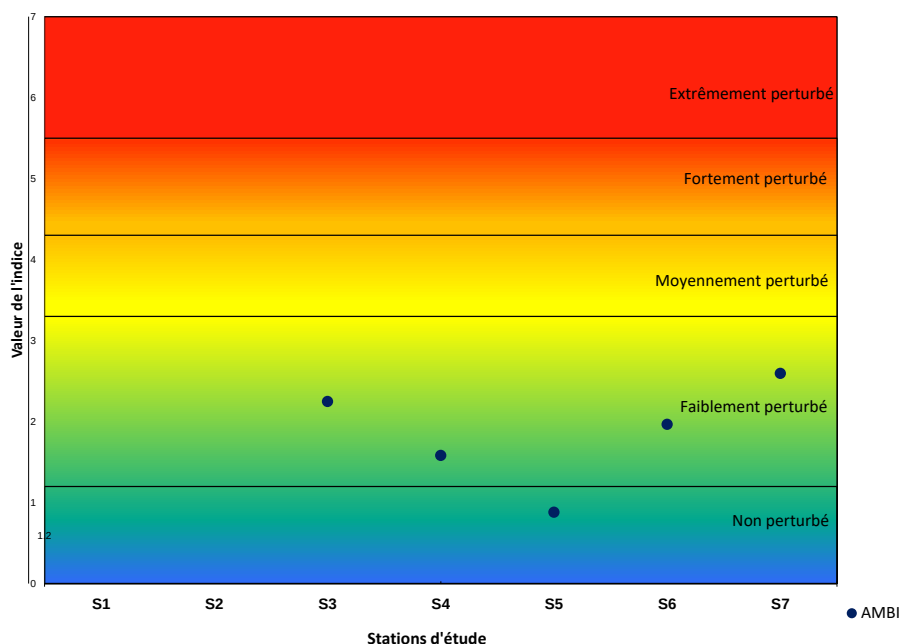


Figure 35 : Valeur de l'indice AMBI et degré de perturbation

3.4 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-Atl (Typologie nationale des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique) 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. Toutefois, il est à noter qu'il est parfois difficile d'attribuer précisément un type de communauté à une station donnée. En effet, il s'agit souvent de milieux transitoires, aux spécificités propres à plusieurs faciès.

L'habitat principal des stations **S2, et S2** est le « A5-1 - Sables supralittoraux » (NatHab-Atl 2019, « MA5-2 - Sable du supra- et du médiolittoral en Atlantique » (EUNIS 2022) // « A2.211 - Talitridés du haut de l'estran et laisse de mer » (EUNIS 2012).

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

« L'habitat A5-1 Sables supralittoraux correspond aux hauts de plages sableuses qui ne sont humectés que par les embruns ou lors de tempêtes hivernales et qui sont soumis à l'action éolienne. Le sable est apporté à la fois par l'action éolienne, par les grandes marées et par les hautes vagues de tempêtes. Cet habitat est assez pauvre à l'exception des zones où se développent des laisses de mer lorsque les vagues permettent l'accumulation de débris variés (macroalgues, phanérogames, bois flottés, macro-déchets anthropiques). Ces zones de laisses de mer sont riches en espèces et jouent un rôle environnemental important, notamment pour de nombreux oiseaux marins. L'habitat A5-1 se situe dans la zone de transition entre milieu terrestre et milieu marin.

L'espèce caractéristique de cet habitat est le talitre *Talitrus saltator* qui est une espèce caractéristique des sables du supralittoral. A marée basse, ils peuvent être observés un peu plus bas sur l'estran, mais retournent au niveau supralittoral lors de la marée montante. C'est une espèce qui supporte difficilement l'immersion et fuit devant la marée. »

La description disponible dans la typologie EUNIS présente l'habitat comme ceci :

Une biocénose à puces de mer (amphipodes talitridés) peut être présente sur tout rivage où une laisse de mer composée d'algues en décomposition et autres débris s'accumule sur la ligne de rivage. On trouve cet habitat le plus souvent sur des rivages de sables moyens et fins, mais aussi sur une grande variété de rivages sédimentaires contenant des sédiments vaseux, des galets, des cailloutis mobiles et un substrat hétérogène, ou sur des rivages rocheux. Les algues en décomposition fournissent abri et humidité à la puce de mer *Talitrus saltator*. *Talorchestia deshayei* est souvent présente dans les endroits sableux où s'accumule régulièrement une grande quantité d'algues. Des oligochètes, principalement des enchytraeidés, peuvent être présents là où les débris échoués demeurent humides en raison de résurgences d'eau douce sur le rivage ou de l'accumulation d'algues dans des endroits ombragés. Sur les rivages de galets, de cailloutis mobiles et de graviers, et derrière les marais salés, les talitridés ont tendance à être surtout du genre *Orchestia*. L'abondance des espèces caractéristiques peut être très variable d'un point du rivage à un autre. Deux listes d'espèces caractéristiques sont présentées ci-après. Elles proviennent de deux jeux de données analysées séparément. La première est tirée d'échantillons de l'endofaune, et la seconde d'échantillons de l'épifaune. Les relevés de l'épifaune ne comportent aucune donnée de population par mètre carré, car les données ont été recueillies selon l'échelle d'abondance SACFOR.

Situation : L'habitat A2.211 peut être présent sur le même rivage parmi une large gamme d'habitats sédimentaires (en particulier des sédiments sableux), où les laisses de mer composées d'algues et d'autres débris s'accumulent dans la partie supérieure du rivage. Ces habitats comprennent A2.111, A2.221, A2.222, A2.223 et A2.231. L'habitat A2.211 est également présent à l'arrière de rivages de blocs, galets et cailloutis, au-dessus d'habitats de sédiments hétérogènes et de milieux rocheux.

Variations temporelles : La position de cet habitat évolue entre les marées de vive-eau et de morte-eau, ainsi qu'avec les changements météorologiques. Après les tempêtes, il peut s'étendre aux avant-dunes ; pendant les marées de vive-eau, il se trouve haut sur le rivage ; pendant les marées de morte-eau, le plus grand nombre de talitridés se situe au niveau moyen des hautes eaux ou juste en-dessous de ce niveau. La quantité de débris amenés, et donc l'étendue de cet habitat, peuvent varier de manière importante selon des facteurs tels que les tempêtes et les coefficients de marée.

L'habitat principal des stations **S3, S4 et S5** est le « A5-3.3 - Sables fins médiolittoraux dominés par *Nephtys cirrosa* » (NatHab-Atl 2019), MA5-2413 - Sable fin médiolittoral dominé par *Nephtys cirrosa* en Atlantique (EUNIS 2022) // A2.2313 - Sable fin intertidal dominé par *Nephtys cirrosa* (EUNIS 2012)

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

« Le sédiment, souvent ridé, peut parfois être mal trié et présenter une fraction grossière. La couche anoxique est rarement présente. La biocénose est dominée par le polychète *Nephtys cirrosa* accompagné de *Magelona mirabilis*, *Spio martinensis*, *Spiophanes bombyx* et *Paraonis fulgens*. Des amphipodes appartenant aux genres *Pontocrates* et *Bathyporeia* peuvent parfois être observés, de même que le cumacé *Cumopsis goodsir* et la crevette *Crangon crangon*. En revanche, le bivalve *Macomangulus tenuis* est quasiment toujours absent de ce sous-habitat (Ashley, 2020 ; Bajjouk et al., 2015) ».

La description disponible dans la typologie EUNIS présente l'habitat comme ceci :

A2.2313

Sable fin intertidal dominé par *Nephtys cirrosa*

Cet habitat est surtout présent dans les parties moyenne et inférieure de rivages modérément exposés aux vagues ou abrités. Le milieu physique est constitué de sable propre, moyen à fin, qui demeure humide pendant tout le cycle des marées et contient peu de matière organique. Les sédiments ne sont généralement pas bien triés et peuvent contenir une fraction de sable grossier. Ils sont souvent ridés, et présentent rarement une couche anoxique sous la surface. L'endofaune de polychètes est dominée par *Nephtys cirrosa*, *Magelona mirabilis*, *Spio martinensis*, *Spiophanes bombyx* et *Paraonis fulgens*. La présence de polychètes se manifeste par des terriers colorés qui aboutissent à la surface des sédiments. Il peut aussi y avoir des némerthes. Les amphipodes *Pontocrates* spp. et *Bathyporeia* spp., ainsi que *Cumopsis goodsir* et la crevette *Crangon crangon* sont typiquement présents. Le bivalve *Tellina tenuis* est rare ou absent.

Situation : L'habitat A2.2313 peut être plus haut sur le rivage que A2.2312, ou plus bas que A2.2232 ou A2.2221.

Variations temporelles : L'endofaune de cet habitat peut varier avec les saisons, car les tempêtes et l'action accrue des vagues pendant les mois d'hiver peuvent affecter la stabilité des sédiments et la capacité de survie de certaines espèces. Certaines espèces telles que la crevette *C. crangon* évitent ces conditions par une migration saisonnière en eau plus profonde (Moore, 1991).

L'habitat des stations **S6 et S7** est le « A5-2.1.2 - Sables médiolittoraux mobiles à amphipodes et *Scolecopsis* spp.» (NatHab-Atl 2019), MA5-233 - Amphipodes et *Scolecopsis* spp. dans du sable fin à moyen médiolittoral en Atlantique (EUNIS 2022) // A2.223 - Amphipodes et *Scolecopsis* spp. dans du sable fin à moyen intertidal (EUNIS 2012)

La description disponible dans la typologie NatHab-Atl présente l'habitat comme ceci : « Estrans de sables fins à moyens mobiles avec une fraction de sédiments grossiers. Le sédiment ne contient pas ou peu de matière organique et il n'y a pas de couche anoxique. Il s'agit d'un habitat bien drainé où les sédiments retiennent peu d'eau à marée basse. La biocénose est pauvre en espèce et est dominée par des polychètes (*Scolecopsis* spp.), des isopodes (*Eurydice pulchra*) et des amphipodes fouisseurs (*Bathyporeia* spp., *Pontocrates arenarius*, *Haustorius arenarius*). Sur les estrans semi-exposés où l'amplitude de la marée est modérée, la partie supérieure de l'estran peut être occupée par une banquette marquée formant à son pied une zone de résurgence entraînant la matière organique issue de la laisse de mer (lorsque présente dans le supralittoral). Cette zone est propice à la présence en grand nombre de *Bathyporeia pilosa* (10 000 ind/m²). »

La description disponible dans la typologie EUNIS présente l'habitat comme ceci :

A2.223**Amphipodes et *Scolecipis* spp. dans du sable fin à moyen intertidal**

Plages de sable propre mobile, sur des rivages exposés et modérément exposés, avec des grains moyens à fins, souvent avec une fraction de sédiments plus grossiers. Les sédiments contiennent peu ou pas de matière organique, et il n'y a en général pas de couche anoxique. Ce milieu a tendance à être bien drainé et conserve peu d'eau à marée basse. Par contre, les sédiments de la sous-unité A2.2233 peuvent demeurer humides pendant tout le cycle des marées. Ces plages sont généralement soumises à des conditions marines, mais la sous-unité A2.2232 peut être présente dans des conditions d'exposition modérée dans la partie aval des estuaires. La mobilité des sédiments donne lieu à une biocénose pauvre en espèces dominée par des polychètes, des isopodes et des amphipodes fouisseurs. *Scolecipis* spp. peuvent tolérer un milieu bien drainé et sont souvent présentes dans un sable plus grossier qui sèche facilement. Les amphipodes fouisseurs souvent présents dans cet habitat comprennent *Bathyporeia* spp., *Pontocrates arenarius* et *Haustorius arenarius*. L'isopode *Eurydice pulchra* est aussi souvent présent. Sur des plages semi-exposées où l'amplitude des marées est modérée, une banquette marquée est présente dans la partie supérieure de l'estran, et il peut y avoir au pied de la banquette une résurgence importante susceptible d'entraîner les produits de la matière organique résultant du bris de la laisse de mer. Là, dans une zone étroite, il peut y avoir des populations exceptionnellement nombreuses de *Bathyporeia pilosa*, parfois plus de 10 000 individus par mètre carré. Cette zone peut être plus étroite que la laisse de mer et peut facilement ne pas être échantillonnée si un levé ne porte que sur quelques étages. On distingue trois sous-habitats, principalement sur la base de différences dans la composition spécifique de l'endofaune.

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des biocénoses des stations présentes suivant les typologies (source : setec énergie environnement, 2024)

Stations	Typologie NatHab-Atl 2019	Dénomination de la biocénose
S1-S2	A5-1 -	Sables supralittoraux
S3-S4-S5	A5-3.3 -	Sables fins médiolittoraux dominés par <i>Nephtys cirrosa</i>
S6-S7	A2.223 -	Amphipodes et <i>Scolecopsis</i> spp. dans du sable fin à moyen intertidal
	Typologie EUNIS 2022	Dénomination de la biocénose
S1-S2	MA5-2 -	Sable du supra- et du médiolittoral en Atlantique
S3-S4-S5	MA5-2413 -	Sable fin médiolittoral dominé par <i>Nephtys cirrosa</i> en Atlantique
S6-S7	MA5-233 -	<i>Amphipodes</i> et <i>Scolecopsis</i> spp. dans du sable fin à moyen médiolittoral en Atlantique
	Typologie EUNIS 2012	Dénomination de la biocénose
S1-S2	A2.211	Talitridés du haut de l'estran et laisse de mer
S3-S4-S5	A2.2313 -	Sable fin intertidal dominé par <i>Nephtys cirrosa</i>
S6-S7	A5-2.1.2 -	Sables médiolittoraux mobiles à amphipodes et <i>Scolecopsis</i> spp.
	HIC	
S1-S2	1140 -	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse
S3-S4-S5	1140 -	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse
S6-S7	1140 -	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse

4 Conclusion

L'objectif de la mission était principalement 1) de définir la compatibilité granulométrique du sable entre la zone de prélèvement et celle prévue pour le rechargement et 2) de s'assurer qu'il n'y ait de polluants au niveau de la zone de prélèvement qui pourraient être ramené sur la zone de rechargement.

L'analyse du sédiment a également permis de définir le type de substrat au niveau des deux zones d'étude et d'inventorier la faune benthique.

Pour conclure :

Il n'a pas été identifié de dépassement de seuils pour les polluants étudiés ;

Les différentes stations présentent une granulométrie similaire, composée majoritairement de sable fin ;

Les habitats au niveau des deux zones de prélèvement et de rechargement sont de même type, de type sable fin ou replats sableux exondés à marée basse. La faune généralement associée à cet habitat est souvent considérée comme étant peu abondante et peu diversifiée.

Les principaux groupes observés de la faune benthique sont les crustacés et les annélides polychètes.



setec
énergie environnement

energie-environnement.setec.fr

Paris – Bordeaux – La Forêt-Fouesnant – Lille – Lyon – Nantes – Toulon

Siège social : Immeuble Central Seine 42-52 quai de la Rapée 75583 PARIS CEDEX 12 – SAS au capital de 177 080€ - RCS PARIS 330 727 264 – TVA FR 38330727264