



RTE

RACCORDEMENT DU PARC EOLIEN DE SAINT NAZAIRE

SUIVI ECOLOGIQUE DU RACCORDEMENT EN PHASE D'EXPLOITATION

SUIVI DES PEUPELEMENTS BENTHIQUES EN MILIEU MEUBLE ET ROCHEUX

SUIVI DES ENROCHEMENTS

SUIVI DE LA QUALITE DES SEDIMENTS ET DE L'EAU

▲ **Suivi en Phase d'exploitation -Année 2/2024**

Date : Mai 2025



SOMMAIRE

1	Contexte	3
2	Méthodologie	6
2.1	Suivi de la qualité des sédiments	6
2.1.1	Granulométrie	6
2.1.2	Physico-chimie	8
2.2	Suivi de la qualité de l'eau	11
2.2.1	Evaluation de l'état chimique	14
2.2.2	Evaluation de l'état écologique	16
2.2.3	Comparaison données bibliographiques	18
2.3	Suivi des peuplements benthiques	19
2.3.1	Echantillonnage sur substrats meubles	19
2.3.2	Echantillonnage sur substrats rocheux	32
2.3.3	Echantillonnage sur les enrochements	34
3	Résultats	38
3.1	Qualité des sédiments	38
3.1.1	Granulométrie	38
3.1.2	Physico-chimie des sédiments	44
3.2	Qualité de l'eau	48
3.2.1	Etat chimique	48
3.2.2	Etat écologique	50
3.3	Suivi des peuplements et habitats benthiques	55
3.3.1	Suivi des peuplements et des habitats des substrats meubles	55
3.3.2	Suivi des peuplements et habitats des substrats rocheux	87
3.3.3	Suivi des peuplements des zones d'enrochement	101
4	Synthèse	112
4.1	Qualité des sédiments	112
4.2	Qualité de l'eau	113
4.3	Suivi des peuplements	114
4.3.1	Peuplements des substrats meubles	114
4.3.2	Peuplements des substrats rocheux	114
4.3.3	Peuplements des enrochements	115
4.4	Conclusions	117
5	Bibliographie	118
6	Annexe 1 Performance analytique du laboratoire	122

1 CONTEXTE

Dans le cadre des travaux d'installation du parc éolien offshore de St Nazaire, RTE a réalisé le raccordement entre le poste électrique en mer et le poste électrique à terre (Figure 1). Afin de respecter la certification ISO 14001 et conformément à l'arrêté préfectoral N° 2016/BPUP/072 ainsi qu'à l'article L.214-3 du code de l'environnement, des mesures de suivi écologique ont été mises en place.

TBM environnement a été mandaté par RTE afin de réaliser les suivis sur les thématiques suivantes :

- Peuplements benthiques et habitats sur substrats meubles et rocheux ;
- Suivis des enrochements ;
- Qualité physico-chimique des sédiments en mer ;
- Qualité physico-chimique de l'eau.

Les suivis et leur périodicité doivent permettre de caractériser sur le long terme la dynamique de retour à l'équilibre du milieu et la prise en compte des facteurs explicatifs de la variabilité, hors effet du raccordement. Les protocoles ont été établis et validés lors du Comité technique Environnemental (CTE) du 14 avril 2021 et les périodicités ont été validées lors du CTE du 03/05/2022.



Figure 1 : Raccordement du parc éolien au large de Saint Nazaire.

Le Tableau 1 synthétise les périodicités des campagnes réalisées dans ce cadre. Les études permettant d'établir un état de référence du milieu ont été réalisées en 2020 (entre mars et juillet). Les travaux de raccordement ont débuté, pour la liaison 1, en août 2020, et, en septembre 2020, pour la liaison 2. Ils se sont terminés en novembre 2021. La pose des enrochements s'est terminée plus tôt, le 13 septembre 2021, pour le banc de Guérande et les enrochements PK 8.5 et PK 19.5. En juillet 2021, un suivi juste après travaux et sans mise en exploitation a été réalisé sur ces enrochements. Des essais se sont poursuivis jusqu'en février/mars 2022. Le raccordement a été mis à disposition en avril/mai 2022. Du fait de la périodicité des travaux, les suivis, autres que les enrochements ont été réalisés pour la phase post-travaux, en mars 2022. La mise en service du parc éolien offshore a eu lieu en novembre 2022. En 2023, il a été réalisé un premier suivi en phase d'exploitation.

Le présent rapport expose l'échantillonnage ainsi que les résultats issus des campagnes réalisées durant la deuxième année d'exploitation du site entre **avril et octobre 2024**. Il détaillera en particulier les résultats des **suivis de la qualité des sédiments, de la qualité de l'eau et des peuplements benthiques de substrats meubles et rocheux ainsi que des enrochements**.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d’exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

Tableau 1 : Période d’échantillonnage, nombre de stations et engins de prélèvements associés à chaque compartiment en fonction des phases du suivi écologique.

Compartiments	Qualité physico-chimique des sédiments		Granulométrie		Qualité de l’eau		Peuplements benthiques de substrats meubles		Peuplements benthiques de substrats rocheux		Enrochements	
	Date	Nombre de stations	Date	Nombre de stations	Date	Nombre de stations	Date	Nombre de stations	Date	Nombre de stations	Date	Nombre de stations
Etat de référence (2020)	Mars 2020	7	Mars 2020	18	Mars 2020	7	Mars 2020	16	Juillet 2020	4	<i>Non concerné</i>	
Post-travaux (2021-2022)	Mars 2022	6 (sans RTE_008)	Mars 2022	17	Mars 2022	7	Mars 2022	12 stations (sans RTE_008, REF_RTE008 RTE_012, REF RTE_012)	Août 2021	2 (sans RTE_01 et Ref_RTE_01)	Août 2021	2 enrochements
Phase exploitation année 1 (2023)	Avril 2023	7	Avril 2023	18	Avril 2023	7	Avril 2023	16	Août-septembre 2023	4	Août 2023	2 enrochements
Phase exploitation année 2 (2024)	Avril 2024	7	Avril 2024	17 (Sans Ref_RTE_038)	Avril 2024	7	Avril 2024	16	Juillet-août-octobre-novembre 2024	2 (sans RTE_01 et Ref_RTE_01)	Août 2024	2 enrochements
Engin de prélèvement	Benne Day et drague rallier du Baty		Benne Day et drague rallier du Baty		Sonde et bouteilles Niskin		Benne Day et drague rallier du Baty		Suceuse et photo-quadrats		Suceuse et transects vidéo	

2 METHODOLOGIE

Le suivi des substrats meubles, portant sur l'étude de la qualité des sédiments, de l'eau et des peuplements benthiques, s'est déroulé les 18 et 19 avril 2024. La campagne a été menée à bord du Tzigane II, au départ du port de St-Nazaire.

Au total, 16 stations ont été échantillonnées pour l'étude des peuplements benthiques auxquelles deux stations supplémentaires ont été ajoutées pour l'étude de la granulométrie.

La qualité de l'eau et des sédiments a été étudiée par ailleurs sur 7 stations parmi les 18 citées précédemment.

2.1 Suivi de la qualité des sédiments

2.1.1 Granulométrie

Au total, **17/18 stations** ont fait l'objet d'une étude de la granulométrie des sédiments (Figure 3**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Sur la station Ref_RTE_038, de nombreux coups de benne ont été donnés. Seulement 2 répliques ont ainsi pu être réalisés et l'étude des peuplements a été privilégié. Il a été tenté de prélever plus à l'Est pour compléter les répliques sans succès. Cette zone présente de nombreux monticules rocheux auxquelles s'accrochent les fraction fines.

Sur la grande majorité des stations, les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une benne Day exceptée sur les stations plus au large qui ont été échantillonnées à la drague Rallier du Baty (Figure 3).

Les échantillons ont été conditionnés conformément aux recommandations du laboratoire agréé EUROFINS Hydrologie Normandie et conservés dans une glacière à 6-8°C tout le long du transport (Figure 2**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les performances analytiques du laboratoire sont données en annexe 1.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement



Figure 2. Glacières de conditionnement des échantillons sédimentaires destinés aux analyses granulométriques et physico-chimiques (© TBM environnement).

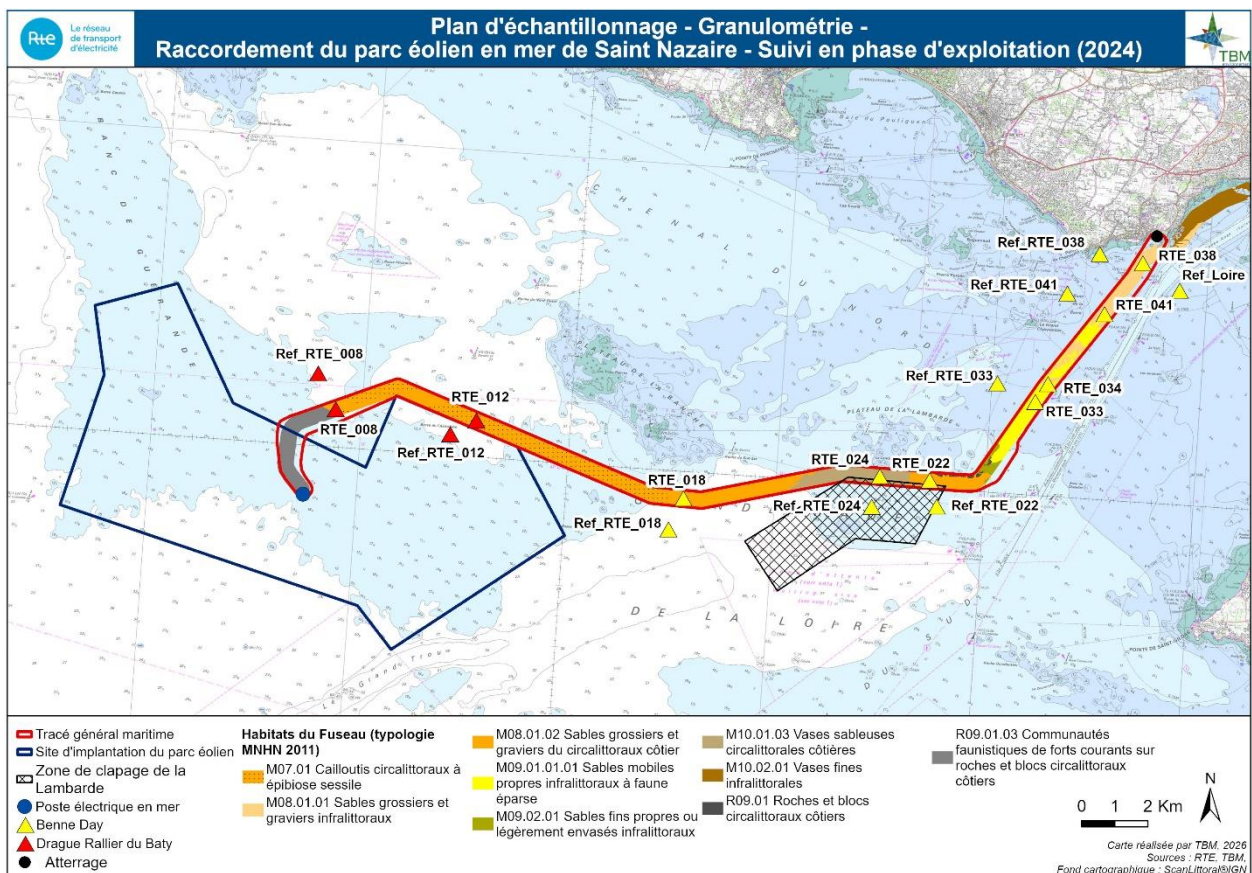


Figure 3 : Plan d'échantillonnage des stations de suivi de la granulométrie des sédiments meubles subtidiaux.

La granulométrie est une mesure de la distribution de la taille des particules sédimentaires. Elle permet d'appréhender la variabilité naturelle des éléments-traces

contenus dans les sédiments. Les fractions les plus fines (<63 µm) ont en effet une forte capacité d'absorption des contaminants. La granulométrie est donc un paramètre indispensable à la compréhension des processus de contamination. Cette mesure joue également un rôle majeur dans la définition des habitats puisqu'elle structure la distribution spatiale de la macrofaune benthique. En effet, la composition du benthos varie selon la nature du substrat (fin, grossier, meuble ou rocheux). De ce fait, une modification de la granulométrie dans le temps (par exemple l'envasement d'un secteur) entraîne une évolution des communautés benthiques.

Les analyses granulométriques ont été réalisées par le laboratoire Eurofins, selon la méthode Laser. Cette méthode est adaptée à l'étude des particules inférieures à 2 000 µm, mais pas aux fractions supérieures (Bonnot-Courtois et al., 2006). L'analyse granulométrique par méthode Laser repose sur la séparation de différentes fractions dimensionnelles.

La distribution des fractions granulométriques permet de définir les grands types d'habitats sédimentaires, selon la méthodologie proposée dans l'ouvrage « Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion » (Alzieu, 2003). Les fractions isolées exprimées en pourcentage de poids sec sont :

- les vases (< 63 µm),
- les sables fins (63 à 250 µm),
- les sables moyens (250 à 500 µm),
- les sables grossiers (500 µm à 2 mm),
- les graviers (2 à 64 mm),
- les galets (>64 mm).

Elles permettent d'identifier les différents habitats sédimentaires :

- les vasières où le taux de vases est supérieur à 80%,
- les vasières sableuses où le taux de vases est compris entre 30 et 80%,
- les sables fins ou envasés (15 à 30% de vases),
- les sables moyens lorsque leur fraction est dominante,
- les sables grossiers lorsque leur fraction est dominante,
- les graviers lorsque leur fraction est supérieure à 20%.

2.1.2 Physico-chimie

7 stations situées le long du tracé du câble et ont été placées au sein des différents habitats observés lors des premières études de prospection. Une de ces stations, Ref_Loire, a été placée dans un secteur sous très forte influence de la Loire et en dehors de l'empreinte au sol du raccordement. (Figure 4**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

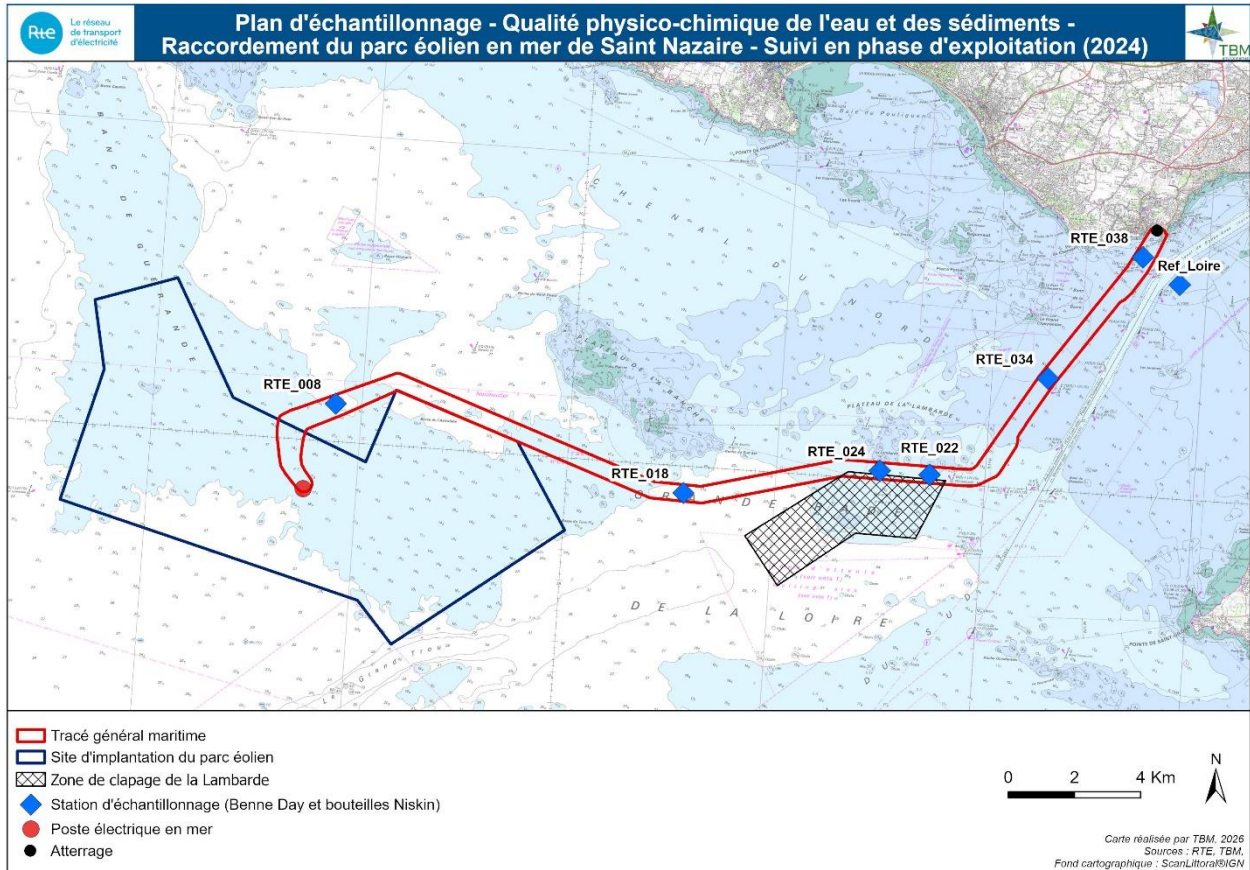


Figure 4 : Plan d'échantillonnage des stations du suivi de la qualité physico chimique de l'eau et des sédiments.

Les analyses qui ont été effectuées correspondent à la mesure de 1) la teneur en matière sèche, la densité, la teneur en carbone organique totale, en phosphore total et en azote total ; 2) la mesure de la concentration en métaux et polluants organiques.

La démarche d'analyse des résultats retenue vise à définir « l'état de dégradation environnementale du milieu » en prenant en compte des valeurs de référence qui sont, soit des teneurs couramment rencontrées ou des concentrations minimales liées à des effets. Ainsi, l'ERL (US Effects Range Low sediment toxicological criteria) est définie comme le percentile 10 des concentrations sédimentaires associées à des effets biologiques pour les espèces benthiques. Cette définition rejoint la philosophie des seuils d'effet dans les conventions de mers régionales (Ecological assessment criteria d'OSPAR) ou les Normes de Qualité Environnementale de la DCE (Buchman, 2008). Les valeurs considérées ici (Tableau 2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) sont celles utilisées pour l'évaluation du Bon Etat Ecologique pour le descripteur 8 de la DCSMM « Contaminants dans le milieu en France métropolitaine »¹.

Les concentrations mesurées en 2024 seront également comparées à celles mesurées lors des précédents suivis (référence, post travaux, exploitation 1).

1 Mauffret Aourell, Brun Mélanie, Bustamante Paco, Chouvelon Tiphaine, Mendez-Fernandez Paula, Mille Tiphaine, Poiriez Gauthier, Spitz Jérôme, Wessel Nathalie (2023). Évaluation du descripteur 8 « Contaminants dans le milieu marin » en France métropolitaine. Rapport scientifique pour l'évaluation cycle 3 au titre de la DCSMM. Ref. Ifremer RBE-CCEM / ODE-VIGIES. Ifremer. <https://doi.org/10.13155/97214>

Tableau 2 : Valeurs seuils utilisées pour définir le bon état écologique des sédiments marins.

Famille	Substance	Type de seuil	Seuil (µg/kg)
Métaux	Arsenic	ERL	8200
	Cadmium	ERL	1200
	Chrome	ERL	81000
	Cuivre	ERL	34000
	Mercure	ERL	150
	Nickel	ERL	21000
	Plomb	ERL	47000
	Zinc	ERL	150000
PCB	CB101	EAC	3
	CB118	EAC	0.6
	CB138	EAC	7.9
	CB153	EAC	40
	CB180	EAC	12
	CB28	EAC	1.7
	CB52	EAC	2.7
	HAP	Anthracène	ERL
Benzo(a)anthracène		ERL	261
Banzo(a)pyrène		ERL	430
Benzo(g,h,i)perylene		ERL	85
Chrysène		ERL	384
Fluoranthène		ERL	600
Indéno(1,2,3cd)pyrène		ERL	240
Naphtalène		ERL	160
Phénanthrène		ERL	240
Pyrène		ERL	665

Indice de pollution organique

La pollution organique est évaluée via trois paramètres (Alzieu, 2003²) : l'azote organique total (NTK), le phosphore total (P) et le carbone organique total (COT). La dégradation bactérienne de ces nutriments, si présent en forte concentration, peut avoir pour conséquence une détérioration du milieu par un appauvrissement en oxygène pouvant aller jusqu'à l'anoxie.

Afin d'utiliser les valeurs de façon synthétique, il est possible de les rassembler en classes ou indices (Tableau 3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

² Alzieu, C. (coord.), 2003. Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion, IFREMER, 248p

Tableau 3 : Définition des classes ou indices de contamination pour les trois éléments exprimant la pollution organique (Alzieu, 2003).

Carbone organique total (COT)		Azote (NTK)		Phosphore	
Valeurs (g/kg)	Indices	Valeurs (mg/kg)	Indices	Valeurs (mg/kg)	Indices
< 0,6	0	< 600	0	< 500	0
0,6-2,3	1	600-1200	1	500-800	1
2,4-4	2	1200-2400	2	800-1200	2
4,1-5,8	3	2400-3600	3	>1200	3
> 5,8	4	>3600	4		

L’indice de Pollution Organique est égal à la somme des trois indices et correspond à quatre niveaux de pollution selon ses valeurs, faibles à très fort (Tableau 4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 4 : Indice de pollution organique.

Indice de pollution											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
faible			moyen			fort		très fort			

2.2 Suivi de la qualité de l’eau

La qualité de l’eau a été étudiée sur les sept mêmes stations que celles servant à étudier la qualité des sédiments. Parmi elles, cinq sont situées dans la masse d’eau côtière « **FRGC46 Loire (large)** ». Les deux stations les plus côtières (RTE 038 et Ref Loire) sont situées dans la masse d’eau de transition « **FRGT28 La Loire** ». Ces stations sont situées dans un secteur sous très forte influence de la Loire et la station Ref_Loire est en dehors de l’empreinte au sol du raccordement (Figure 4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Pour caractériser la qualité de l’eau le long du raccordement, deux types de mesures sont réalisées à chaque station :

- Des mesures à l’aide d’une sonde multiparamétrique ;
- Des prélèvements d’eau pour les analyses physicochimiques.

Pour les relevés « sonde », une sonde CTD multiparamétrique est utilisée (Figure 7 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Elle est équipée de capteurs salinité, température, profondeur, oxygène (capteur optique), et turbidité.

Cette sonde est calibrée avant utilisation et la fréquence de mesure est calée à 4 mesures par seconde. La sonde est associée à un lest de 2 kg qui est situé 0,5 m sous cette dernière. Après avoir marqué la corde de descente tous les mètres, la sonde est descendue lentement à la main (<1m.s⁻¹) jusqu’à la limite eau substrat. Lorsque le lest touche le fond, la sonde est remontée lentement (même vitesse).

Elle est donc descendue et remontée lentement. Ce double profil permet de disposer d’un jeu de données fiable.

Le profil ainsi mesuré est de ce fait, assez précis pour établir une structure de la colonne d’eau (Figure 5 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

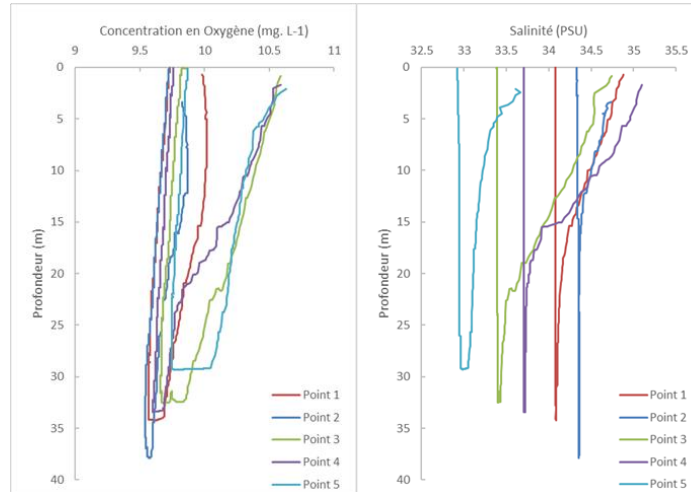


Figure 5 : Exemples de présentation des résultats (©TBM environnement).

Les prélèvements d'eau sont réalisés au fond et en subsurface suivant les recommandations de prélèvements Aquaref. Les prélèvements d'eau se réalisent toujours en premier, avant la mise à l'eau de tout autre engin d'échantillonnage. Le navire se repositionne autant de fois que nécessaire au droit de la station. Les points GPS sont enregistrés à chaque échantillon et ces derniers peuvent servir au contrôle qualité.

L'échantillonnage est réalisé à l'aide d'une bouteille Niskin en téflon d'une contenance de 5 L (Figure 6 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) fixée sur un cordage. Un plomb de 5 Kg, positionné sous la bouteille, assure la verticalité de la ligne. Cette ligne graduée permet de déterminer la profondeur de prélèvement au mètre près. La bouteille, s'ouvrant aux deux extrémités, est envoyée ouverte et descendue jusqu'à la profondeur souhaitée avant d'être fermée par l'intermédiaire d'un messageur envoyé depuis la surface.

Pour chaque prélèvement, des sous-échantillons sont soutirés des bouteilles à prélèvement et placés dans les flacons de stockage fournis par le laboratoire après au moins trois rinçages avec l'eau échantillonnée. Toutes les manipulations du matériel sont faites avec des gants en polyéthylène et un maximum d'attention est porté pour éviter une contamination de l'eau échantillonnée (contact entre le flaconnage et des surfaces contaminées, chute à terre d'un bouchon, mauvais rinçage). Il est interdit de fumer lors des prélèvements et les opérations se réalisent "au vent" à l'avant du bateau, celui-ci étant orienté à contre-courant et moteur arrêté.



Figure 6 - Mise en œuvre de la bouteille Niskin.



Figure 7 - Mise en œuvre de la sonde multiparamètres WIMO.

Ces échantillons d'eau, une fois conditionnés, sont stockés dans une glacière, à 6-8°C puis livrés au laboratoire d'analyses après débarquement (Figure 8). Les performances analytiques du laboratoire sont données en annexe 1.



Figure 8 : Conservation des prélèvements d'eau en glacière jusqu'au laboratoire.

Les analyses suivantes sont réalisées sur chaque échantillon d'eau de mer :

- pH
- Conductivité
- Matières en suspension et turbidité
- Eléments physico-chimiques : salinité, oxygène dissous, carbone organique totale, matières en suspension (MES).
- Eléments biologiques et nutriments : Azote total, phosphore total, chlorophylle a, phéopigments. De plus, les formes biodisponibles pour l'azote et le phosphore sont ici étudiées ainsi que les silicates.

- Toxicité de l'échantillon : Metox, (arsenic et 7 métaux lourds : plomb, nickel, mercure, zinc, cuivre, cadmium et chrome), Aluminium, contaminants organiques (16 HAP, 7 PCB, TBT et dérivés).

Les résultats des analyses d'eau font l'objet d'une interprétation paramètre par paramètre (gamme de variation naturelle et niveau de concentration observée, etc.), d'abord par échantillon bathymétrique puis à l'échelle de la colonne d'eau et cela pour l'ensemble des stations. Les résultats sont également comparés à ceux obtenus en 2020 (état de référence) et à ceux de 2022 (suivi post travaux).

2.2.1 Evaluation de l'état chimique

De nombreux textes européens réglementent la classification et la surveillance dans les milieux des substances dites dangereuses, toxiques ou polluantes. Certaines sont tout particulièrement visées par :

- ✓ La directive 2006/11/CE du 15 février 2006. Elle cible 150 substances dangereuses réparties en 2 listes, pour lesquelles il faut supprimer la pollution (liste 1, dont mercure, cadmium, hydrocarbures, organohalogénés) ou réduire la pollution (liste 2, dont le plomb, le nickel, le cuivre, le zinc, le chrome) ;
- ✓ La directive Cadre sur l'Eau (DCE), dont l'objectif est la réduction des rejets d'ici la fin de l'année et pour les substances classées prioritaires dangereuses, leur suppression d'ici 2020. Le dispositif fixe entre autres des normes de qualité environnementale (NQE) à respecter dans les milieux aquatiques, de transition, et marins (*Directive n° 2013/39/UE du 12 août 2013 modifiant la directive 2000/60/CE*) et utilisées pour la caractérisation de l'état chimique des eaux.

Ces textes européens sont également déclinés et adaptés au niveau national. La circulaire du 7 mai 2007 définit par exemple les normes de qualité environnementale provisoires (NQE_p) des 41 substances impliquées dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi que des substances pertinentes du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau. Ces normes sont données en dépassement au bruit de fond géochimique et non comme précédemment en valeur absolue.

L'évaluation de l'état chimique d'une masse d'eau repose sur deux normes de qualité environnementale (NQE) établies pour chaque substance ou groupe de substances dans la Directive 2008/105/CE transposée par l'arrêté du 25 janvier 2010 (modifié par l'Arrêté du 27 juillet 2015 et dont la dernière modification date du 9 octobre 2023³) relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. Ces normes représentent des seuils à ne pas dépasser afin de protéger l'environnement et la santé humaine (Tableau 5 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- ✓ NQE-MA : qui représente la Moyenne Annuelle à ne pas dépasser ($\mu\text{g. L}^{-1}$). La concentration moyenne annuelle d'une substance est calculée en faisant la moyenne

³ Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement (JORF n°0046 du 24 février 2010) - Dernière mise à jour des données de ce texte : 05 novembre 2023 : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGIARTI000031115709/2026-01-06>

des concentrations obtenues sur une année. Au minimum, quatre résultats de mesures doivent être utilisés.

- ✓ NQE-CMA : qui représente la Concentration Maximale Admissible ($\mu\text{g. L}^{-1}$). Ce seuil n'est pas donné pour toutes les substances ou paramètres. Mais lorsqu'il existe et qu'une substance a été quantifiée au moins une fois dans l'année, on compare le résultat à ce seuil.
- ✓

L'état chimique d'un site d'évaluation est défini dans l'arrêté suscitée de la manière suivante :

«

- lorsque l'une au moins des NQE pour ces polluants et familles de polluants n'est pas respectée (concentration strictement supérieure à la NQE), le site est considéré comme étant en mauvais état ;
- lorsque le respect des NQE n'a pu être déterminé pour aucun de ces polluants et familles de polluants, dans ce cas uniquement, l'état du site est considéré comme étant inconnu ;
- dans les autres cas, lorsque aucun polluant ou famille de polluants ne présente une concentration dépassant la NQE, et que le respect de la NQE est vérifié pour au moins un polluant ou une famille de polluants, la station est en bon état. »

Tableau 5 : Normes de qualités environnementales provisoires (NQE_p), Moyennes annuelles (MA) et Concentrations maximales admissibles (CMA) pour les substances figurant sur la liste 1 (souligné) et la liste 2 de la directive 2006/11/CE dosées dans cette étude.

Circulaire du 07/05/2007, NQE _p pour les eaux marines intérieures et territoriales			Normes de qualité environnementales des polluants (Arrêté du 9 octobre 2023 remplace les annexes de l'arrêté initial du 25 janvier 2010)	
Paramètre	Unité	NQE _p	NQE-MA	NQE-CMA
Métaux lourds				
Arsenic	$\mu\text{g/L}$	BFG + 4,2		
Cadmium	$\mu\text{g/L}$	BFG + 0,2	0,2	1,5 (classe 5 : dureté eau de mer)
Chrome Total	$\mu\text{g/L}$	BFG + 3,4		
Cuivre	$\mu\text{g/L}$	BFG + 1,4		
Mercure	$\mu\text{g/L}$	BFG + 0,05		0,07
Nickel	$\mu\text{g/L}$	BFG + 2,1	8,6	34
Plomb	$\mu\text{g/L}$	BFG + 0,4	1,3	14
Zinc	$\mu\text{g/L}$	BFG + 3,1 ou 7,8		
Micropolluants organiques (PCB)				
PCB 28	$\mu\text{g/L}$			sans objet
PCB 52	$\mu\text{g/L}$			sans objet
PCB 101	$\mu\text{g/L}$			sans objet
PCB 118	$\mu\text{g/L}$			sans objet
PCB 138	$\mu\text{g/L}$			sans objet
PCB 153	$\mu\text{g/L}$			sans objet
PCB 180	$\mu\text{g/L}$			sans objet
HAP				
Naphtalène	$\mu\text{g/L}$	1,2	2	130
Acénaphthène	$\mu\text{g/L}$	0,7		
Fluorène	$\mu\text{g/L}$	0,3		
Phénanthrène	$\mu\text{g/L}$	0,11		
Anthracène	$\mu\text{g/L}$	0,1	0,1	0,1
Fluoranthène	$\mu\text{g/L}$	0,1	0,0063	0,12
Pyrène	$\mu\text{g/L}$	0,024		
Benzo [a] anthracène	$\mu\text{g/L}$	0,005		
Chrysène	$\mu\text{g/L}$	0,006		
Benzo [b] fluoranthène	$\mu\text{g/L}$	0,03		0,017
Benzo [k] fluoranthène	$\mu\text{g/L}$	0,03		0,017
Benzo [a] pyrène	$\mu\text{g/L}$	0,05	0,00017	0,027
Di benzo [a,h] anthracène	$\mu\text{g/L}$	0,00006		
Benzo [g,h,i] pérylène	$\mu\text{g/L}$	0,002		0,00082

Indéno [1,2,3-cd] pyrène	µg/L	0,002		sans objet
Acénaphthylène	µg/L	0,4		
Somme des 16 HAP	µg/L			
Dérivés de l’Etain				
DBT	µg/L	0,0002	0,0002	0,0015
MBT	µg/L	0,0002	0,0002	0,0015
TBT	µg/L	0,0002	0,0002	0,0015

2.2.2 Evaluation de l’état écologique

La Directive Cadre sur l’Eau (DCE 2000/60/CE) du 23 octobre 2000 définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen. Elle fixe un objectif de bon état écologique et chimique pour les eaux superficielles. La Directive s’appuie sur l’évaluation d’un certain nombre d’éléments de qualité pour définir l’état global d’une masse d’eau. La liste des éléments de qualité à prendre en compte varie selon la catégorie de la masse d’eau.

Les deux masses d’eau concernées par l’étude du raccordement sont :

1. FRGT28 La Loire, T7, eau de transition, grand estuaire moyennement à fortement salé et à fort débit ; stations RTE_038 et Ref Loire.
2. FRGC46 Loire large, C10 eau côtière, cote sableuse partiellement stratifiée ; stations situées le long du raccordement.

Les éléments de qualité physico-chimiques retenus comme paramètres de soutien pour la classification de l’état écologique des masses d’eaux côtières et de transition sont :

- Les nutriments ;
- La température de l’eau ;
- La transparence ;
- Le bilan d’oxygène.

Pour les eaux de transition, IFREMER précise que les indicateurs température de l’eau et transparence ne seront pas pertinents (Daniel et Soudant, 2020b, 2020c). De plus, pour la température, la fiche de méthodologie indique que l’évaluation ne peut être effectuée s’il y a moins de 12 données dans la masse d’eau pendant les 6 ans du plan de gestion. Les valeurs de transparence/turbidité seront comparées aux seuils de façon indicative. Par ailleurs, comme les indicateurs physico-chimiques sont considérés comme des paramètres de soutien, ils ne peuvent pas déclasser une masse d’eau au-delà de la classe « Moyen ».

Nutriments (Daniel et al., 2020)

Le terme « nutriments » désigne les composés inorganiques nécessaires à la nutrition des producteurs primaires (phytoplancton, macroalgues, angiospermes). Ils sont naturellement présents dans le milieu. Toutefois, lors d’une augmentation de flux de nutriments en zone côtière (en raison d’apports anthropiques tel que les rejets du au lessivage des terres agricoles, les rejets urbains et industriels), les nutriments peuvent être parfois considérés comme une pression à l’origine de nuisances indirectes.

La grille suivante donne l’évaluation pour l’azote inorganique dissous NID calculé comme la somme de l’ammonium, des nitrates et des nitrites (en µmol/L), normalisé à une salinité de 33.

Pour la comparaison des données de cette étude avec ces valeurs, le NID est calculé selon la formule suivante :

$$NID = \frac{[NO_3] + [NO_2] + [NH_4]}{[Na]} \times 33$$

La comparaison est néanmoins indicative car le NID de référence est calculé sur une période de 6 années de novembre à février.

NID (µmol/L)		< 20	20-33	>=33
Etat écologique		Très bon	Bon	Moyen

Les indices phosphates et silicates sont toujours à l'étude pour les masses d'eau côtières et de transition.

Transparence / turbidité (Daniel et Soudant, 2020c)

Comme définie par la DCE, la turbidité évalue la transparence d'une eau par la perte de lumière résultant de sa traversée. Elle est donc fonction de la quantité, de la taille et de la forme des particules en suspension et varie en fonction des apports des fleuves, de la remise en suspension du sédiment et de la concentration en plancton.

Le littoral français a été réparti en plusieurs écotypes suivant l'atlas de turbidité établi par Gohin, 2011. Les masses d'eau concernée par l'étude du raccordement sont classées dans l'écotype 3 dont la valeur de référence est plus élevée (20,1 NTU) du fait de l'absence de côte rocheuse et de sa proximité avec l'embouchure d'un fleuve.

Turbidité (NTU)	0-30	30-45	> 45
Etat écologique	Très bon	Bon	Moyen

Oxygène dissous (Daniel et Soudant, 2020a)

L'oxygène dissous est un paramètre vital qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. En dessous de certaines concentrations, de nombreuses espèces vivantes meurent. Les seuils sont donnés pour la mesure de l'oxygène dissous au fond en mg/L.

O ₂ dissous (mg/L)	> 5]5-3]	< 3
Etat écologique	Très bon	Bon	Moyen

Chlorophylle a (Lemoine et al., 2020)

Les concentrations en chlorophylle *a* mesurées dans les prélèvements de subsurface font également partie des critères d'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux littorales de l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du Code de l'Environnement dont la dernière modification date du 9 octobre 2023 (C. de Lavergne, 2023; J.-C Vial, 2010).

Le tableau suivant présente la grille de qualité pour l'indicateur "chlorophylle a" dans les eaux côtière et de transition du littoral Manche Atlantique. Le percentile 90⁴ calculé sur des données mensuelles, sur six ans, constitue la métrique retenue par la DCE pour ce paramètre.

La comparaison avec cet indicateur est donc indicative.

Percentile chlorophylle a	90	< 5 µg/L	5 à 10 µg/L	10 à 20 µg/L	20 à 40 µg/L	> 40 µg/L
Etat écologique		Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

La vitalité du phytoplancton est également calculée de la manière suivante :

$$Vitalité = \frac{[Chlorophylle]}{[Phéopigments]}$$

Un rapport supérieur à 1 témoigne de la productivité du phytoplancton. A l'inverse, un rapport inférieur à 1 est obtenu lors de phases de sénescence.

2.2.3 Comparaison données bibliographiques

Les données de qualité de l'eau ont été comparées aux données issues des programmes de surveillance nationaux sur deux stations « Basse Michaud » (069-P-075) et « Pointe St Gildas Large » (069-P024). Ces deux stations font l'objet d'un suivi hydrologique dans la masse d'eau FRGC46 Loire Large au titre du programme REPHY. Elles comportent des caractéristiques différentes de profondeur, d'hydrologie et de forçage (Le Merrer et al., 2022). Basse Michaud, au nord, se situe plus au large et approche les 30m de profondeur. Pointe St Gildas est plus côtière, plus au sud, elle affiche une profondeur de l'ordre de 14m. La localisation du panache de la Loire et son étendue varie selon les épisodes météorologiques. L'hiver en période de crue le panache peut être orienté en direction du nord-ouest poussé par les vents tempétueux du sud-ouest. Sa signature se retrouvera alors sur la station Basse Michaud lorsque les débits seront particulièrement importants (Le Merrer et al., 2022). En automne et au printemps, lorsque les débits diminuent le panache peut s'orienter en direction du sud, vers la Baie de Bourgneuf et donc la station Pointe St Gildas Large. Des deux stations, c'est cette dernière qui est le plus fréquemment sous l'influence de la Loire.

Les données historiques pour ces stations ont pue être téléchargées via le portail Surval (IFREMER, 2023). Les dates ont été sélectionnées de façon à être le plus proches possibles des dates d'échantillonnage de la présente étude. Elles sont rassemblées dans le tableau ci-dessous. A noter que l'ensemble des paramètres n'ont pas toujours été observés aux dates sélectionnées.

Tableau 6: Récapitulatif des dates d'observations des données historiques REPHY utilisées pour la présente étude.

Station REPHY	St Gildas Large	Basse Michaud
Etat de référence (2020)	03/03/2020	03/03/2020
Post travaux (2022)	09/03/2022	15/03/2022
Exploitation 1 (2023)	17/04/2023	24/04/2023
Exploitation 2 (2024)	03/04/2024	18/04/2024

⁴ La valeur recherchée est la valeur représentative de la situation rencontrée pendant 90% du temps.

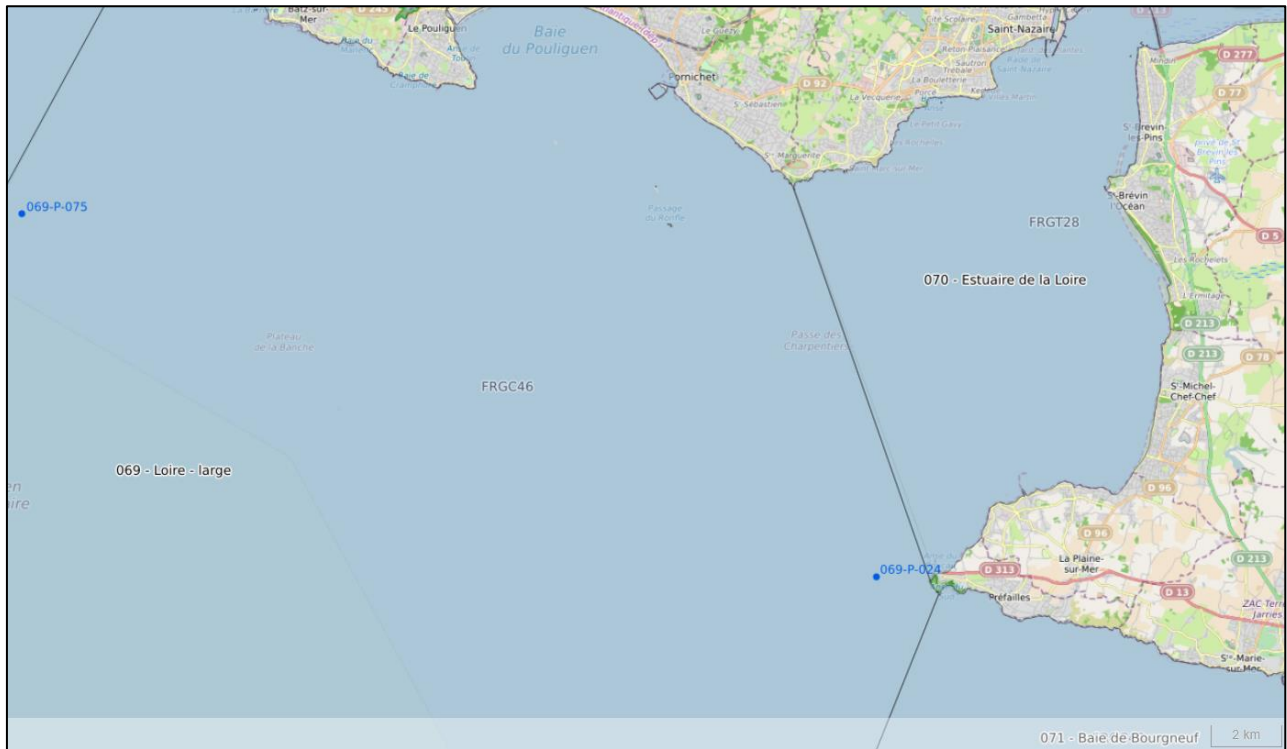


Figure 9 : Localisation des stations de suivis « Basse Michaud » (069-P-075) et « Pointe St Gildas Large » (069-P-024) © Surval IFREMER.

2.3 Suivi des peuplements benthiques

2.3.1 Echantillonnage sur substrats meubles

2.3.1.1 Campagne de prélèvements

Pour le suivi des peuplements benthiques de substrat meuble, 16 stations ont été échantillonnées (Figure 10) :

- 8 stations de suivi (nommées RTE_XX) réparties le long du fuseau de raccordement du parc éolien. Ces stations caractérisent les variations de nature de fonds observées lors de l'état initial de l'étude d'impact le long du tracé,
- 8 stations de référence (nommées Ref_RTE_XX) réparties de part et d'autre de la zone de travaux, sur des fonds présentant des caractéristiques similaires (bathymétrie, type d'habitat, granulométrie) à celles des stations de suivi. Ces stations sont éloignées de 500 m à 1 km du fuseau, afin de garantir leur valeur de référence.

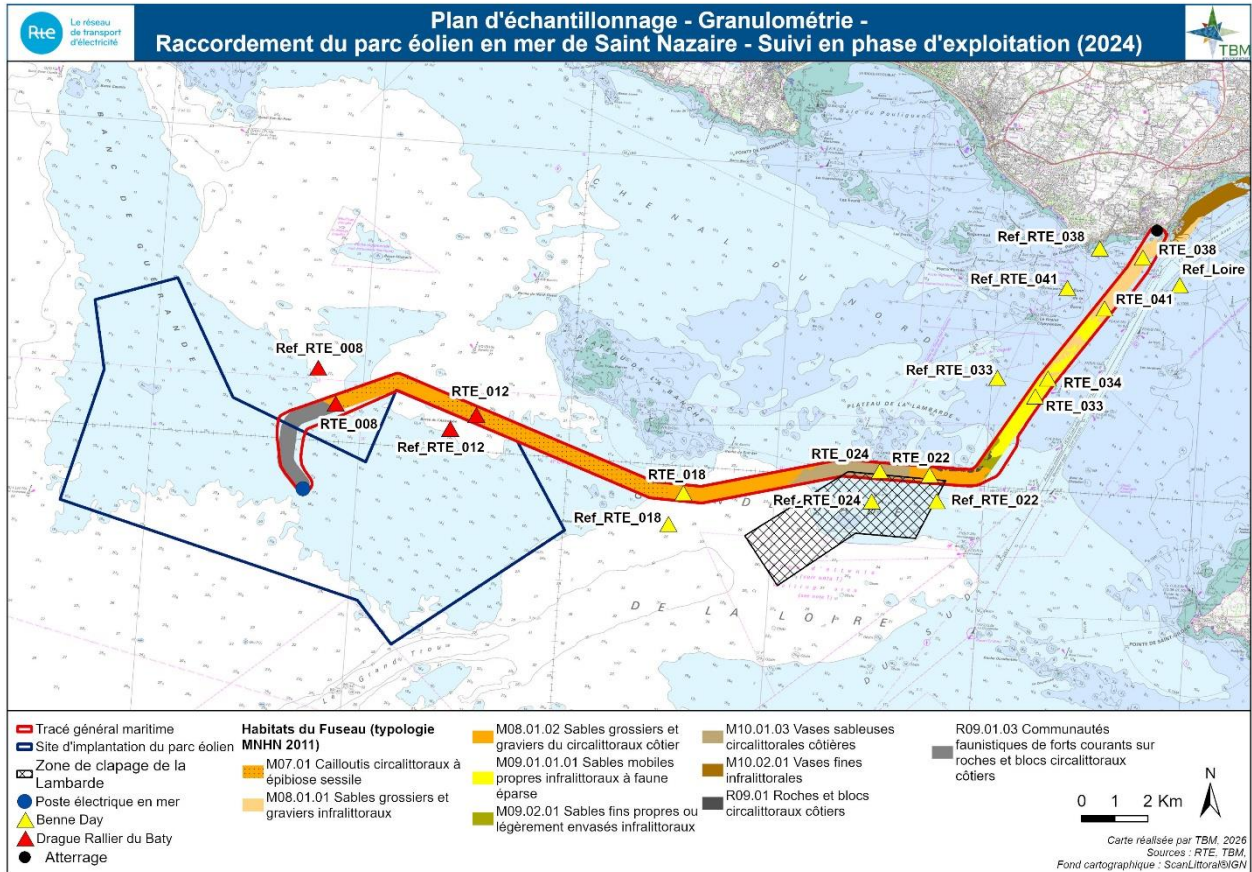


Figure 10 : Plan d'échantillonnage des stations de suivi pour les peuplements benthiques de substrat meuble subtidal.

Sur la grande majorité des stations, les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une benne Day (Figure 11). Cet engin de prélèvement est couramment déployé pour l'échantillonnage quantitatif des peuplements benthiques de substrats fins à grossiers. Sur chaque station, cinq répliqués d'une surface unitaire de 0,1 m² ont été prélevés pour les analyses faunistiques et un répliqué supplémentaire pour les analyses granulométriques et physico-chimiques (Figure 11). Sur la station Ref_RTE_38, seuls deux répliqués ont pu être prélevés. Cette différence de surface échantillonnée est prise en compte dans les analyses.



Figure 11 : À gauche, déploiement de la benne Day. À droite, exemple d'un répliat collecté sur une surface de 0,1 m² (© TBM environnement).

Plus au large, à proximité du parc, la hausse des fractions sédimentaires graveleuses a requis l'usage d'une drague Rallier du Baty (Figure 12). Cette dernière a été employée sur les stations RTE_008, Ref_RTE_008, RTE_012 et Ref_RTE_012. Cet engin de prélèvement semi-quantitatif garantit le prélèvement des galets et graviers présents sur la zone. La drague est en effet tractée selon une durée fixe de 20 minutes et prélève un volume de sédiment variable (Figure 13). La profondeur de sédiments pénétrée est donc fluctuante et les paramètres de densité des organismes ne sont pas exprimés par unité de surface mais par unité de volume. De fait, le volume total prélevé par la drague a été sous-échantillonné en cinq répliatés de 5 L, destinés aux analyses faunistiques, permettant ainsi l'expression des densités dans un volume total de 25 L. Un répliat supplémentaire a été conservé pour les analyses granulométriques et physico-chimiques.



Figure 12 : À gauche, remontée de la drague rallier du Baty et à droite, exemple de prélèvement réalisé (© TBM environnement)

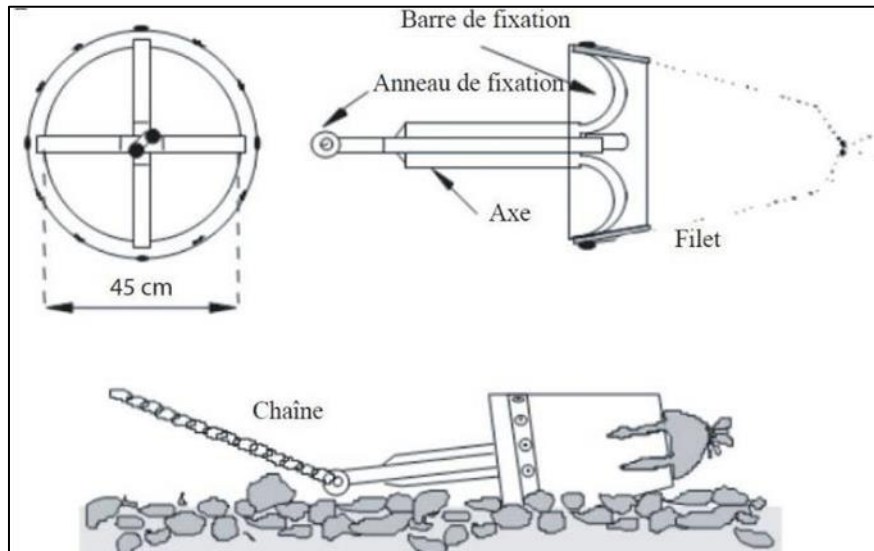


Figure 13 : Mécanisme de fonctionnement de la drague rallier du Baty (Trigui, 2009).

Ces prélèvements ont été effectués conformément à :

- La norme NF EN ISO 16 665 « Qualité de l'eau - Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles »,
- La Fiche Contrôle de surveillance Eaux côtières Invertébrés Substrats meubles, « Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : Etat des lieux et propositions, District côtier Seine-Normandie, Ifremer »,
- La Fiche technique REBENT n°1. Echantillonnage quantitatif des biocénoses subtidales de substrats meubles, C. Hily et J. Grall (décembre, 2003).

Les échantillons destinés à l'analyse de la faune benthique ont été passés sur un tamis de maille 1 mm à bord, puis mis en sac plastique et formolés (solution d'eau de mer à 6-8 % de formol) avant leur traitement au laboratoire (tri et détermination). L'ensemble des précautions sanitaires requises pour la manipulation de formol a été appliqué (masque facial intégral avec cartouches adaptées, gants en vinyle, formolage en lieu ventilé, etc.).

Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques ont été conditionnés conformément aux recommandations du laboratoire agréé EUROFINs Hydrologie et conservé dans une glacière à 6-8°C tout le long du transport.

Après réception, les échantillons de faune ont été triés et analysés en laboratoire selon un protocole standardisé (Guillaumont et al., 2005; Norme NF EN ISO 16665). Selon ce protocole, les échantillons sont, dans un premier temps, conditionnés sous sacs plastiques, puis tamisés sur une maille de 1 mm. L'eau formolée est récupérée dans un bidon hermétique (Figure 14). Nocif pour l'environnement, ce mélange de fixation est ensuite détruit par une entreprise spécialisée en centre agréé. Dans un local indépendant en dépression, les échantillons sont ensuite rincés à l'eau douce dans des éviers pendant un minimum de 24 h, afin d'éliminer toute trace de formol (Figure 14). Une hotte aspirante (conforme aux normes de filtration du formaldéhyde) surplombe les éviers et assure l'évacuation des vapeurs dégagées par les échantillons. Pendant la phase de déformolage, le port des équipements de protection individuels (EPI) est obligatoire (masque facial à cartouches, gants nitrex 802 et blouse de laboratoire) et l'accès au local de déformolage restreint au personnel compétent.



Figure 14. Etapes du déformolage : récupération de l'eau formolée (à gauche) et rinçage (à droite) (©TBM environnement).

Dans un second temps, chaque échantillon est minutieusement trié à la pince fine sous hotte aspirante (Figure 15), pour le prélèvement des macro-invertébrés benthiques de taille supérieure ou égale à 1 mm. Les organismes sont placés en pilulier avec de l'éthanol à 70° dans l'attente de l'étape de détermination (Figure 15).

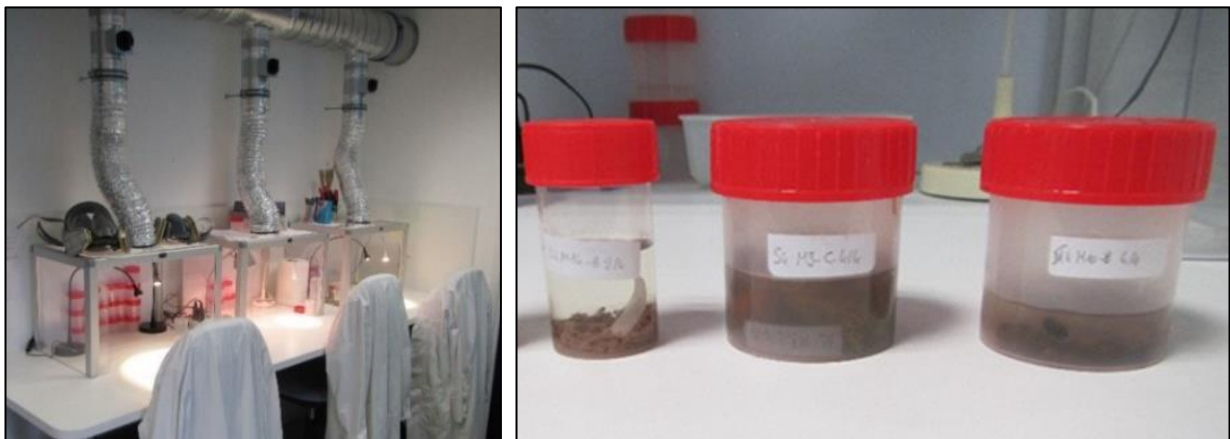


Figure 15. Postes de tri des échantillons de macrofaune benthique (à gauche) et piluliers de conditionnement (à droite) (©TBM environnement).

Dans la majorité des cas, la détermination taxonomique de chaque individu est réalisée sous loupe binoculaire et/ou microscope jusqu'au niveau de l'espèce, en fonction de son état de conservation. Seuls les nématodes, les plathelminthes et les oligochètes ne sont mentionnés qu'au niveau de l'embranchement ou du groupe taxonomique. Le référentiel taxonomique World Register of Marine Species (WORMS) sert de référence.

Pour chaque échantillon, le nombre d'espèces ainsi que le nombre exact d'individus par espèce de l'endofaune est comptabilisé.

2.3.1.2 Rappel sur les campagnes d'échantillonnage antérieures

En 2013, 40 stations semi-quantitatives ont été échantillonnées à la drague Rallier du Baty pour une analyse granulométrique des fonds et de la macrofaune en vue de caractériser les habitats. Parmi ces stations, quatre ont également été prospectées à la benne Day pour l'échantillonnage quantitatif des peuplements benthiques et l'analyse de la granulométrie.

En 2020, huit stations (parmi les 40 stations échantillonnées en 2013) ont été échantillonnées à la benne pour échantillonner, une nouvelle fois, de manière quantitative, les peuplements benthiques et analyser la granulométrie. Parmi elles, seules 3 étaient communes à celles échantillonnées à la benne en 2013 (stations 22, 24 et 41).

Par conséquent, les données granulométriques ont pu être comparées avec le suivi de 2013 seulement au niveau des 3 stations communes. Pour les suivis suivants (2020, 2022, 2023 et 2024), 16 stations ont pu être étudiées. Seules les stations échantillonnées à la drague rallier du Baty étaient manquantes en 2022 (travaux en cours sur le parc).

Les opérations réalisées sur les cinq années de suivi sont récapitulées dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Tableau de synthèse des opérations réalisées sur les substrats meubles entre 2013 et 2024.

Stations échantillonnées	Engin de prélèvement	Nombre de réplicats	Texture sédimentaire
Stations conservées de l'état initial (2013)			
RTE_22	Benne Smith	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_24	Benne Smith	5 x 0,1 m ²	Vases
RTE_41	Benne Smith	5 x 0,1 m ²	Sables moyens
Stations de l'état de référence (2020)			
RTE_008	Drague Rallier du Baty	5 x 5L	Sables grossiers
Ref-RTE_008	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_012	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_012	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_018	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_018	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens
RTE_024	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Vases
Ref-RTE_024	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Vases
RTE_022	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_022	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_033	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_033	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_041	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables fins à moyens
Ref-RTE_041	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens
RTE_038	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_038	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers à moyens
Stations du suivi post travaux (2022)			
RTE_008			
Ref-RTE_008			
RTE_012			
Ref-RTE_012			
RTE_018	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_018	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens à grossiers
RTE_024	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Vases
Ref-RTE_024	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Vases
RTE_022	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_022	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_033	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables fins
Ref-RTE_033	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_041	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens
Ref-RTE_041	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables fins
RTE_038	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_038	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens
Stations du suivi en phase d'exploitation (2023)			
RTE_008	Drague Rallier du Baty	5 x 5L	Graviers
Ref-RTE_008	Drague Rallier du Baty	5 x 5L	Graviers

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

RTE_012	Drague Rallier du Baty	1 x 5L	-
Ref-RTE_012	Drague Rallier du Baty	1 x 5L	-
RTE_018	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_018	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens à fins
RTE_024	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Vases sableuses
Ref-RTE_024	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens
RTE_022	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_022	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_033	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables fins
Ref-RTE_033	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens à fins
RTE_041	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_041	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables fins
RTE_038	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_038	Benne Day	3 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Stations du suivi en phase d'exploitation (2024)			
RTE_008	Drague Rallier du Baty	5 x 5L	Graviers
Ref-RTE_008	Drague Rallier du Baty	5 x 5L	Graviers
RTE_012	Drague Rallier du Baty	5 x 5L	Graviers
Ref-RTE_012	Drague Rallier du Baty	5 x 5L	Graviers
RTE_018	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Graviers
Ref-RTE_018	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_024	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Vases sableuses
Ref-RTE_024	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
RTE_022	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Graviers
Ref-RTE_022	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens
RTE_033	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables fins
Ref-RTE_033	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables moyens
RTE_041	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables grossiers
Ref-RTE_041	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Sables fins
RTE_038	Benne Day	5 x 0,1 m ²	Graviers
Ref-RTE_038	Benne Day	2 x 0,1 m ²	-

2.3.1.3 Analyses

Les données faunistiques recueillies (noms d'espèces et effectifs) ont permis le calcul de plusieurs variables et indices, présentés ci-après. Cette série d'analyses a pour objectif de décrire les communautés benthiques en présence, sur la base de critères quantitatifs et qualitatifs, de comprendre leurs facteurs structurants (granulométrie) et de définir leur état écologique.

2.3.1.3.1 Indices univariés : abondance et richesse spécifique

Les données biologiques obtenues ont permis l'estimation de deux paramètres synthétiques univariés :

- l'abondance (A) exprimée en nombre d'individus par mètre carré,
- la richesse spécifique (S) correspondant au nombre total d'espèces différentes récoltées sur une station.

Face à une perturbation, les espèces vont généralement suivre 3 trois types de réaction selon leur sensibilité :

- disparaître, pour les plus sensibles,

- se maintenir, pour les indifférentes,
- profiter des nouvelles conditions mises en place et se développer, pour les tolérantes et les opportunistes.

2.3.1.3.2 Analyses multivariées

Les méthodes multivariées permettent de mettre en évidence des similitudes entre des ensembles de stations et de les associer avec les paramètres environnementaux. Ces méthodes traduisent les différences inter-stations en distance, selon deux types d'analyses : la classification et l'ordination. Les analyses multivariées sont réalisées à l'aide du logiciel PRIMER© (version 7, Clarke and Gorley, 2015).

Tout d'abord, les données subissent une transformation logarithmique ($\log(X+1)$) afin de diminuer le poids des espèces très abondantes. Puis, l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis (ou coefficient) est calculé afin de mesurer la ressemblance globale entre les échantillons (comparaison 2 à 2), à la fois en termes d'espèces et d'abondance (Bray et Curtis, 1957).

Des Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH) sont ensuite effectuées pour visualiser les regroupements des peuplements de nature similaire. Sur la base de leur coefficient de Bray Curtis, les stations les plus proches sont regroupées sous la forme d'un dendrogramme dont la longueur des branches représente le pourcentage de similarité entre les assemblages d'espèces. Les données comparées sont des abondances d'espèces. La routine SIMPROF, correspondant à une série de tests statistiques de permutation des profils de similarité, est réalisée pour renforcer et attester de la significativité des relations figurant sur le dendrogramme.

En complément de la CAH, une méthode d'ordination, le multi-dimensional scaling (MDS), est appliquée afin de rendre compte visuellement des proximités inter-stations. Dans ce type d'analyse, les stations sont positionnées dans un espace en 2D à partir d'une matrice de distance : plus elles sont similaires, plus elles sont proches (Clarke et al., 2014). Cette analyse est effectuée sur la base de la présence des espèces et de leur abondance. dans le cas présent l'analyse réalisée est non métrique (Non-metric Multi-Dimensional Scaling).

La procédure SIMPER (SIMilarity PERcentage) est également utilisée dans le but d'identifier les espèces discriminant les différents groupes de stations. Cette analyse indique les espèces « caractéristiques » des peuplements, c'est-à-dire les espèces qui participent le plus à la définition d'un groupe de stations par rapport à un autre. Cette procédure décompose les similarités moyennes de Bray Curtis entre toutes les paires du groupe, en pourcentage de contribution de chaque espèce. Enfin, les données environnementales pertinentes, par exemple les habitats sédimentaires, sont superposées aux représentations graphiques (MDS et CAH). Les regroupements des stations sont ainsi interprétés au regard de leurs peuplements et de leurs paramètres environnementaux connus. La Figure 16 résume la démarche mise en œuvre dans le cadre des analyses multivariées, selon les cinq étapes décrites ci-dessus (Grall and Coïc, 2006).

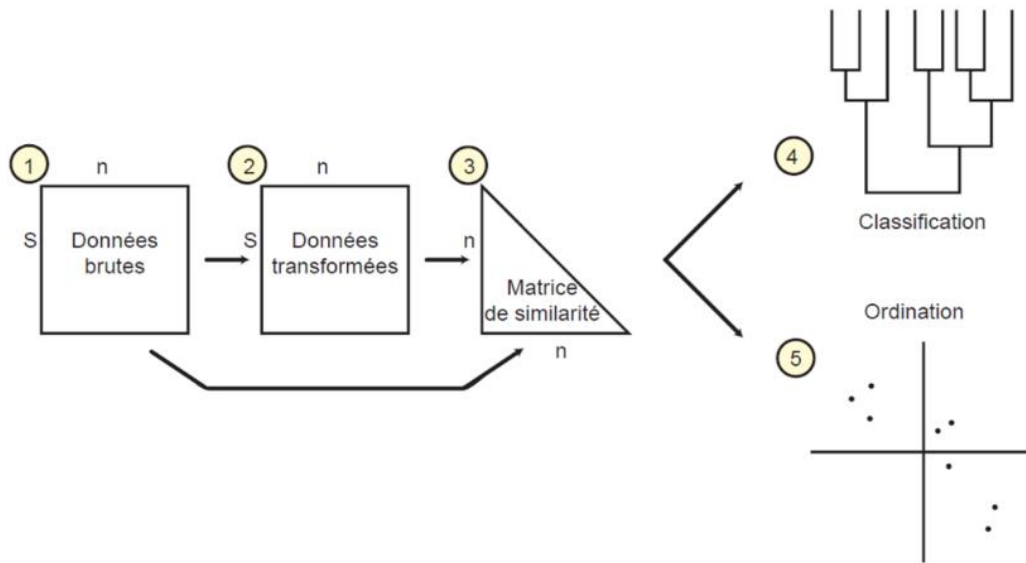


Figure 16. Analyses multivariées : résumé des étapes conduisant à la classification ou à l'ordination (d'après Grall and Coïc, 2006).

2.3.1.3.3 Indice biotique : l'AMBI

L'objectif des indices biotiques est d'estimer l'état de santé du milieu et ses modifications éventuelles grâce à des groupes d'espèces dont la présence ou l'absence et l'abondance relative témoignent de déséquilibres au sein des peuplements (Alzieu, 2003c). Cette méthode est donc uniquement basée sur des données biologiques et permet de mesurer l'état de santé des peuplements en lien avec un enrichissement en matière organique, et par là même occasion, du milieu sur une échelle d'indices.

Les deux avantages principaux de l'utilisation des indices biotiques sont, d'une part de révéler des anomalies environnementales non détectables par les autres méthodes, physico-chimiques notamment, d'autre part de visualiser d'une façon claire et rapide les progrès réalisés dans l'amélioration du milieu (politique de bassin versant, assainissement, etc.). L'emploi d'un indice permet donc de résumer en une valeur unique une somme importante d'informations écologiques.

Les espèces benthiques sont révélatrices d'un ensemble de conditions physico-chimiques de leurs habitats. Ainsi, il est possible de les classer selon leur réaction face à l'enrichissement du milieu en matière organique. L'indice de qualité du milieu se fonde sur la distinction de cinq groupes écologiques regroupant des espèces de la macrofaune benthique ayant en commun une sensibilité similaire vis-à-vis de la matière organique en excès et du déficit éventuel d'oxygène résultant de sa dégradation. Ces groupes écologiques de polluto-sensibilité ont été identifiés par Hily, (1984) et complétés par de nombreux auteurs (Grall et Glémarec, 1997). Ils sont définis comme suit :

- *Groupe écologique I* : espèces sensibles à une hypertrophisation. Elles disparaissent les premières lorsqu'il y a hypertrophisation du milieu,
- *Groupe écologique II* : espèces indifférentes à une hypertrophisation. Ce sont des espèces peu influencées par une augmentation de la quantité de la matière organique,

- *Groupe écologique III* : espèces tolérantes à une hypertrophisation. Elles sont naturellement présentes dans les vases ; comme leur prolifération est stimulée par un enrichissement du milieu, elles sont alors un indice du déséquilibre du système,
- *Groupe écologique IV* : espèces opportunistes de second ordre. Ce sont des petites espèces à cycle court (< 1an) abondantes dans les sédiments réduits des zones polluées,
- *Groupe écologique V* : espèces opportunistes de premier ordre. Ce sont des dépositivores, proliférant dans les sédiments réduits.

La Figure 17 illustre l’évolution des groupes écologiques en fonction d’une perturbation croissante liée à un enrichissement en matière organique.

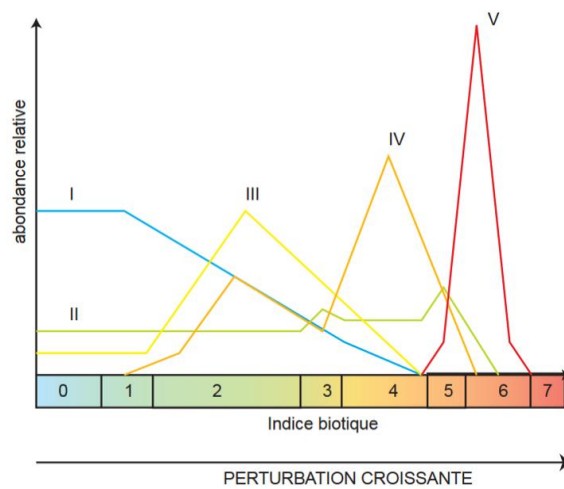


Figure 17. Modèle des indices biotiques (groupes écologiques notés en chiffres romains) (D’après Grall et Coïc, 2006).

Le Coefficient Benthique (CB ou AMBI) a été créé par Borja et al. (2000). Il consiste à pondérer le pourcentage de chaque groupe écologique présent par le poids de sa contribution dans la représentation du niveau de perturbation :

$$AMBI = \frac{(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)}{100}$$

Cette formule a l’avantage de transformer l’indice en variable continue, ce qui permet l’utilisation de tests statistiques pour en vérifier la validité. De plus, il permet de s’affranchir de la subjectivité pour attribuer une valeur lorsque deux groupes écologiques sont en proportions équivalentes. Le Tableau 8 indique les correspondances entre les valeurs de l’indice AMBI et l’état de santé des communautés benthiques.

Tableau 8. Valeurs d’AMBI et état de santé des communautés benthiques (selon Borja et al., 2000).

Etat écologique	AMBI	Classification de la pollution
Très bon	0 < AMBI ≤ 1,2	Normal
Bon	1,2 < AMBI ≤ 3,3	Légèrement pollué, état transitoire
Moyen	3,3 < AMBI ≤ 4,3	Modérément pollué
Médiocre	4,3 < AMBI ≤ 5,5	Gravement pollué
Mauvais	5,5 < AMBI ≤ 7	Azoïque

Le calcul de l'indice AMBI est établi en fonction de la sensibilité des espèces à l'enrichissement en matière organique. Par conséquent, bien que révélateur des groupes d'espèces présents et de leurs caractéristiques, ce dernier n'est pas un indicateur de la réponse des peuplements benthiques aux pressions engendrées par les travaux d'installation d'un raccordement électrique. En effet, l'enrichissement en matière organique n'est pas un effet attendu lors de l'installation d'un parc éolien. Par conséquent, une approche complémentaire est proposée avec le calcul de l'indice GPBI, présenté ci-après.

2.3.1.3.4 Indice biotique : le GPBI (General Purpose Biotic Index)

Le GPBI, développé par Labrune et al. (2021), repose sur la diminution de l'abondance de la macrofaune en réponse à une perturbation physique, chimique ou biologique. Cet indice est construit sous l'hypothèse qu'une pression a un impact sur l'environnement dès que les espèces les plus sensibles voient leur abondance diminuer relativement à un ou plusieurs points de référence. Contrairement à certains indices de sensibilité à la pollution tels que l'AMBI ou le M-AMBI, l'indice GPBI se veut plus généraliste et adapté à un éventail de pressions plus large (Robert et al, 2021).

Pour une station donnée (t), l'indice $GPBI(t)$ est égal à la proportion des abondances ($Rquant$) des espèces présentes dans la station de référence (r) et qui sont absentes de la station expérimentale (c.à.d. soumise à la perturbation). Il est calculé selon la formule suivante :

$$GPBI \{t\} = Rquant \{r; t\} = 1 - \frac{C}{A + C}$$

Avec C la somme des abondances d'espèces présentes exclusivement dans la station de référence et A la somme des abondances d'espèces présentes à la fois dans la station de référence et la station expérimentale.

L'indice GPBI peut intégrer une ou plusieurs stations de référence pour une station expérimentale donnée. Lorsqu'il y a une unique station de référence l'indice est défini comme suit :

$$GPBI \{t\} = Rquant \{r; t\}$$

Lorsque les stations de référence sont multiples, l'indice est défini ainsi :

$$GPBI \{t\} = 1 - |\overline{ref} - \%loss|$$

Avec $\%loss$ la valeur moyenne des $Rquant \{r; t\}$ obtenus lors des comparaisons entre la station t et chaque station de référence et \overline{ref} la moyenne de toutes les valeurs de la matrice de similarité $Rquant \{r; t\}$ entre les stations de référence (valeurs de la diagonales comprises).

Dans le présent rapport, les valeurs de l'indice GPBI des stations expérimentales ont été calculées grâce au script R fourni par Labrune et al. (2021), en matériel supplémentaire de leur article. Plus les valeurs de l'indice GPBI sont proches de zéro, plus la station expérimentale et la station de référence ont une composition spécifique proche. En revanche, plus les valeurs sont proches de 1, plus la composition spécifique des stations diverge, suggérant un potentiel impact écologique.

Les valeurs du GPBI sont interprétées comme des indicateurs de proximité écologique entre stations expérimentales et stations de référence, sans seuil réglementaire strict.

2.3.1.3.5 Typologie des habitats

Il existe plusieurs typologies d'habitats comme celle des cahiers d'Habitats Natura 2000 (2004), la classification EUNIS (European Nature Information System) ou la typologie du MNHN (Michez *et al.*, 2019). 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).

La typologie des habitats retenue pour lister les habitats benthiques de l'étude est la classification du MNHN (Typologie NatHab-Atl). Ce référentiel national définit un langage commun pour les habitats 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.

2.3.1.3.6 Espèces et habitats à enjeu de conservation

Selon les données faunistiques recueillies, les habitats et les espèces présentant un enjeu de conservation ont été identifiés. Dans un premier temps, les documents réglementaires, tels que les conventions internationales, les textes communautaires et la législation nationale, qui définissent le statut de protection ou de conservation des espèces et des habitats, ont été consultés (voir Tableau 9).

Dans un second temps, des critères d'évaluation supplémentaires ont été utilisés pour préciser les enjeux de conservation de la zone étudiée. Ainsi, une responsabilité de conservation d'un habitat ou d'une espèce a été suggérée lorsque ces derniers sont rares, associés à une fonction écologique spécifique ou lorsqu'ils favorisent la diversité du site.

Tableau 9. Documents consultés afin d'identifier les habitats et espèces à enjeu de conservation de la zone d'étude.

Instruments juridiques relatifs à la conservation de la faune marine	Outils mis en place (listes, espaces naturels)	Echelle d'application	Type d'engagement	Source bibliographique
Conventions internationales				
Convention OSPAR	Liste OSPAR des espèces et habitats menacés et/ou en déclin	Région Atlantique Nord-Est	Engagement de principe	(OSPAR, 2008)
Conventions européennes				
Convention de Berne	Liste en Annexe III – espèces de faune protégées	Europe	Engagement de principe	(Conseil de l'Europe, 1979)
Directives environnementales européennes				
NATURA 2000 (Directive Habitats-faune-Flore - 92/43/CEE, réseau Natura 2000)	Zones spéciales de conservation (ZSC)	Union européenne	Obligation de résultat	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/natura-2000-zones-speciales-de-conservation-zsc/
Textes de Lois nationaux et locaux				
Loi Littoral	Texte de loi	Territoire français	Contraignant	www.legifrance.gouv.fr
Code l'environnement	Texte de loi	Territoire français	Contraignant	www.legifrance.gouv.fr
Code de l'urbanisme	Texte de loi	Territoire français	Contraignant	www.legifrance.gouv.fr
Documents de planification				
Document stratégique de façade	Opposabilité (obligation de compatibilité et de prise en compte)	Territoire français	Contraignant	(Toison, 2024)
Inventaires patrimoniaux				
Inventaire ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et floristique)	Liste des ZNIEFF	Territoire français	-	https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/listeZnieff

2.3.2 Echantillonnage sur substrats rocheux

Les campagnes d'échantillonnage des substrats rocheux localisées le long de la zone du raccordement ont été réalisées les 17/07/2024 et 27/08/2024. Ces dernières ont été menées en plongée sous-marine, depuis le port de Saint Nazaire, à bord des navires de la société Tetis : le « Tzigane II » et « le Louarnig ».

Sur les quatre stations d'échantillonnage prévues, seules deux ont pu faire l'objet de prélèvements : Lambarde et B2. Le plan d'échantillonnage des stations est présenté sur la Figure 18. Les stations de substrats rocheux naturels de Lambarde et B2 constituent par ailleurs des zones de référence pour le suivi de la colonisation des enrochements PK19.5 et PK8.5 (détaillé en section suivante), bien que les bathymétrie ne soient pas comparables.

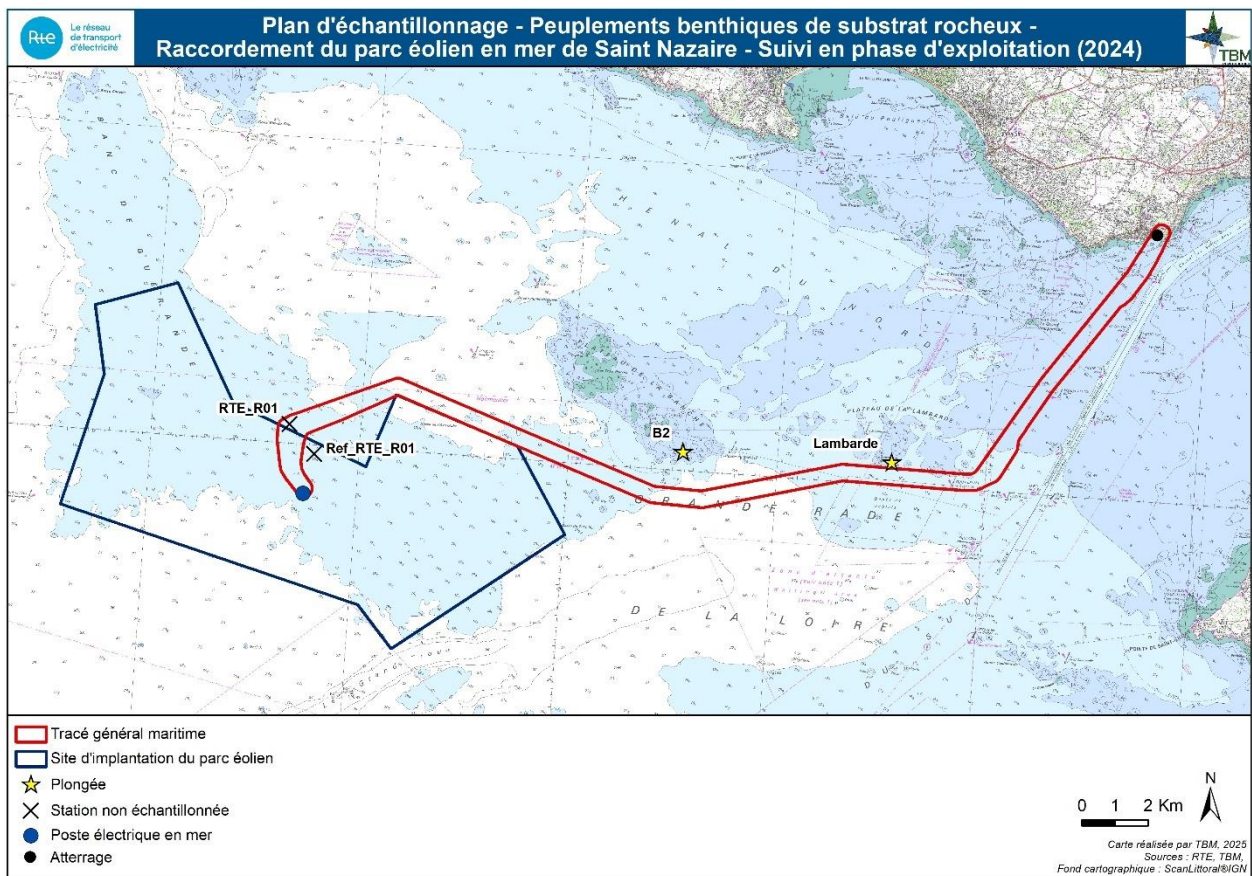


Figure 18 : Plan d'échantillonnage des stations de suivi de substrat rocheux subtidaux.

Sur chaque station, des prélèvements de faune et de flore ont été réalisés au sein de cinq quadrats de 0,1 m² (Figure 19). La faune fixée a été décollée à l'aide d'un ciseau à bois, puis aspirée à l'aide d'une suceuse reliée à un filet de collecte d'une maille de 1 mm. Au préalable, les algues de grande taille ont été récoltées à la main. Des photographies de chaque quadrat ainsi que des photos du milieu ont été réalisées. Les échantillons ont ensuite été individualisés, formolés et stockés à l'abri de la lumière. Au laboratoire, la faune et la flore ont été triées, déterminées à l'espèce et comptées.

En outre, 3 transects vidéo de 30 m de long par 2 m de large ont été réalisés sur les axes nord, est et ouest de la station. Le long, les échinodermes et crustacés ont été comptabilisés.

Enfin, les macro-algues structurantes ont été identifiées et dénombrées au sein de cinq quadrats souples de 0,25 m², sur la station B2. Ce suivi n'a pas pu être réalisé sur la station

Lambarde en raison d'une absence d'algues structurantes. En parallèle, dix stipes de *Laminaria hyperborea* ont été échantillonnés et les relevés suivants effectués : longueur, recouvrement par les épiphytes et par des nécroses sur les frondes des individus.

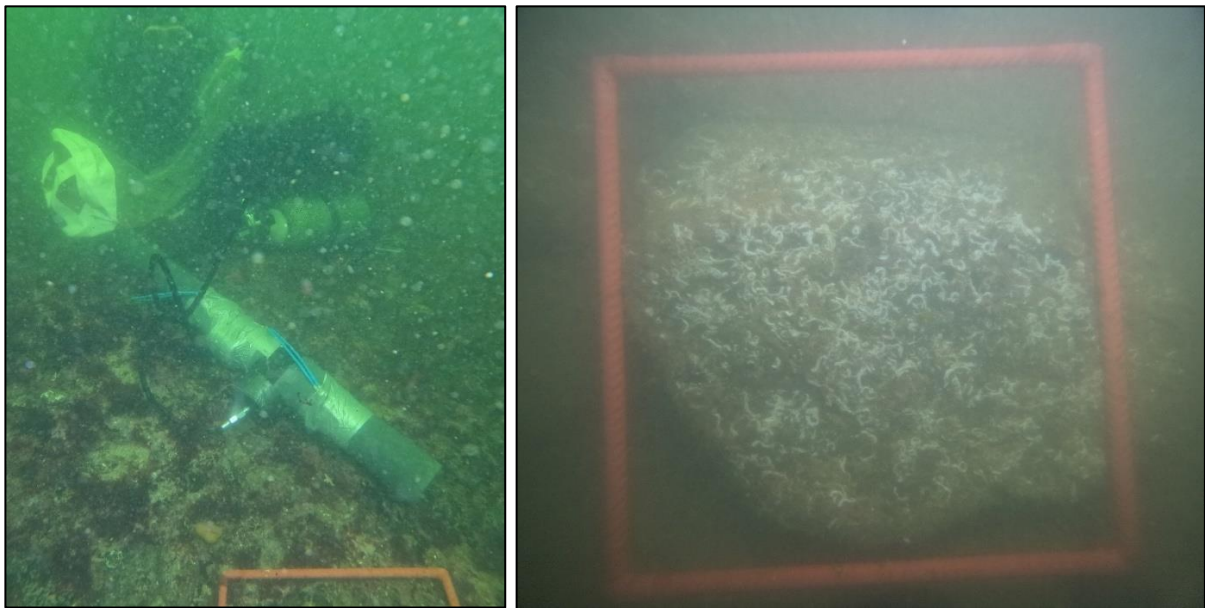


Figure 19 : Déploiement de la suceuse et exemple du quadrat de 0,1 m² échantillonné sur la station Lambarde (© TBM environnement).



Figure 20 : Exemple de captures d'image des transects vidéo réalisés sur la station Lambarde (© TBM environnement).

Le détail des opérations réalisées est présenté dans le Tableau 10. Ce travail a permis de réaliser une description quantitative de la faune et de la flore de petite taille.

Tableau 10. Récapitulatif des échantillonnages réalisés sur les stations de suivi de substrats rocheux

Nom station	Protocole de prélèvements	Protocole transects	Protocole macro-algues
RTE_R01	Non échantillonnée	Non échantillonnée	Non échantillonnée
Réf_RTE_R01	Non échantillonnée	Non échantillonnée	Non échantillonnée
Lambarde	5 quadrats (suceuse) + photos	3 transects 30m/2m comptage + vidéos	Non échantillonnée
B2	5 quadrats (suceuse) + photos	3 transects 30m/2m comptage + vidéos	Niveau des ceintures + 5 quadrats algues par niveau



Figure 21 : Exemple de quadrats de 0,1 m² réalisés sur la station B2 (© TBM environnement).

2.3.3 Echantillonnage sur les enrochements

La liaison sous-marine peut être ensouillée ou bien protégée par des protections externes qualifiées de « blocs immergés » ou d'« enrochements » (Figure 22). Dans ce cas, RTE est tenu de réaliser un suivi de la recolonisation et de l'effet récif associés à ces blocs immergés.



Figure 22 : Exemple de protection externe (issu de Taormina, 2019).

Les campagnes d'échantillonnage des enrochements se sont déroulées en plongée, les 15/07/2024, 17/07/2024, 06/08/2024, 29/08/2024 et le 5/11/2024. Les campagnes ont été réalisées au départ du port de Saint-Nazaire, à partir du navire « Tzigane II », en parallèle de l'étude des substrats rocheux.

Au total, deux zones d'enrochement sont étudiées : PK8.5 et PK19.5 (Figure 23). La première zone de blocs immergés s'étend sur 128 m et la seconde sur 75 m. Un schéma explicatif détaille les caractéristiques d'un enrochement en Figure 24.

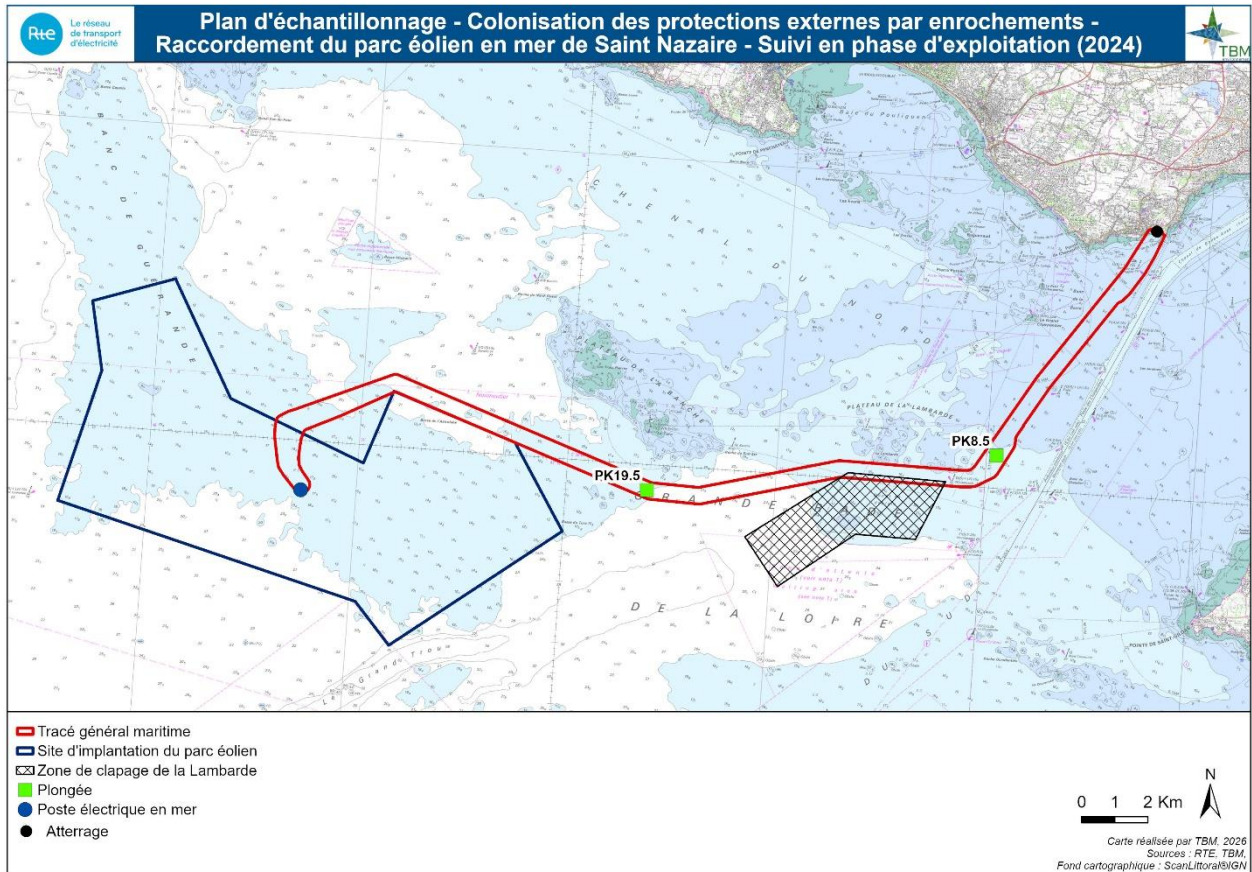


Figure 23 : Localisation des stations PK19.5 et PK8.5 le long du fuseau de raccordement.

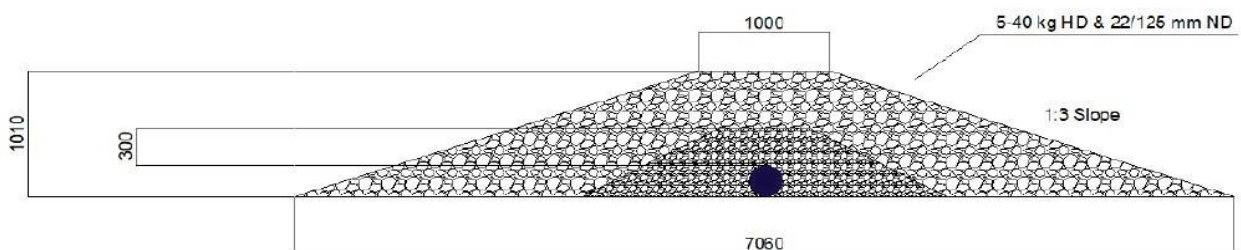


Figure 24 : Schéma des blocs immergés (© RTE).

Le protocole prévu est très similaire à celui mis en place pour l'étude des substrats rocheux subtidiaux. En effet, la mise en place d'une approche systématique sur une surface connue constitue une approche précise sur les peuplements floristiques et faunistiques et compatible avec les analyses statistiques. Le protocole est également très proche des suivis du recouvrement biologique qui ont été réalisés lors du projet RECIF (Recif, 2015) ou lors des travaux de Taormina (2019).

Deux types de relevés étaient prévus : des quadrats et des transects. En raison de mauvaises conditions météorologiques et d'un manque de visibilité sous l'eau. Aucun quadrat

n'a pu être échantillonné sur la station PK8.5. Néanmoins des galets ont été prélevés pour un suivi qualitatif des espèces en présence.

Sur la station PK19.5, 10 quadrats de 0,1 m² ont été échantillonnés, cinq positionnés sur le plateau sommital et cinq sur la pente nord (Figure 25). Cette stratégie d'échantillonnage permet de mettre en évidence une éventuelle influence des conditions environnementales et notamment de l'exposition au courant et/ou aux vagues. Sur ces quadrats, des photos ont été prises pour étudier le recouvrement, suivies par un prélèvements total de la faune et de la flore du quadrat au moyen de la suceuse. Le détail de la méthode de récolte des échantillons à la suceuse a été présenté en section 2.1.2.

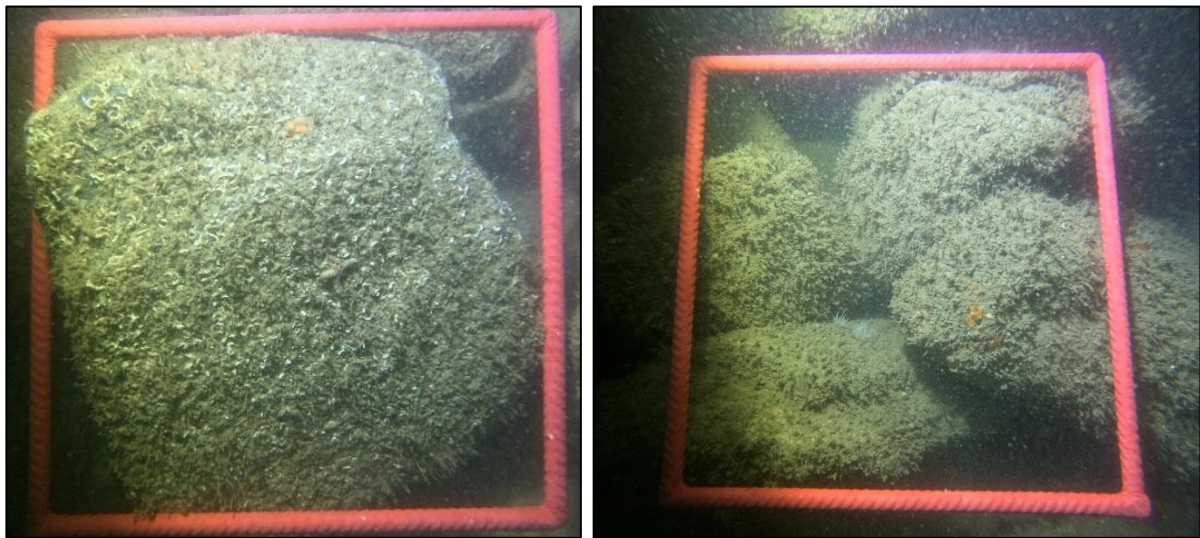


Figure 25 : Exemples de quadrats réalisés sur la station PK19.5.

En ce qui concerne les transects, ces derniers ont été réalisés le long des enrochements permettant ainsi le dénombrement des gros crustacés et l'évaluation des effets de niche pour les tourteaux, congres et surtout les homards qui sont des espèces emblématiques de la zone d'étude. Ces transects ont également permis de compter les échinodermes et les laminaires (si elles sont présentes) et d'étudier l'homogénéité des habitats et la présence éventuelle de micro-habitats.

Sur la station PK19.5, dix transects de 30 m de long et de 2 m de large ont été réalisés et répartis de la façon suivante : (Figure 26) :

- Deux transects sur le plateau,
- Deux transects sur la pente sud,
- Deux transects sur la pente nord,
- Deux transects sur l'interface sud,
- Deux transects sur l'interface nord.

Sur la station PK8.5, seuls 7 transects ont pu être faits, toujours en raison de conditions météorologiques peu clémentes :

- Deux transects sur le plateau,
- Deux transects sur l'interface est,
- Un transect sur l'interface ouest,
- Deux transects sur la pente est.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

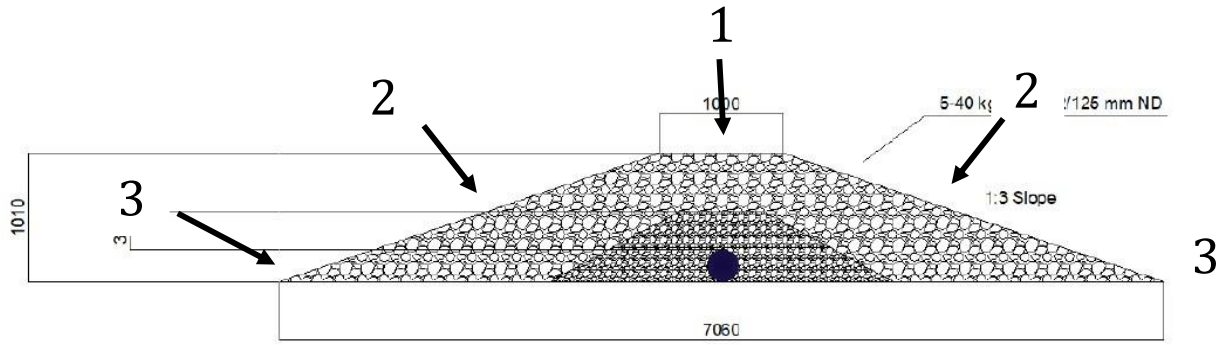


Figure 26 : Localisation du plateau (1), des pentes (2) et de l'interface bloc immergé et sédiment (3).

3 RESULTATS

3.1 Qualité des sédiments

3.1.1 Granulométrie

3.1.1.1 Suivi 2024

La station RTE_038Ref n'ayant pas pu être prélevée en 2024 du fait de sédiments trop grossiers. La granulométrie a été réalisée sur 17 stations (qualité des sédiments + peuplements benthiques). Les mesures sont présentées dans le Tableau 11 et la Figure 27.

Les stations plus proches du parc montrent peu de variation granulométriques entre elles : toutes présentent une part de graviers supérieure à 20 %. Au global, les stations plus à la cote présentent de fractions sableuses dominantes plutôt que des graviers. Peu de station présente des vases.

Les résultats granulométriques indiquent que les stations échantillonnées sont associées à 4 types sédimentaires : les **graviers**, les **sables grossiers**, les **sables fins à moyens mobiles** et les **vases sableuses**.

Tableau 11 : Résultats des analyses granulométriques pour les 17 stations du suivi le long du raccordement dans le sens du parc vers l'atterrage.

Classe de taille	0 - 63µm	63-250µm	250-500µm	500-2000µm	2-64mm	Habitat sédimentaire
Sédiment	Vase	Sable fin	Sable moyen	Sable grossier	Gravier	
RTE_008	2,5	1,7	3,6	38,7	53,4	Graviers
RTE_008Ref	1,4	1,3	13,1	57,6	26,7	Graviers
RTE_012	0,0	0,1	7,6	64,8	27,6	Graviers
RTE_012Ref	1,7	1,4	5,7	43,1	48,1	Graviers
RTE_018	5,4	1,1	12,2	50,4	30,9	Sables grossiers graveleux
RTE_018Ref	1,6	9,3	41,2	44,8	3,1	Sables grossiers
RTE_024	35,0	55,3	5,4	2,8	1,5	Vases sableuses
RTE_024Ref	0,0	4,9	45,2	46,1	3,9	Sables grossiers
RTE_022	2,5	2,7	6,7	60,2	27,9	Graviers
RTE_022Ref	1,4	15,4	56,0	23,5	3,7	Sables moyens
RTE_033	2,4	65,2	20,8	9,8	1,8	Sables fins à moyens
RTE_033Ref	1,5	24,2	53,6	19,7	1,0	Sables fins à moyens
RTE_034	5,5	34,9	48,5	10,1	1,0	Sables moyens
RTE_041	0,0	1,5	19,4	60,9	18,2	Sables grossiers
RTE_041Ref	4,0	49,8	37,9	7,2	1,0	Sables fins
RTE_038	3,0	3,1	6,8	61,1	25,9	Graviers
RTE_038Ref						
Ref Loire	3,0	6,4	20,6	42,5	27,5	Graviers

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
 Année 2 / 2024
 TBM environnement

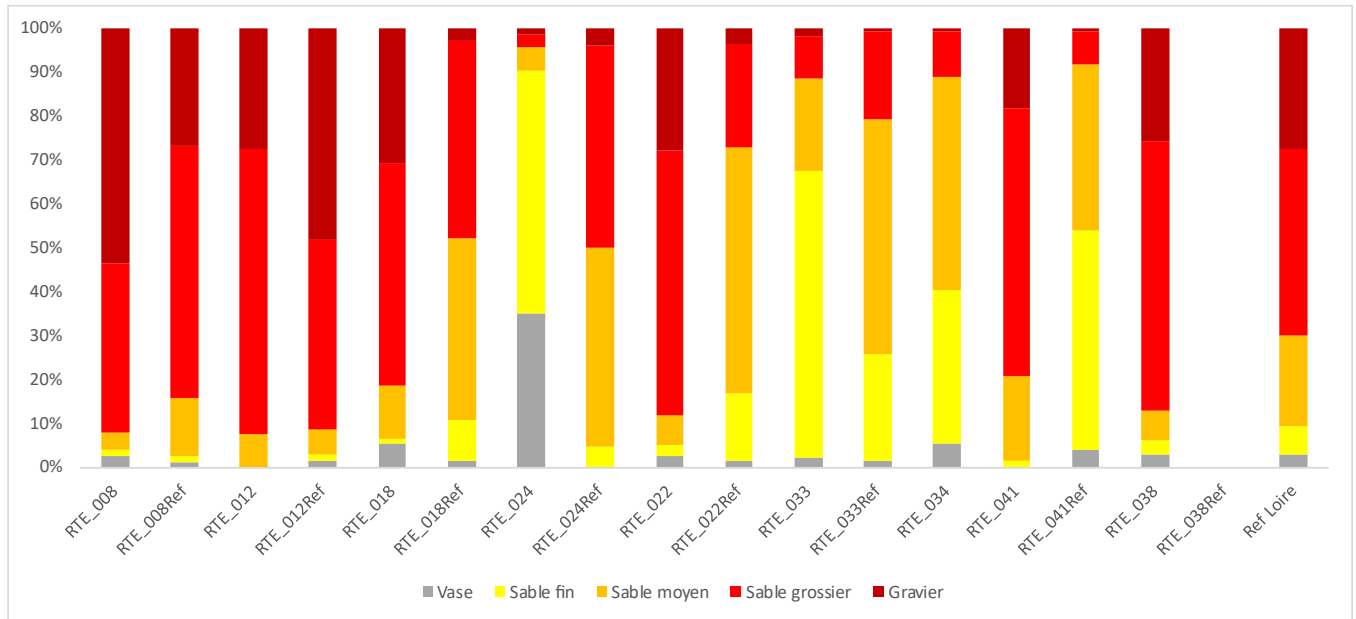


Figure 27 : Pourcentages des fractions granulométriques pour les 17 stations en 2024.

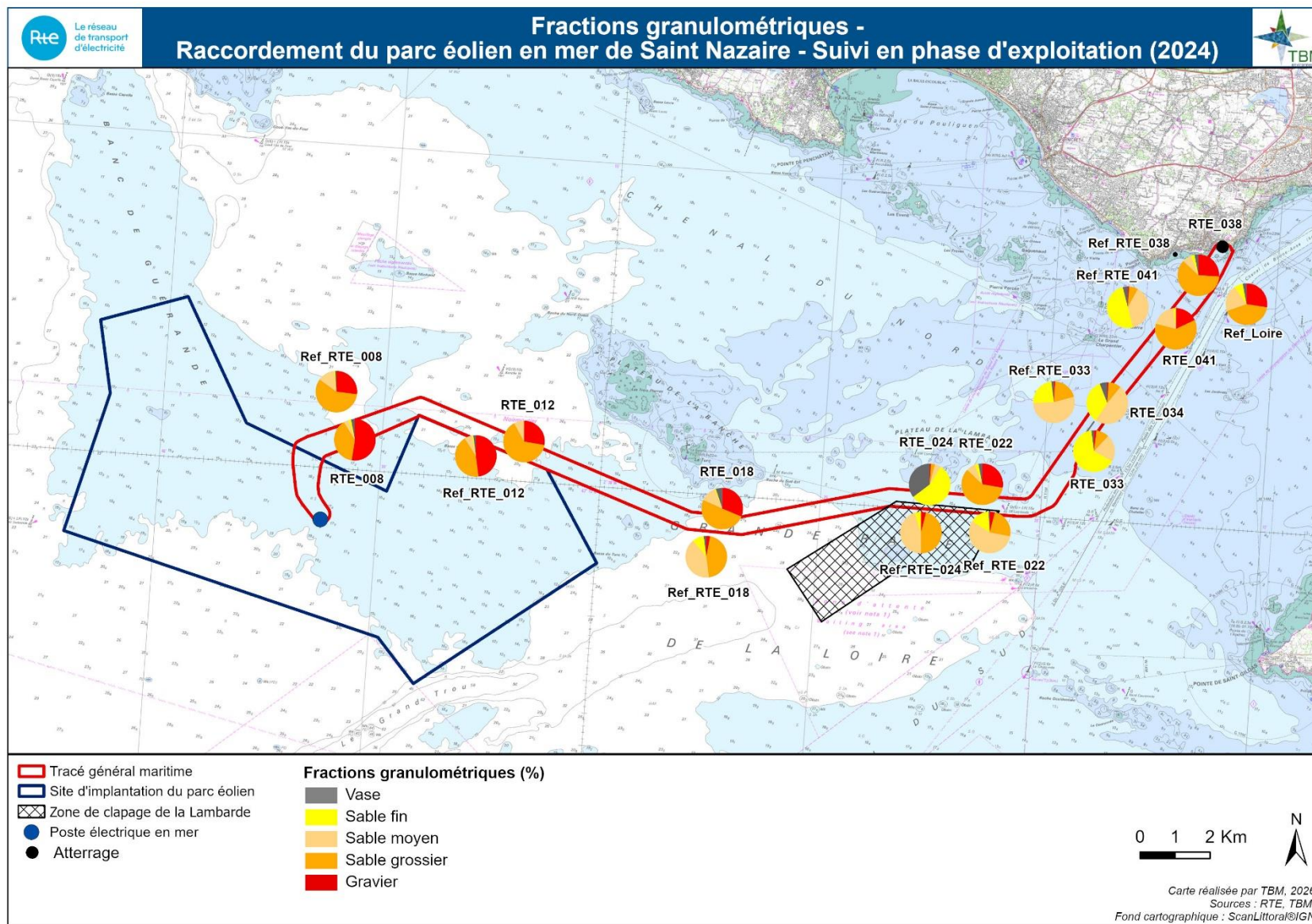


Figure 28 : Fractions granulométriques (%) obtenues lors du suivi 2024.

3.1.1.2 Comparaison avec les données des suivis précédents

Depuis l'état de référence réalisé en 2020, certaines granulométries ont évolué dès le suivi post travaux : RTE_022, Ref et RTE_022, RTE_033Ref, RTE_033, RTE_034, RTE_041Ref, RTE041, RTE_038 et Ref_Loire. Une station a montré une granulométrie différente de l'état de référence plus tard, un an après travaux : RTE_024Ref. Ces évolutions temporelles concernent les stations intermédiaires et proches de la côte. Celles proches du parc et directement à la côte sont plus stables dans le temps (Figure 28).

En 2024, l'ensemble des changements observés par rapport à l'état de référence ont été décelés dès le suivi post travaux et lors de la première année d'exploitation à l'exception de l'augmentation sans équivalence en station référence de la fraction en sable fin en RTE_024 observée en 2023 et 2024.

La zone étudiée se situe dans le delta de l'estuaire de la Loire. Il s'agit d'une zone où les apports de matière particulaire sont dépendantes de nombreux forçages : la houle, le courant de marée, le débits du fleuve, la présence de tête rocheuse etc. Par définition, pour un estuaire soumis au courant de marée, les dépôts sédimentaires sont variables dans le temps et dans l'espace (Sanchez et al. 1996). Malgré ces variations illustrées à la fois dans la Figure 29 et la Figure 30, la zone présente un gradient assez claire de la côte vers le large de granulométrie fine à une granulométrie plus grossière. En effet, une diagonale est nettement visible dans la répartition des boxplots (Figure 30) allant des sables fins aux graviers aux stations plus au large à gauche de la figure.

Afin de différencier les variations de granulométrie potentiellement induite par le raccordement de celles résultant du système estuaire, une stratégie par station de référence a été adoptée. Ainsi exceptée pour la station RTE_034, toutes les stations situées sur le raccordement disposent de leur station témoin. Enfin, la localisation particulière du secteur d'étude en embouchure de la Loire a été pris en compte et une station de référence Ref_Loire a été positionnée directement devant l'embouchure du fleuve.

De façon secondaire, il est nécessaire de préciser que les stations RTE_024 et RTE_022 ainsi que leur station de référence se situe dans la zone d'immersion des sédiments du port de St Nazaire appelée zone de clapage de la Lambarde (cf. plan d'échantillonnage).

Depuis 2020, la station Ref_Loire a évolué de la façon suivante depuis 2020 :

- Légère augmentation des sables fins ;
- Augmentation des sables moyens ;
- Diminution des sables grossiers ;
- Augmentation des graviers.

De l'analyse qui suit, les variations suivantes ne seront pas discutées car nous faisons l'hypothèse qu'elles sont indépendantes de l'effet du raccordement :

- **Les variations observées uniquement en station de référence.** Il s'agit de la diminution des sables fins en RTE_018Ref, de l'augmentation de sables fins en RTE_022_Ref et RTE_041_Ref ainsi que de l'augmentation de graviers en RTE_012_Ref et la diminution de graviers en RTE_022_Ref ;
- **Les variations concomitantes avec leur station de référence.** Il s'agit de la diminution de vase en RTE_08 et en RTE_024, l'augmentation de sables fins en RTE_033, la diminution de sables moyens en RTE_018, l'augmentation de sables moyens en RTE_033, la diminution de sables grossiers en RTE_033, la diminution de graviers en

RTE_033, RTE_024 et l'augmentation de graviers en RTE08. **Même celles présentant des disparités de magnitude.** Il s'agit des augmentations de sables moyens en RTE_022, RTE_024, diminution de sables grossiers en RTE_012, RTE_022, RTE_024 et la diminution de sables grossiers en RTE_034, l'augmentation de graviers en RTE_018.

- **Les variations concomitantes avec la station Ref Loire.** Il s'agit de l'augmentation de sables moyens et de la diminution de sables grossiers en RTE_034, de la diminution de sables grossiers en RTE_038 et de l'augmentation de graviers en RTE_022 et RTE_038 et RTE_041 ;

Ainsi il reste à discuter les variations suivantes :

- L'augmentation de sables fins en RTE_024 ;
- La diminution de sables fins en RTE_034 et RTE_041 ;
- L'augmentation de sables grossiers en RTE_041 ;
- La diminution de graviers en RTE_012 ;

La station RTE_024 est implantée au sein de la zone d'immersion des sédiments de dragage du Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire (GPMNSN) (GIP Loire Estuaire 2018). Les extractions de granulats ne sont plus autorisées en Loire amont depuis fin 1996, engendrant une modification de la nature des sédiments (portion sableuse en augmentation depuis 30 ans) (BOISMAL et PALLADIN 2025) ce qui pourrait expliquer l'observation de sable et la diminution de vase en RTE_024.

La station RTE_012, et sa station de référence, n'ont été observées que deux fois : en 2020 et 2024. Effectivement en 2022 et 2023, les fractions étaient trop grossières pour être prélevées et l'accès était restreint du fait des travaux du parc. La fraction de gravier est passée de 42 % en 2020 à 28 % en 2024, ce qui a en l'occurrence, permis de prélever. La diminution de cette fraction peut indiquer que le régime observé en 2024 est moins turbulent que celui observé en 2020, permettant aux fractions plus fines de se déposer. A ce niveau du raccordement le câble a été ensouillé, aucun effet sur la dynamique de sédimentation est donc attendu (Carlier et al. 2019; Taormina et al. 2020) . Si ce dernier ne l'avait pas été, la structure aurait constitué un obstacle et une accumulation de sédiments en amont du courant dominant (dans cette zone portant au nord, Lazure et Desmare 2012) et un affouillement dans la partie directement sous le vent (Mignot 1987) auraient pu être observés.

La RTE_34 présente, d'une année sur l'autre, des proportions variables de sables fins et moyens et ne dispose pas de stations de référence. La station RTE_041 présente une inversion de granulométrie. Initialement majoritairement composée de sables fins, sa composition devient progressivement plus grossière. Ces deux stations sont implantées dans un secteur de transition où s'imbriquent deux habitats aux fractions granulométriques dominantes distinctes : sables grossiers et graviers infralittoraux et sables mobiles propres infralittoraux à faune éparse. La limite entre ces habitats n'est pas linéaire et peut légèrement varier d'une année sur l'autre. Par ailleurs, il s'agit d'une zone d'accumulation de sables en embouchure de l'estuaire, formant de grands bancs faiblement recouverts par l'eau. Cette zone, également appelée barre des Charpentiers, est dangereuse pour la navigation car elle présente de nombreux écueils rocheux favorisant la sédimentation de fractions sableuses apportées par le fleuve. Les fractions déposées peuvent donc varier d'une classe à une autre dépendamment des forçages et orientation des forces en jeu (débits fluviaux, houle, courants de marée, régime de vent etc.) (Cellule de Mesures et de Bilan 2000).

Dans les sections suivantes, une attention particulière sera portée au changement de communauté benthiques pouvant résulter de ces évolutions à ces stations.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024 – TBM environnement

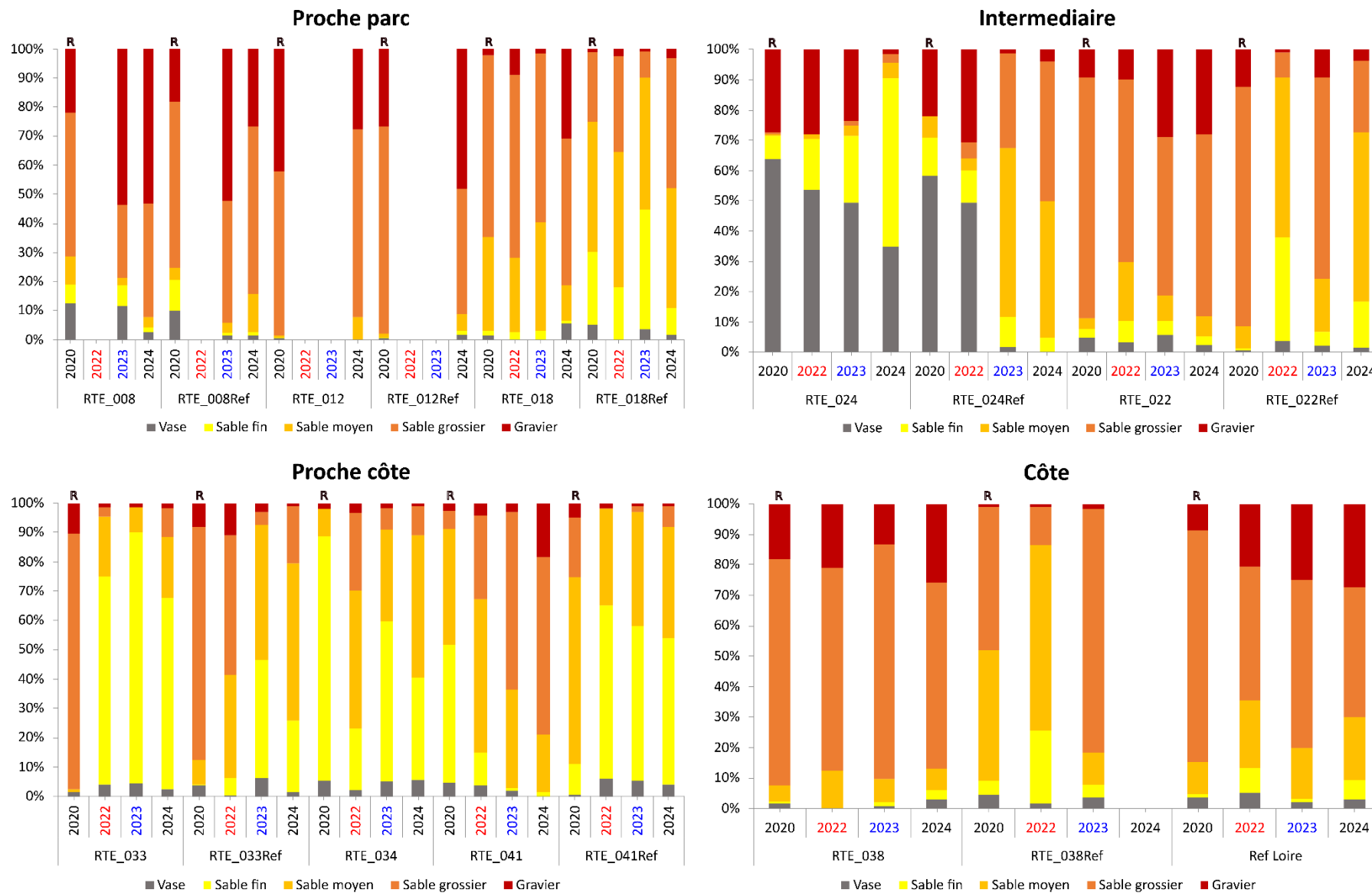


Figure 29 : Granulométries aux stations de suivis des substrats meubles le long du raccordement au parc : état de référence (R), post travaux (rouge), Exploitation 1 an (bleu), Exploitation 2 ans (2024).

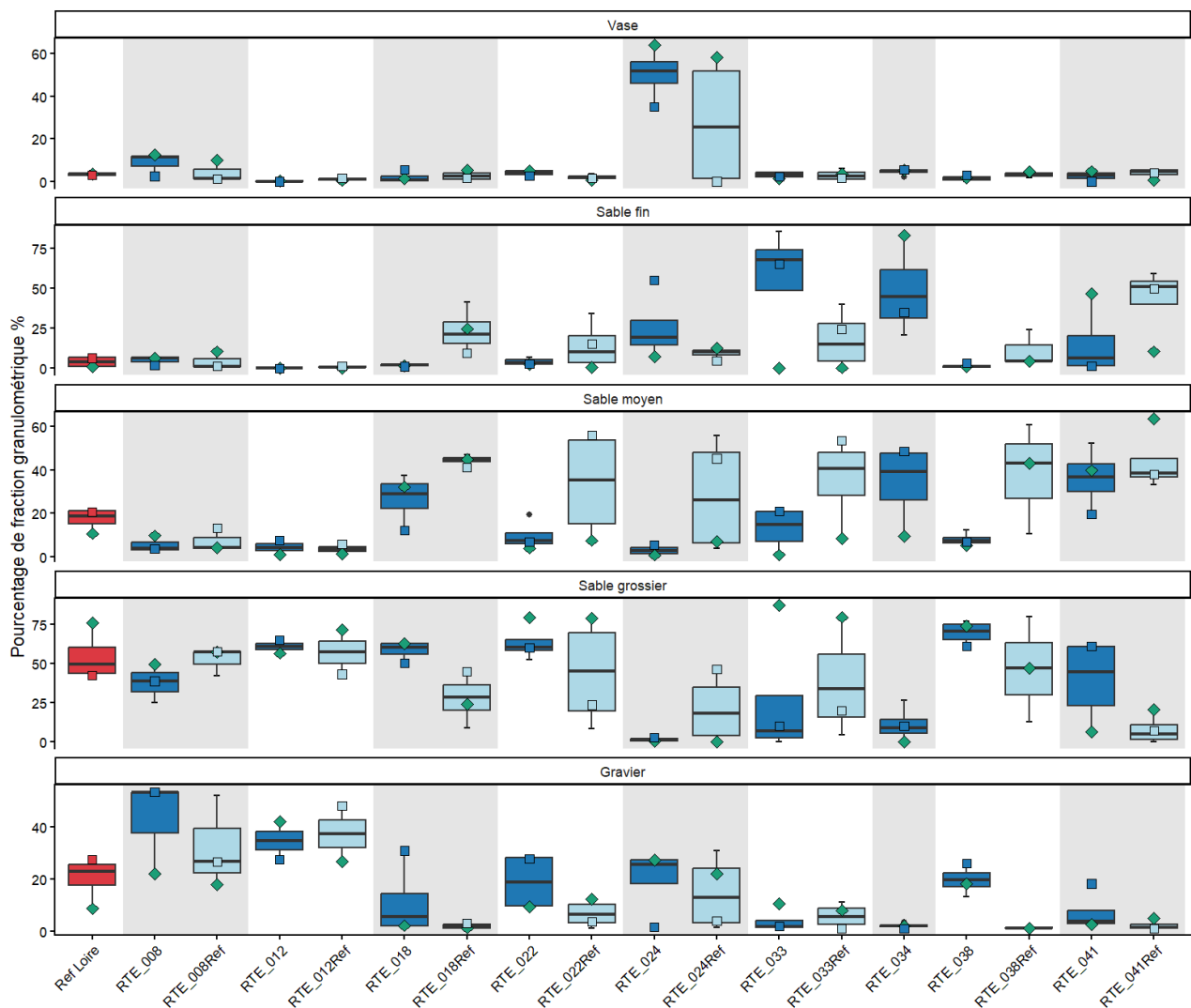


Figure 30 : Boxplot des pourcentages de fractions granulométriques réalisées sur les données de 2020 (losanges verts) à 2024 (carrés de la couleur de la station). Les stations de références sont colorées en bleu ciel et les stations situées sur le raccordement en bleu foncé, la station de référence à l'embouchure de la Loire en rouge.

3.1.2 Physico-chimie des sédiments

3.1.2.1 Suivi 2024

Le Tableau 5 présente les résultats des analyses réalisées sur les 7 stations du suivi de la qualité des sédiments.

Deux métaux lourds ne sont détectés à aucune des stations de la zone : le cadmium et le mercure. Le fer, le nickel, le plomb et le zinc sont détectés dans l'ensemble des échantillons de sédiments du fuseau de raccordement avec des concentrations ne dépassant pas les seuils de bon état écologique, lorsque ces derniers existent. Le cuivre n'est détecté qu'à la station RTE_024, en faible quantité. Le chrome est détecté en faible quantité à toutes les stations sauf en RTE_008 où il est absent. L'arsenic est le seul élément trace dépassant le seuil de bon état écologique sur deux stations (RTE_024 et RTE_022), cependant, les concentrations observées

restent dans les gammes de concentrations habituellement présentes dans les sédiments (entre 5 et 20 mg/kg, Amouroux et al., 2021) il est par ailleurs présent sur l'ensemble des stations.

Concernant les PCB, toutes les concentrations sont inférieures au seuil de détection et aux seuils de bon état écologique.

Concernant les HAP, toutes les concentrations mesurées aux sept stations sont inférieures aux seuils de définition du bon état écologique lorsque ces derniers existent. Les stations se distinguent entre elles au travers du nombre de micropolluants détectés. La station RTE_008, proche du parc, n'affiche aucun micropolluant détectable. Les deux stations proches de la côte (RTE_038 et Ref_Loire) affichent un petit nombre de micropolluants détectables (n=3). Les stations RTE_018, 022, 034 affichent un nombre moyen de micropolluants (6 à 7 éléments). La station RTE_024 est concernée par un nombre important de micropolluants présents dans les sédiments (n=13). Par ailleurs, les deux éléments les plus fréquents (6/7 stations) sont : le benzo [a] pyrène et l'indéno [1,2,3-cd] pyrène. Les valeurs observées de benzo [a] pyrène sont inférieures à ce qui peut être observé par le passé dans la zone Loire Large par le programme de surveillance ROCCHSED à la station Sud de la Lambarde 069-P-033 (seul station ayant fait l'objet du dosage de ce contaminant). Effectivement cette station présentait une concentration de Benzo[a]pyrène de 58 µg/kg en 1999 contre maximum 39 µg/kg dans cette étude. La station RTE_018 affiche des concentrations en MBT détectable, autrement l'ensemble des concentrations de dérivés d'étain est inférieur aux seuils de détection.

Les indices de pollution calculés à partir des teneurs en carbone, azote et phosphore dans les sédiments sont très faibles pour la majorité des stations (note de 0 à 1) et moyen pour la station RTE_024 (note = 3).

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024 – TBM environnement

Tableau 12 : Résultats des analyses de qualité des sédiments des 7 stations en 2024.

Référence	Arrêtés du 14/06/2000. du 23/12/2009. du 08/02/2013 et du 17/07/2014			Bon état écologique DCSMM 2018 ERL/BAC	RTE_008	RTE_018	RTE_024	RTE_022	RTE_034	RTE_038	Ref_Loire
	Unité	Niveau N1	Niveau N2								
Physico-chimie											
Fraction inférieure à 2 mm	%				46,6	69,1	98,53	72,1	99	74,1	72,5
Fraction < 63 µm	%				2,5	5,4	35	2,5	5,5	3	3
Aluminium	mg/kg MS				386	3510	8790	2440	2580	3430	3780
Carbone Organique Total	g/kg MS				0,17	0,14	1,78	0,1	0,15	0,08	0,13
Densité					1,76	1,84	1,54	1,85	1,83	1,9	2,11
Matière sèche	%				84,4	82	51,6	83,2	75,8	84	80,4
Azote Total Kjeldhal	% MS				< 0,05	< 0,05	0,14	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Phosphore total (en P)	mg/kg MS				251	277	456	343	387	422	577
Métaux lourds											
Arsenic	mg/kg MS	25	50	8,2	4,74	7,31	9,24	9,93	8,06	4,51	6,37
Cadmium	mg/kg MS	1,2	2,4	1,2	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Chrome Total	mg/kg MS	90	180	81	< 5	12,8	20,5	7,1	8,2	9,41	11,5
Cuivre	mg/kg MS	45	90	34	< 5	< 5	6,4	< 5	< 5	< 5	< 5
Fer	mg/kg MS				1550	6070	13400	7600	7820	6870	11200
Mercure	mg/kg MS	0,4	0,8	0,15	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Nickel	mg/kg MS	37	74	21	1,69	5,98	11,1	6,99	8,57	6,57	13,1
Plomb	mg/kg MS	100	200	47	5,73	10,7	21,2	7,21	11,6	40,5	10,4
Zinc	mg/kg MS	276	552	150	6,16	19,7	48	17,1	22,4	20,4	27,6
Micropolluants organiques PCB											
PCB 28	µg/kg MS	5	10	1,7	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
PCB 52	µg/kg MS	5	10	2,7	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
PCB 101	µg/kg MS	10	20	3	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
PCB 118	µg/kg MS	10	20	0,6	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
PCB 138	µg/kg MS	20	40	7,9	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
PCB 153	µg/kg MS	20	40	40	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
PCB 180	µg/kg MS	10	20	12	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Micropolluants organiques HAP											
Acénaphthène	µg/kg MS	15	260		< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Acénaphthylène	µg/kg MS	40	340		< 2	6,3	5,6	6,2	< 2	< 2	2,8
Anthracène	µg/kg MS	85	590	85	< 2	< 2	7	< 2	3,1	< 2	< 2
Benzo [a] anthracène	µg/kg MS	260	930	261	< 2	2,5	34	< 2	4,7	2,5	< 2
Benzo [a] pyrène	µg/kg MS	430	1015	430	< 2	5,4	39	7	7	3,5	5,5
Benzo [b] fluoranthène	µg/kg MS	400	900		< 2	6,5	32	3,8	7,8	< 2	< 2
Benzo [g,h,i] pérylène	µg/kg MS	1700	5650	85	< 2	< 2	15	2,4	4,7	< 2	< 2
Benzo [k] fluoranthène	µg/kg MS	200	400		< 2	< 2	11	< 2	< 2	< 2	< 2
Chrysène	µg/kg MS	380	1590	384	< 2	3,4	27	< 2	3,5	< 2	< 2
Di benzo [a,h] anthracène	µg/kg MS	60	160		< 2	< 2	4,1	< 2	< 2	< 2	< 2
Fluoranthène	µg/kg MS	600	2850	600	< 2	< 2	28	< 2	< 2	< 2	< 2
Fluorène	µg/kg MS	20	280		< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Indéno [1,2,3-cd] pyrène	µg/kg MS	1700	5650	240	< 2	2,1	10	3	5,5	3,3	< 2
Naphtalène	µg/kg MS	160	1130	160	< 2	< 2	3,1	< 2	< 2	< 2	< 2
Phénanthrène	µg/kg MS	240	870	240	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Pyrène	µg/kg MS	500	1500	665	< 2	3,7	27	3,7	< 2	< 2	2,3
Dérivés de l'étain											
TBT	µg/kg MS	100	400		< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
DBT	µg/kg MS				< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
MBT	µg/kg MS				< 2	2,2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Indices											
Indice COT					0	0	1	0	0	0	0
Indice Azote NTK					0	0	2	0	0	0	0
Indice Phosphore					0	0	0	0	0	0	1
Pollution organique					0	0	3	0	0	0	1

3.1.2.2 Comparaison avec les données des suivis précédents

Lors de l'état de référence, la concentration de la plupart des polluants rémanents dans les sédiments était inférieure aux seuils de détection : TBT, ainsi que les HAP à toutes les stations sauf en station RTE_024 et stations RTE_038. Tous les métaux lourds étudiés avaient été détectés et l'arsenic dépassait les seuils de bon état écologique à trois stations (RTE_022 et RTE_024, RefLoire). La station RTE_038, unique station où les PCB avait été détecté montrait une concentration de PCB 101 dépassant le seuil de bon état écologique. Les indices de pollutions étaient faibles pour toutes les stations sauf en station RTE_024 qui affichait une pollution forte.

En 2022, lors des analyses juste après travaux, le nombre de station concerné par la détection de PCB dans les sédiments était de 2 stations (RTE_024 et RTE_018) vs 1 en 2020, avec une des deux stations (RTE_018) affichant des concentrations qui dépassaient le seuil de bon état écologique. A la différence de l'année de référence, le mercure n'avait pas été détecté dans la zone, cependant les concentrations en arsenic dépassaient les seuils de bon état écologique sur quatre stations (RTE_022, 024, 038, 034) vs trois en 2020. Les HAP avaient été détectés sur plusieurs stations, bien que les seuils de bon état écologique n'aient pas été dépassés. Les concentrations de TBT étaient toujours inférieures aux seuils de détection. Enfin, comme en année de référence, seule RTE_024 indiquait un fort état de pollution des sédiments.

Ainsi, la situation post travaux montrait une augmentation du nombre de polluant détecté. Le nombre de station affichant des concentrations de PCB (1 vs 1) et d'arsenic (4 vs 3) dépassant les seuils de bon état écologique, était comparable à l'année de référence. Les résultats de l'indice de pollution étaient tout à fait similaires : toutes stations faiblement polluées, seule RTE_024 fortement polluée.

Un an après travaux les concentrations de PCB étaient redevenues inférieures aux seuils de détection pour l'ensemble des stations. Aucun HAP n'avait été détecté au-delà des seuils de bon état écologique et les indices de pollution étaient passés de fort à moyen pour RTE_024, en restant faibles aux autres stations. Les concentrations en éléments traces étaient pour la plupart inférieures aux seuils de définition du bon état écologique. Seul l'arsenic dépassait légèrement ce seuil, toujours sur trois stations (RTE_022, RTE_024 et RTE_038). Enfin, comme la situation observée lors de l'état de référence et juste après travaux, les TBT n'avaient pas été détectés.

En 2024, deux ans après travaux, la situation est tout à fait similaire à l'année précédente. Les concentrations d'arsenic dépassent toujours les seuils de bon état écologique, tout comme en 2020, 2022 et 2023. En 2024, deux stations sont concernées par ce dépassement contre 3 en 2023, 4 en 2022, 3 en 2020. Ainsi le nombre de stations concerné par des concentrations d'arsenic qui dépassent le seuil de bon état écologiques est stable dans le temps. Par ailleurs, bien que dépassant le bon état écologique ces concentrations restent dans les gammes de variation habituelle de la concentration d'arsenic dans les sédiments : entre 5 et 20 mg/kg (Amouroux et al., 2021).

L'arsenic est utilisé pour le traitement du bois, alliages équipements électriques et électroniques ainsi qu'en chimie, il est massivement présent dans la composition des sédiments du bassin de la Loire (GIP Loire Estuaire, 2020). Bien que la fermeture de certaines industries, l'instauration de réglementations et l'amélioration du traitement des eaux usées, aient contribué à diminuer leur observation dans les suivis, ils perdurent. Ainsi, les observations de ce métalloïde dans les sédiments apparaissent indépendantes du raccordement au parc éolien.

3.2 Qualité de l'eau

3.2.1 Etat chimique

3.2.1.1 Suivi 2024

Le Tableau 13 présente l'ensemble des analyses réalisées sur les échantillons de surface et de fond prélevés aux 7 stations de suivi en 2024.

Les concentrations en PCB, HAP et dérivés de l'étain sont inférieurs aux seuils de détection.

Le bruit de fond géochimique des métaux lourds est variable d'un bassin versant à un autre et le long de la façade atlantique car il est dépendant de l'histoire géomorphologiques des couches traversées par les eaux de ruissellement. Leurs valeurs sont peu fréquemment connues. Ici il n'est donc pas possible d'évaluer la pollution en arsenic, chrome, cuivre et zinc dont les seuils de pollutions dépendent de ces bruits de fonds. Parmi les 4 métaux lourds dont les concentrations sont normées par l'arrêté de juillet 2018, un seul dépasse la moyenne annuelle de concentration admissible (NQE-MA) et ce à de nombreuses stations et différentes profondeurs : le plomb.

La qualité chimique des masses d'eau étudiées est globalement très bonne.

3.2.1.2 Comparaison avec les données des suivis précédents

Au sein des échantillons d'eau, lors de l'état de référence, les concentrations en PCB, HAP et TBT étaient, comme dans cette étude, inférieurs aux seuils de détection. Les concentrations de deux métaux lourds (plomb et nickel) dépassaient la moyenne annuelle admissible (NQE-MA) contre un seul dans cette étude (plomb). Lors des suivis juste après travaux, la concentration en plomb dépassait les seuils établis par la directive cadre de l'eau. La station Ref_Loire montrait des seuils de nickel supérieure à la moyenne annuelle admissible (NQE-MA). La situation observée en 2024, deux ans après travaux est similaire à celle observée en 2023, un an après travaux, c'est-à-dire qu'un seul métal lourd, normé par un seuil permettant l'évaluation de la pollution de l'eau, dépasse les concentrations admissibles : le plomb.

Le bassin de la Loire ne se distingue pas des autres régions du pourtour Atlantique par ses concentrations en nickel qui sont fortes globalement dans les sédiments depuis l'ère industriel car cet élément passe très difficilement la chaîne trophique et est peu mobile. L'estuaire de la Loire est cependant particulièrement concerné par les problèmes de contamination au plomb du fait qu'il hébergeait jusque dans les années 90, une industrie de fabrication de plomb tétra-éthyle (OCTEL, à Paimboeuf) (Chiffolleau, 2017).

Ainsi la qualité chimique des masses d'eau étudiées est apparue en meilleure état en 2024, que lors de l'état de référence de 2020. Les seuls polluants chimiques réellement détectés dans l'eau de mer, que sont les métaux lourds, montrent, dans le temps des variations de concentration indépendantes des travaux réalisés pour le parc éolien offshore.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

Tableau 13 : Résultats des analyses d'eau en comparaison aux seuils NQE de la directive 2013/39/UE confirmé par l'arrêté du 27/07/2018.

Cirulaire du 07/05/2007, NQEp pour les eaux marines intérieures et territoriales			Normes de qualité environnementales des polluants (Arrêté du 9 octobre 2023 remplace les annexes de l'arrêté original 25 janvier 2010)			RTE_008 fond	RTE_008 surface	RTE_018 fond	RTE_018 surface	RTE_024 fond	RTE_024 surface	RTE_022 fond	RTE_022 surface	RTE_034 fond	RTE_034 surface	RTE_038 fond	RTE_038 surface	Ref Loire fond	Ref Loire surface
			Paramètre	Unité	NQEp														
Physico-chimie																			
Salinité					30,5	25,2	20,1	18,4	28,2	21,9	24	24,5	28,3	20,7	26,2	12,3	24,7	8,91	
Oxygène dissous	mg/L				9,6	8,1	8,5	8,6	9,4	8,4	8,7	8,6	9	8,7	8,5	8,3	8,4	8,5	
Matière en Suspension (MES)	mg/L				12	11	14	13	19	14	20	14	14	17	17	15	16	12	
Carbone Organique Total (COT)	mg/L				0,88	1,9	1,1	2,1	1	2,4	0,97	1,8	0,86	2,1	1,4	3,1	1,3	4,1	
Azote total	mg/L				< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,74	< 0,5	0,86	< 0,5	0,88	< 0,5	0,61	< 0,5	1,05	< 0,5	1,34	
Azote Kjeldhal	mg/L				< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Azote ammoniacal (en NH4)	µmol/L				1,15	0,87	1,11	1,49	1,88	1,27	1,31	1,12	1,75	0,75	1,97	1,61	1,79	1,82	
Nitrates (en NO3)	µmol/L				10,6	29,7	8,62	52,3	9,08	61,1	7,4	62,3	12,8	43	22,7	74,4	26,4	95,6	
Nitrites (en NO2)	µmol/L				0,27	0,45	0,28	0,32	0,4	0,29	0,27	0,43	0,3	0,3	0,22	0,28	0,34	0,33	
Phosphore total (en P)	mg/L	0,2			< 0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,07	0,03	0,07	
Silicates	µmol/L				5,53	19,1	5,59	41,3	6,25	38,2	6	34	7,2	32,6	16	63,4	18,2	84,1	
Chlorophylle a	µg/L				1,3	13	1,3	1,7	0,43	5,6	13	3,9	1,3	2,6	0,86	2,2	4,3	3	
Phéopigments	µg/L				< 0,1	2,8	< 0,1	0,69	0,48	1,3	< 0,1	1,6	< 0,1	0,43	1,9	1,8	0,52	0,91	
Métaux lourds																			
Aluminium	µg/L				19	32	40	75	96	77	180	120	51	< 100	140	190	80	170	
Arsenic	µg/L	BFG + 4,2			< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Cadmium	µg/L	BFG + 0,2	0,2	1,5 (eau de mer)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	
Chrome Total	µg/L	BFG + 3,4			< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,7	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Cuivre	µg/L	BFG + 1,4			< 1	< 1	1,7	1,6	< 1	1,1	1,6	1,6	< 1	2,3	1,3	2,3	< 10	2,4	
Mercur	µg/L	BFG + 0,05		0,07	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	
Nickel	µg/L	BFG + 2,1	8,6	34	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Plomb	µg/L	BFG + 0,4	1,3	14	< 1	< 1	3	4,4	3,2	1,5	4,8	4,5	< 1	1,7	2,9	2,7	2,4	3,2	
Zinc	µg/L	BFG + 3,1 ou 7,8			< 10	< 10	< 10	16	21	15	23	37	< 10	18	13	18	< 10	15	
Micropolluants organiques (PCB)																			
PCB 28	µg/L				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
PCB 52	µg/L				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
PCB 101	µg/L				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
PCB 118	µg/L				< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
PCB 138	µg/L				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
PCB 153	µg/L				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
PCB 180	µg/L				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
HAP																			
Naphtalène	µg/L	1,2	2	130	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Acénaphthène	µg/L	0,7			< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Fluorène	µg/L	0,3			< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Phénanthrène	µg/L	0,11			< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Anthracène	µg/L	0,1	0,1	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Fluoranthène	µg/L	0,1	0,0063	0,12	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Pyrrène	µg/L	0,024			< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Benzo [a] anthracène	µg/L	0,005			< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Chrysrène	µg/L	0,006			< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Benzo [b] fluoranthène	µg/L	0,03		0,017	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Benzo [k] fluoranthène	µg/L	0,03		0,017	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Benzo [a] pyrène	µg/L	0,05	0,00017	0,027	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Di benzo [a,h] anthracène	µg/L	0,00006			< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Benzo [g,h,i] pérylène	µg/L	0,002		0,00082	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Indéno [1,2,3-cd] pyrène	µg/L	0,002		sans objet	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Acénaphthylène	µg/L	0,4			< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Somme des 16 HAP	µg/L				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Dérivés de l'Etain																			
DBT	µg/L	0,0002	0,0002	0,0015	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	
MBT	µg/L	0,0002	0,0002	0,0015	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	
TBT	µg/L	0,0002	0,0002	0,0015	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	

3.2.2 Etat écologique

3.2.2.1 Suivi 2024

Les concentrations de chlorophylle *a*, phéopigments, oxygènes dissous et, valeurs de l'indice de l'indice de nutriments calculé à partir des éléments azotés, sont données en Tableau 14. Ces paramètres ont été retenus comme soutien pour la classification de l'état écologique des masses d'eaux côtières et de transition (Directive Cadre sur l'Eau (DCE 2000/60/CE) du 23 octobre 2000).

Chlorophylle a et phéopigments

Toutes les mesures, exceptée celle réalisée en subsurface de la station RTE_008, permettent de définir un très bon état écologique. En station RTE_008 la valeur en chlorophylle *a* dépasse le seuil de bon état écologique (10 µg/L) et affiche un état de la masse d'eau moyen.

La vitalité, lorsqu'elle est calculable est, pour beaucoup de stations, supérieure à 1 ce qui traduit une **forte productivité**. La station RTE_024 (fond) et la station RTE_038 (fond) montre de faible valeur de productivité ce qui traduit un état de sénescence au moment de la mesure.

Nutriments

Les concentrations en nutriments sont variables d'une station à l'autre, entre 12,35 et 362,04. Les forts indices sont retrouvés proches de la côte et en surface.

Oxygène dissous

Les valeurs en oxygène dissous aux stations reflètent une eau parfaitement oxygénée en très bon état écologique.

L'ensemble des variations des paramètres correspond aux gammes de variations des stations REPHY. A noter que, l'influence de la Loire crée une stratification des eaux à partir de la station RTE_034 avec des eaux de surface plus chargées en nutriments et moins salées. Des deux stations REPHY, la station Basse Michaud, plus au large semble moins sous l'influence de la Loire montrant un contexte printanier de débit faible à normal.

En 2024, la qualité écologique des masses d'eau étudiées est globalement bonne et correspond à la qualité écologique des eaux observées aux stations REPHY.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

Tableau 14 : Evaluation de l'état écologique des masses d'eau à partir des dosages de chlorophylle a, phéopigments, indices de nutriments et oxygènes dissous réalisés sur 7 stations en 2024 ainsi que données REPHY aux stations St Gildas Large (069-P-024, le 03 avril 2024) et Basse Michaud (069-P-075, le 18 avril 2024).

Resultats 2024	RTE_008 fond	RTE_008 surface	RTE_018 fond	RTE_018 surface	RTE_024 fond	RTE_024 surface	RTE_022 fond	RTE_022 surface	RTE_034 fond	RTE_034 surface	RTE_038 fond	RTE_038 surface	Ref Loire fond	Ref Loire surface	StGil-dasLarge fond	StGil-dasLarge surface	BasseMi-chaud fond	Basse Mi-chaud surface
Chlorophylle a (µg/L)	1,30	13,00	1,30	1,70	0,43	5,60	1,30	3,90	1,30	2,60	0,86	2,20	4,30	3,00	NA	1,88	0,22	5,54
Phéopigments (µg/L)	<0,1	2,80	<0,1	0,69	0,48	1,30	<0,1	1,60	<0,1	0,43	1,90	1,80	0,52	0,91	NA	1,45	0,36	1,36
Vitalité	-	4,64	-	2,46	0,90	4,31	-	2,44	-	6,05	0,45	1,22	8,27	3,30	NA	1,30	0,61	4,07
Salinité (UPS)	30,50	25,20	20,10	18,40	20,10	21,90	24,00	24,50	28,30	20,70	26,20	12,30	24,70	8,91	31,65	19,52	34,90	31,10
Azote Kjeldahl (mg/L)	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	NA	NA	NA	NA
Ammoniac (µmol/L)	1,15	0,87	1,11	1,49	1,11	1,27	1,31	1,12	1,75	0,75	1,97	1,61	1,79	1,82	NA	1,63	0,13	0,29
Nitrate (µmol/L)	10,60	29,70	8,62	52,30	8,62	61,10	7,40	62,30	12,80	43,00	22,70	74,40	26,40	95,60	NA	NA	NA	NA
Nitrite (µmol/L)	0,27	0,45	0,28	0,32	0,28	0,29	0,27	0,43	0,30	0,30	0,22	0,28	0,34	0,33	NA	NA	NA	NA
Nitrate + Nitrite (µmol/L)	10,87	30,15	8,90	52,62	8,90	61,39	7,67	62,73	13,10	43,30	22,92	74,68	26,74	95,93	NA	131,00	6,10	25,00
Phosphore totale (mg/L)	<0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,07	0,03	0,07	NA	NA	NA	NA
Silicates (µmol/L)	5,53	19,10	5,59	41,30	5,59	38,20	6,00	34,00	7,20	32,60	16,00	63,40	18,20	84,10	NA	102,00	4,60	13,60
NID (salinité mesurée)	12,02	31,02	10,01	54,11	10,01	62,66	8,98	63,85	14,85	44,05	24,89	76,29	28,53	97,75	NA	132,63	6,23	25,29
NID (salinité 33)	13,01	40,62	16,43	97,05	16,43	94,42	12,35	86,00	17,32	70,22	31,35	204,68	38,12	362,04	NA	224,22	5,89	26,84
O2 dissous (mg/L)	9,60	8,10	8,50	8,60	9,40	8,40	8,70	8,60	9,00	8,70	8,50	8,30	8,40	8,50	9,51	8,63	7,74	9,32

3.2.2.2 Comparaison avec les données des suivis précédents

En ce qui concerne l'évolution temporelle de l'état écologique des masses d'eau, l'indice de nutriment (Tableau 15) prend des valeurs définissant un très bon état écologique sur plusieurs stations en octobre 2024. Lors de l'état de référence aucune ne montraient un très bon état écologique.

Les valeurs d'oxygène dissous observées en 2024 illustrent toutes un très bon état écologique, ce qui n'était pas le cas en 2020.

Les valeurs de chlorophylle *a* indiquent un très bon état écologique sauf en surface en station RTE_008, proche du parc, où la forte valeur observée indique un début d'eutrophisation. Cela n'avait pas été observée les années précédentes, ni juste après travaux, ni avant. Ainsi, la stratification induit par l'apport de la Loire en eau douce et en nutriment semble atteindre la station 008. Cependant en avril 2024, la situation observée ne va pas jusqu'à créer un appauvrissement en oxygène des eaux de fonds.

Un nombre plus important de stations qu'en 2020, affiche de bonne vitalité du phytoplancton. Ce qui montre que sur la plupart des stations les microorganismes végétaux sont bien vivants et productifs et non en processus de décomposition.

Concernant l'état écologique des masses d'eau, la situation observée correspond à peu de chose près à celle observée année 1 de la phase d'exploitation lors des suivis de 2023.

La qualité écologique des masses d'eau étudiées est apparue en meilleure état en 2024, que lors de l'état de référence de 2020. Moins de stations sont évaluées en état moyen et plus de stations sont en très bon état.

Historiquement, les stations de la zone du raccordement, situées à proximité de la côte jusqu'à la station RTE_018, présentent des variations des paramètres hydrologiques similaires à celles observées à la station de Saint-Gildas qui semble être sous l'influence de la Loire à chaque période observée. À partir de la station RTE_034, une stratification de la colonne d'eau est généralement observée. Les observations réalisées à la station de Basse Michaud sont par ailleurs très proches de celles mesurées à la station RTE_008, suggérant des conditions hydrologiques comparables.

Ces différences spatiales s'expliquent principalement par l'influence variable du panache de la Loire. Les stations proches de la côte, jusqu'à RTE_034, sont situées dans une zone de mélange marquée entre les eaux estuariennes et océaniques, tandis qu'une stratification de la colonne d'eau s'installe progressivement à mesure que l'on s'éloigne de l'estuaire et que l'influence du débit fluvial diminue.

Le positionnement du début de la zone de stratification est fortement dépendant du débit de la Loire, celui-ci contrôlant l'extension spatiale du panache estuarien.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

Tableau 15 : Comparaison annuelle de l'indice de nutriment servant à évaluer le bon état écologique d'une masse d'eau (Daniel et al., 2020). Bleu : état écologique très bon, vert : bon, jaune : moyen, ocre : médiocre, rouge : mauvais.

NID (salinité 33)	RTE_008 fond	RTE_008 surface	RTE_018 fond	RTE_018 surface	RTE_024 fond	RTE_024 surface	RTE_022 fond	RTE_022 surface	RTE_034 fond	RTE_034 surface	RTE_038 fond	RTE_038 surface	Ref Loire fond	Ref Loire surface	StGildas Large fond	StGildas Large surface	BasseMi-chaud fond	BasseMi-chaud surface
Etat de référence (2020)	23	104	32	136	24	164	43	154	42	190	67	113	84	322	-	152	NA	80
Post travaux (2022)	13	14	15	23	84	31	15	31	34	153	23	58	32	114	-	21	11	11
Exploitation 1 (2023)	12	36	15	45	22	63	19	61	23	65	39	81	42	89	-	26	10	14
Exploitation 2 (2024)	13	41	16	97	16	94	12	86	17	70	31	205	38	362	-	224	6	27

NID (salinité 33)	RTE_008 fond	RTE_008 surface	RTE_018 fond	RTE_018 surface	RTE_024 fond	RTE_024 surface	RTE_022 fond	RTE_022 surface	RTE_034 fond	RTE_034 surface	RTE_038 fond	RTE_038 surface	Ref Loire fond	Ref Loire surface	Ref_StGildasLarge fond	Ref_StGildasLarge surface	Ref_BasseMi-chaud fond	Ref_BasseMi-chaud surface
Etat de référence (2020)	23	104	32	136	24	164	43	154	42	190	67	113	84	322	-	152	NA	80
Post travaux (2022)	13	14	15	23	84	31	15	31	34	153	23	58	32	114	-	21	11	11
Exploitation 1 (2023)	12	36	15	45	22	63	19	61	23	65	39	81	42	89	-	26	10	14
Exploitation 2 (2024)	13	41	16	97	16	94	12	86	17	70	31	205	38	362	-	224	6	27

Tableau 16 : Comparaison annuelle des valeurs d'oxygène dissous et coloration selon les valeurs seuils servant à évaluer le bon état écologique d'une masse d'eau (Daniel et Soudant, 2020a)

luer le bon état écologique d'une masse d'eau (Daniel et Soudant, 2020a)
: bleu, état écologique très bon ; vert, bon ; jaune, moyen ; ocre, médiocre ; rouge, mauvais.

O2 dissous (mg/L) (2020)	RTE_008 fond	RTE_008 surface	RTE_018 fond	RTE_018 surface	RTE_024 fond	RTE_024 surface	RTE_022 fond	RTE_022 surface	RTE_034 fond	RTE_034 surface	RTE_038 fond	RTE_038 surface	Ref Loire fond	Ref Loire surface	StGildas Large fond	StGildas Large surface	BasseMi-chaud fond	BasseMi-chaud surface
Etat de référence (2020)	4,9	-	5,2	4,3	4,8	5,8	5,0	1,9	4,8	-	5,8	5,9	4,6	5,9	8,2	9,1	8,0	8,7
Post travaux (2022)	11,0	10,7	9,8	10,1	10,3	10,1	9,7	10,2	10,1	10,2	10,3	10,5	10,1	10,2	-	8,7	8,3	8,2
Exploitation 1 (2023)	9,6	9,4	8,9	9,3	9,5	9,3	9,6	9,6	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,1	-	8,2	7,9	8,9
Exploitation 2 (2024)	9,6	8,1	8,5	8,6	9,4	8,4	8,7	8,6	9,0	8,7	8,5	8,3	8,4	8,5	9,5	8,6	7,7	9,3

O2 dissous (mg/L) (2020)	RTE_008 fond	RTE_008 surface	RTE_018 fond	RTE_018 surface	RTE_024 fond	RTE_024 surface	RTE_022 fond	RTE_022 surface	RTE_034 fond	RTE_034 surface	RTE_038 fond	RTE_038 surface	Ref Loire fond	Ref Loire surface	StGildasLarge fond	StGildasLarge surface	BasseMi-chaud fond	BasseMi-chaud surface
Etat de référence (2020)	4,9	-	5,2	4,3	4,8	5,8	5,0	1,9	4,8	-	5,8	5,9	4,6	5,9	8,2	9,1	8,0	8,7
Post travaux (2022)	11,0	10,7	9,8	10,1	10,3	10,1	9,7	10,2	10,1	10,2	10,3	10,5	10,1	10,2	-	8,7	8,3	8,2
Exploitation 1 (2023)	9,6	9,4	8,9	9,3	9,5	9,3	9,6	9,6	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,1	-	8,2	7,9	8,9
Exploitation 2 (2024)	9,6	8,1	8,5	8,6	9,4	8,4	8,7	8,6	9,0	8,7	8,5	8,3	8,4	8,5	9,5	8,6	7,7	9,3

Tableau 17 : Comparaison annuelle des valeurs Chlorophylle a et coloration selon les valeurs seuils servant à évaluer le bon état écologique d'une masse d'eau (Lemoine et al., 2020)
: bleu, état écologique très bon ; vert, bon ; jaune, moyen ; ocre, médiocre ; rouge, mauvais.

Chlorophylle a (µg/L)	RTE_008 fond	RTE_008 surface	RTE_018 fond	RTE_018 surface	RTE_024 fond	RTE_024 surface	RTE_022 fond	RTE_022 surface	RTE_034 fond	RTE_034 surface	RTE_038 fond	RTE_038 surface	Ref Loire fond	Ref Loire surface	StGildasLarge fond	StGildasLarge surface	BasseMi-chaud fond	BasseMi-chaud surface
Etat de référence (2020)	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	1,7	1,5	<1,5	<1,5	8,1	1,6	<1,5	3,2	8,8	1,7	-	2,1	-	1,2
Post travaux (2022)	0,1	1,0	4,8	0,4	5,9	-	3,3	2,5	1,7	2,9	1,6	0,7	1,3	1,7	-	1,0	0,1	1,0
Exploitation 1 (2023)	1,3	4,8	1,3	2,6	1,7	2,6	2,2	1,3	2,6	3,9	3,9	2,2	2,6	4,3	-	1,9	2,9	11,0
Exploitation 2 (2024)	1,3	13,0	1,3	1,7	0,4	5,6	1,3	3,9	1,3	2,6	0,9	2,2	4,3	3,0	-	1,9	0,2	5,5

Tableau 18 : Comparaison annuelle des valeurs vitalité et coloration selon les valeurs seuils servant à évaluer le bon état écologique d'une masse d'eau (Lemoine et al., 2020)
: bleu, état écologique très bon ; vert, bon ; jaune, moyen ; ocre, médiocre ; rouge, mauvais.

Vitalité	RTE_008 fond	RTE_008 surface	RTE_018 fond	RTE_018 surface	RTE_024 fond	RTE_024 surface	RTE_022 fond	RTE_022 surface	RTE_034 fond	RTE_034 surface	RTE_038 fond	RTE_038 surface	Ref Loire fond	Ref Loire surface	StGildasLarge fond	StGildasLarge surface	BasseMi-chaud fond	BasseMi-chaud surface
----------	--------------	-----------------	--------------	-----------------	--------------	-----------------	--------------	-----------------	--------------	-----------------	--------------	-----------------	----------------	-------------------	--------------------	-----------------------	--------------------	-----------------------

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

Etat de référence (2020)	NC	NC	NC	NC	0,7	1,0	NC	NC	0,4	0,5	NC	NC	0,4	0,6	-	2,3	-	2,8
Post travaux (2022)	NC	5,0	2,3	2,0	2,3	NC	1,8	5,0	2,1	4,8	1,5	2,3	1,9	4,3	-	1,1	0,0	2,8
Exploitation 1 (2023)	NC	12,3	5,9	NC	4,4	20,0	8,5	4,2	1,0	6,0	0,9	3,9	6,0	NC	-	5,0	2,4	6,7
Exploitation 2 (2024)	NC	4,6	NC	2,5	0,9	4,3	NC	2,4	NC	6,0	0,5	1,2	8,3	3,3	-	1,3	0,6	4,1

Vitalité	RTE_008 fond	RTE_008 surface	RTE_018 fond	RTE_018 surface	RTE_024 fond	RTE_024 surface	RTE_022 fond	RTE_022 surface	RTE_034 fond	RTE_034 surface	RTE_038 fond	RTE_038 surface	Ref Loire fond	Ref Loire surface	StGil-dasLarge fond	StGil-dasLarge surface	BasseMi-chaud fond	Basse Mi-chaud surface
Etat de référence (2020)	NC	NC	NC	NC	0,7	1,0	NC	NC	0,4	0,5	NC	NC	0,4	0,6	-	2,3	-	2,8
Post travaux (2022)	NC	5,0	2,3	2,0	2,3	NC	1,8	5,0	2,1	4,8	1,5	2,3	1,9	4,3	-	1,1	0,0	2,8
Exploitation 1 (2023)	NC	12,3	5,9	NC	4,4	20,0	8,5	4,2	1,0	6,0	0,9	3,9	6,0	NC	-	5,0	2,4	6,7
Exploitation 2 (2024)	NC	4,6	NC	2,5	0,9	4,3	NC	2,4	NC	6,0	0,5	1,2	8,3	3,3	-	1,3	0,6	4,1

3.3 Suivi des peuplements et habitats benthiques

3.3.1 Suivi des peuplements et des habitats des substrats meubles

3.3.1.1 Abondance, richesse spécifique et indices de diversité

3.3.1.1.1 Suivi 2024

Abondance

Sur l'ensemble des échantillons, **209 espèces** ont été identifiées pour un total de **5 295 individus**.

La Figure 31 présente l'abondance moyenne des organismes sur chacune des 12 stations échantillonnées à la benne Day. En moyenne, les valeurs varient de 65 ± 50 ind./m² (station Ref_RTE38) à 1594 ± 907 ind./m² (station RTE38). La majorité des stations localisées au sein de la zone de travaux, abrite les abondances les plus élevées, comprises entre 566 ± 106 ind./m² et 1594 ± 907 ind./m². Le reste des stations de référence, ainsi que les stations RTE41 et RTE18, est associé à des abondances moyennes plus faibles, variant de 65 ± 50 ind./m² à 138 ± 125 ind./m².

Les stations de suivi abritant les peuplements les plus denses sont associées à des pics d'abondance d'espèces de polychètes telles que *Pisione remota*, *Goniadella gracilis*, *Mediomastus fragilis*, *Protodorvillea kefersteini* ou encore *Magelona johnstoni*. La station RTE24 se démarque par la présence de nombreuses ophiures comme *Acrocnida brachiata* et *Amphiura filiformis* et du bivalve *Kurtiella bidentata*.

Prélèvements à la benne Day

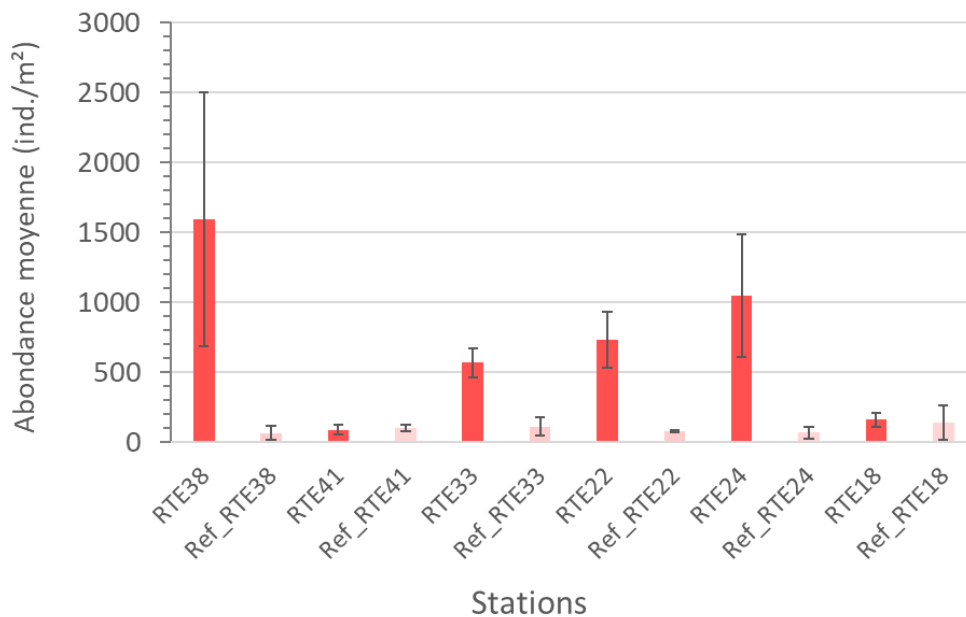


Figure 31 : Abondance moyenne (individus/m²) des communautés benthiques subtidales de substrat meuble sur les stations échantillonnées à la benne Day.

La Figure 32 présente les abondances totales des espèces sur les stations échantillonnées à la benne Day. Les abondances des espèces agrégatives, notamment des ophiures (*Acrocnida brachiata*, *Amphipholis squamata*, *Amphiura filiformis*, *Ophiothrix fragilis*, *Ohpiura albida* et

Ophiura Ophiura), de certains polychètes et des mollusques sont mises en perspective relativement à l'abondance totale des stations. En effet, ces espèces mobiles peuvent s'agréger localement et ponctuellement et ne sont pas nécessairement représentatives des abondances stationnelles. Comme mentionné précédemment, leurs contributions sont particulièrement élevées sur les stations RTE38, RTE33, RTE22 et RTE24. Les phénomènes d'agrégation des organismes peuvent notamment expliquer les valeurs élevées des écarts-types sur les stations RTE38 et RTE24, reflet de la variabilité inter-réplicats. Toutefois, même sans ces espèces, ces quatre stations abritent les plus fortes densités d'organismes.

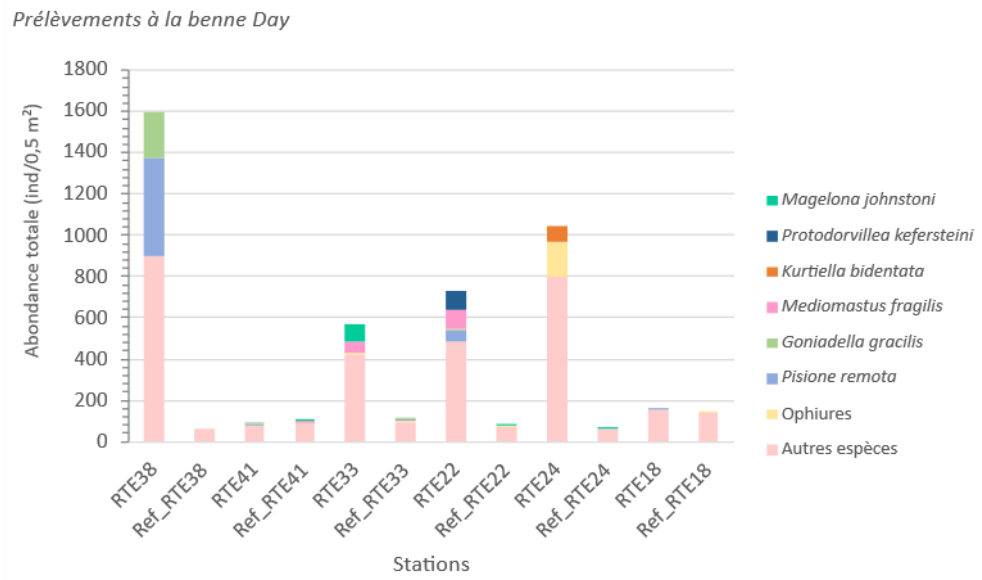


Figure 32. Abondance totale (ind./0,5 m²) des communautés benthiques subtidales de substrat meuble sur les stations échantillonnées à la benne Day. Les contributions des espèces agrégatives sont également représentées.

Sur les quatre stations échantillonnées à la drague Rallier du Baty, les valeurs sont comprises entre 55 ind./5 L et 191 individus/ 5 L (Figure 33). L'abondance moyenne la plus faible est observée sur la station RTE12. La

Figure 37 expose les abondances moyennes sur l'ensemble des stations échantillonnées.

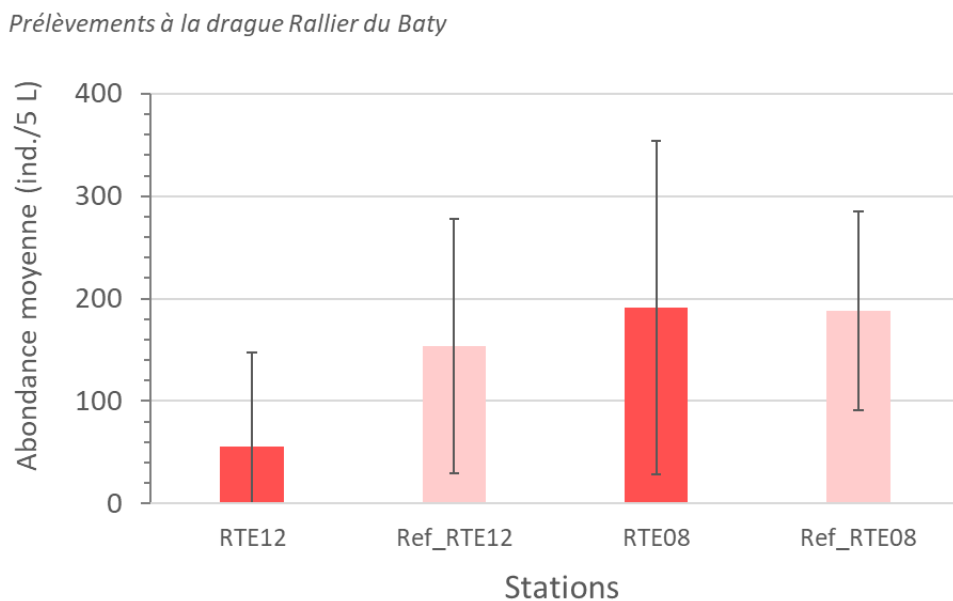


Figure 33 : Abondance moyenne (individus/5 litres) des communautés benthiques subtidales de substrat meuble sur les stations échantillonnées à la drague Rallier du Baty.

La Figure 34 présente les abondances totales des espèces sur les stations échantillonnées à la drague Rallier du Baty. Les abondances des espèces agrégatives, notamment des ophiures (*Acrocnida brachiata*, *Amphipholis squamata*, *Amphiura filiformis*, *Ophiothrix fragilis*, *Ophiura albida* et *Ophiura Ophiura*), du crustacé *Pisidia longicornis* et du polychète tubicole *Spirobranchus triqueter* sont comparées relativement à l'abondance totale des stations. Dans le cas de *Spirobranchus triqueter*, les effectifs élevés peuvent découler de l'échantillonnage d'un galet ou cailloutis fortement colonisé. Ces espèces contribuent fortement aux abondances des stations Ref_RTE12, RTE08 et Ref_RT08 mais représentent généralement moins de 20 % des abondances totales.

Prélèvements à la drague Rallier du Baty

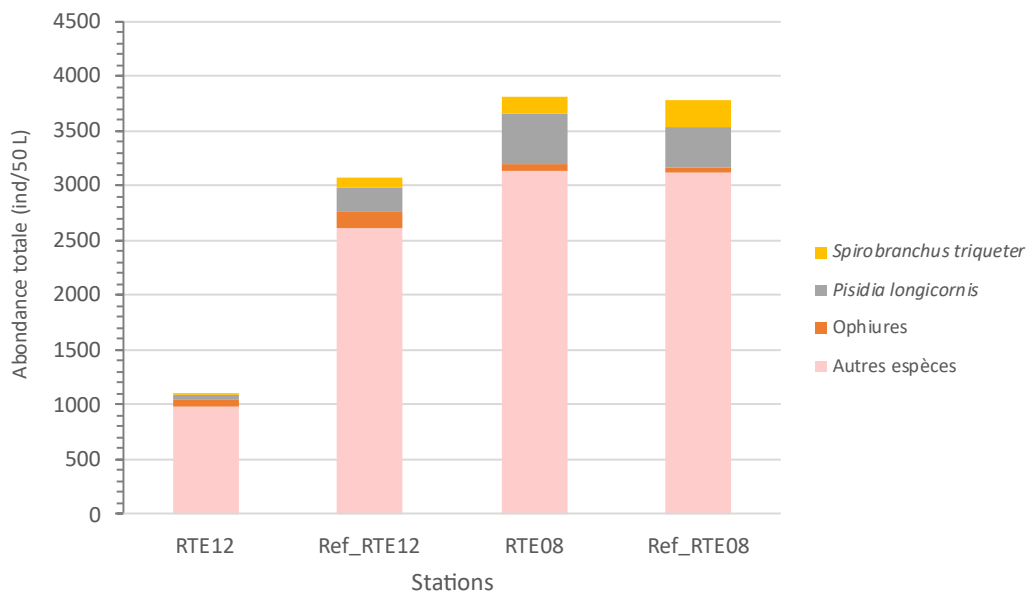


Figure 34. Abondance totale (ind/0,5 m²) des communautés benthiques subtidales de substrat meuble sur les stations échantillonnées à la drague Rallier du Baty. Les contributions des espèces agrégatives sont également représentées.

Les polychètes dominent les effectifs sur la majorité des stations et représentent 73 % des effectifs totaux (Figure 35). La station Ref_RTE38 est toutefois dominée par le groupe des mollusques, lequel correspond à 53,8 % de ses effectifs totaux. La station RTE24 se démarque également et abrite 33 % d'échinodermes (ophiures) et 26 % de mollusques (bivalves). Le troisième groupe dominant sur l'ensemble des stations est celui des échinodermes qui représentent 8 % de l'effectif total, suivis des crustacés (6%). Les autres groupes taxonomiques (groupes autres et céphalochordés) sont minoritaires.

Prélèvements à la benne Day

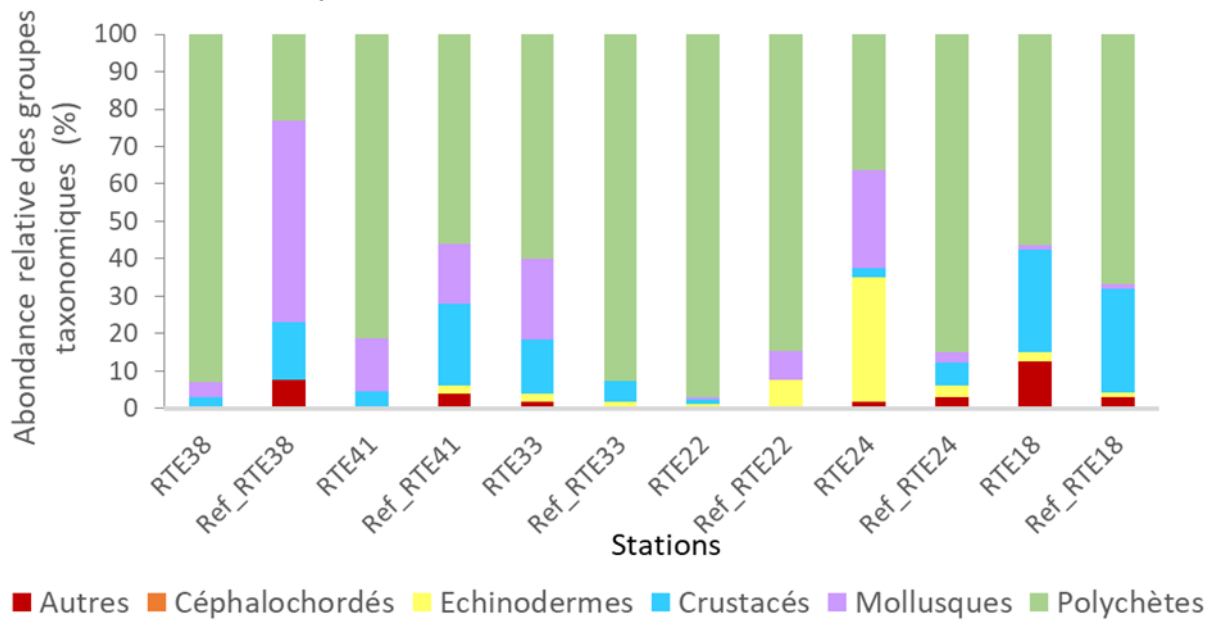


Figure 35 : Abondance relative (%) des groupes taxonomiques sur les stations subtidales de substrat meuble échantillonnées à la benne Day.

Les stations du large échantillonnées à la drague rallier du Baty sont dominées par le groupe des crustacés, qui correspond à 51 % de l'effectif total (Figure 36). Les polychètes et échinodermes sont également très présents et correspondent à 35 % et 12 % des organismes échantillonnés, respectivement. Les autres groupes sont largement minoritaires (autres : 0,4 % ; céphalochordés : 0,1 % ; mollusques : 2 %).

Prélèvements à la drague Rallier du Baty

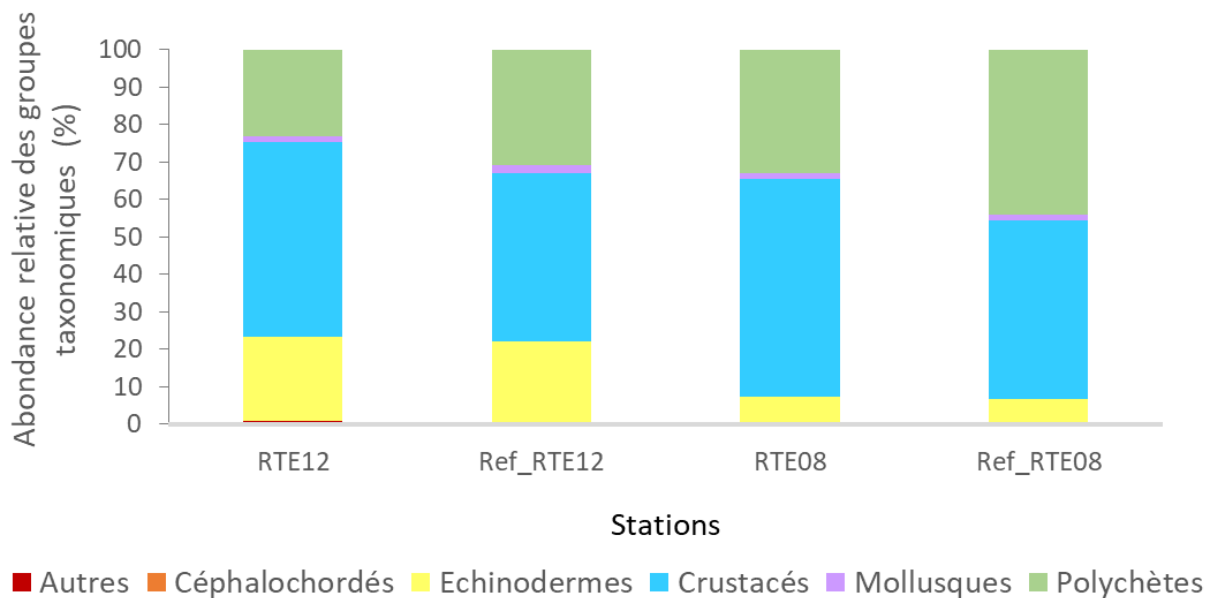


Figure 36 : Abondance relative (%) des groupes taxonomiques sur les stations subtidales de substrat meuble échantillonnées à la drague Rallier du Baty.

La Figure 38 présente les abondances relatives des groupes taxonomiques sur l'ensemble des stations échantillonnées.

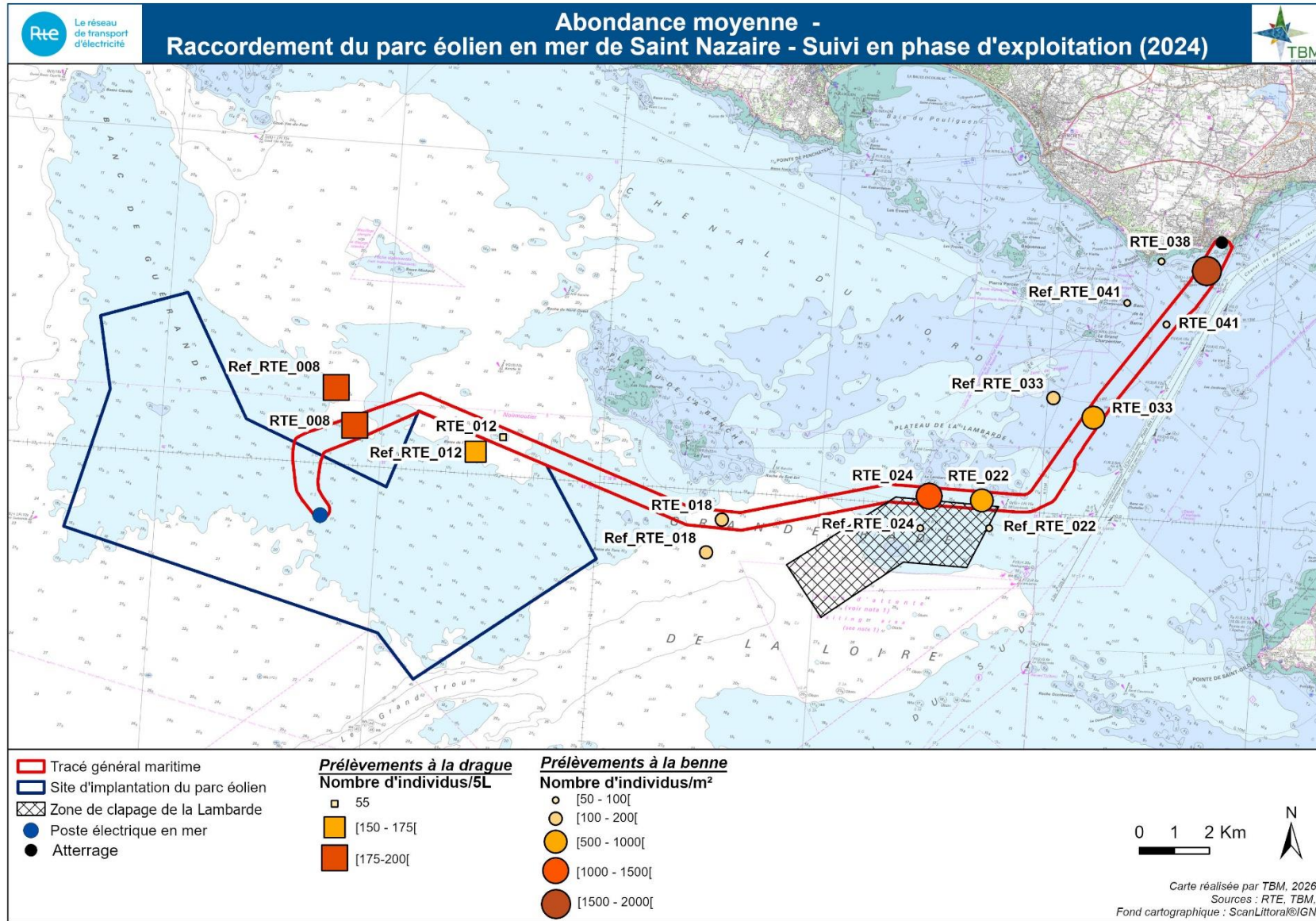


Figure 37 : Abondance moyenne des communautés benthiques subtidales de substrat meuble sur les stations échantillonnées à la drague Rallier du Baty et à la benne Day.

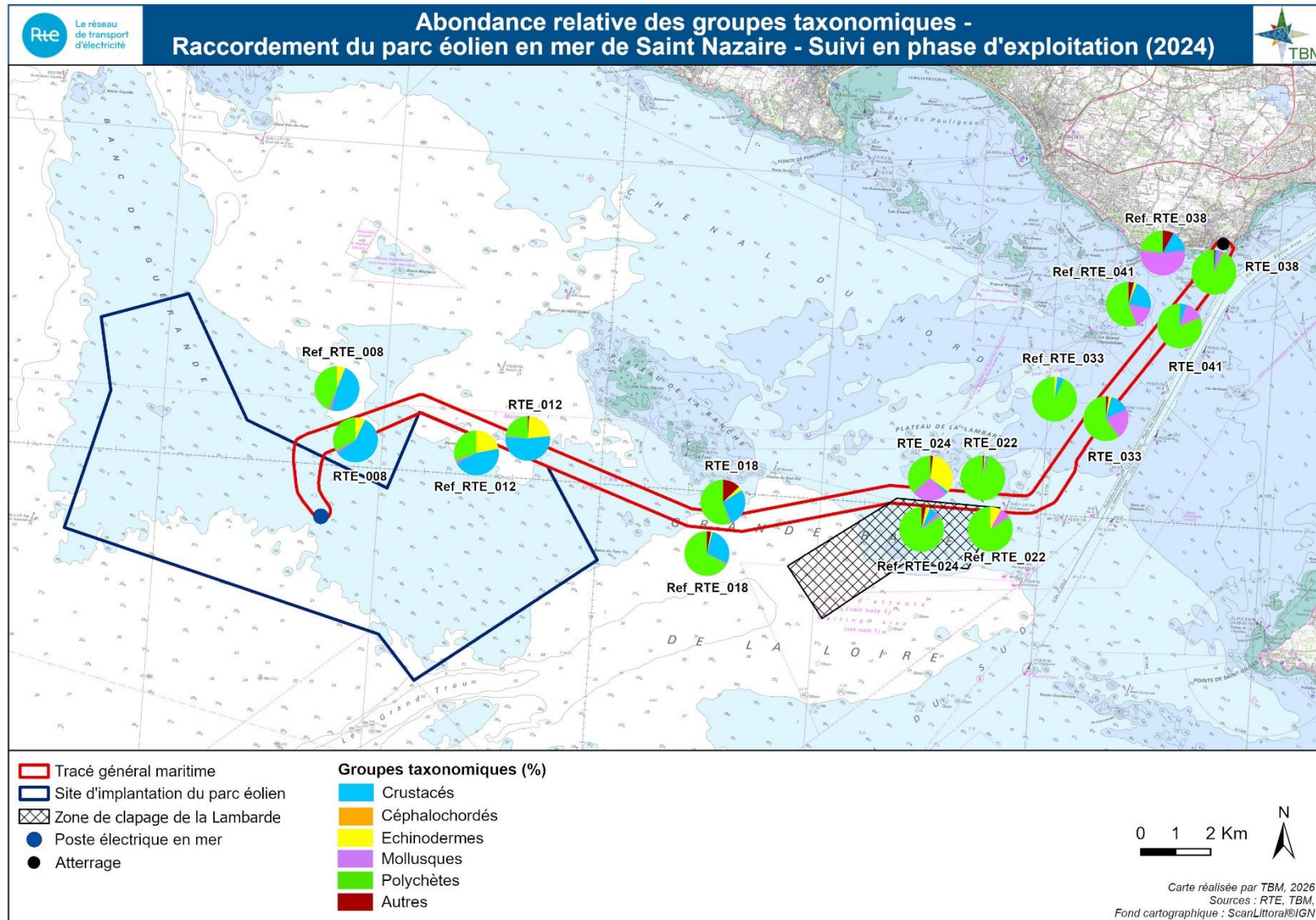


Figure 38 : Abondance relative (%) des groupes taxonomiques sur les stations subtidales de substrat meuble échantillonnées à la drague Rallier du Baty et à la benne Day.

Richesse spécifique

Les Figure 39 et la Figure 40 présentent la richesse spécifique moyenne des stations échantillonnées à la benne Day et la drague rallier du Baty, respectivement. À nouveau, les richesses spécifiques moyennes les plus élevées sont observées sur les stations de suivi, tandis que les stations de référence sont les moins diversifiées. Les richesses spécifiques moyennes varient entre 4 ± 1 (Ref_RTE38) et 30 ± 4 (RTE_24) espèces.

Prélèvements à la benne Day

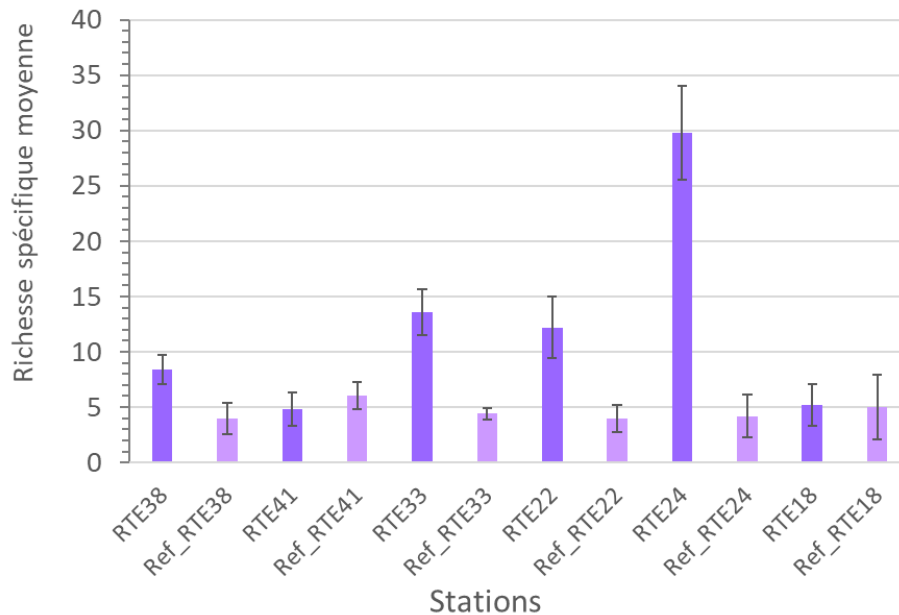


Figure 39 : Richesse spécifique moyenne des communautés benthiques subtidales de substrat meuble sur les stations échantillonnées à la benne Day.

Concernant les échantillons prélevés à la drague au large, les valeurs de richesse spécifique sont très proches entre les stations et varient de 21 ± 8 espèces (RTE12) à 31 ± 6 espèces (RTE08). La Figure 41 présente les richesses spécifiques sur l'ensemble des stations échantillonnées.

Prélèvements à la drague Rallier du Baty

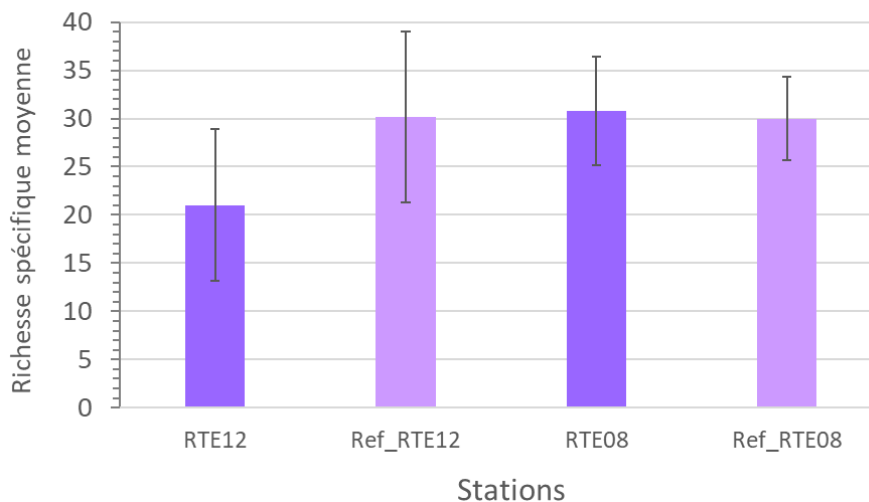


Figure 40 : Richesse spécifique moyenne des communautés benthiques subtidales de substrat meuble sur les stations échantillonnées à la drague Rallier du Baty.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
 Année 2 / 2024
 TBM environnement

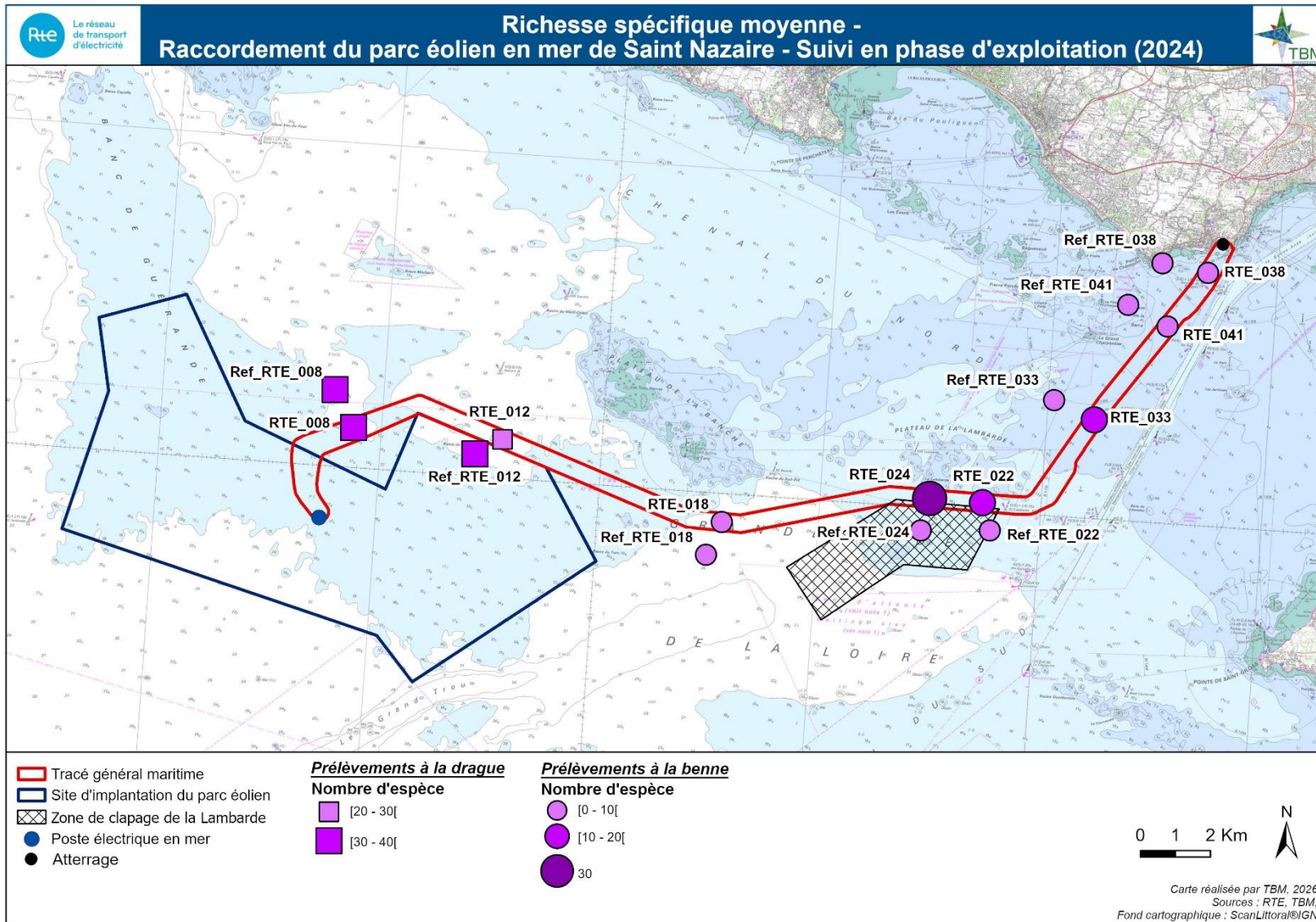


Figure 41 : Richesse spécifique moyenne des communautés benthiques subtidales de substrat meuble échantillonnées à la drague Rallier du Baty et à la benne Day.

Tout comme pour les données d'abondance, le groupe taxonomique le plus diversifié est celui des polychètes (48 % des espèces). Ce dernier domine l'ensemble des stations avec des valeurs comprises entre 33 et 75 % (Figure 42). Le second groupe dominant est celui des crustacés (26 %), suivi des mollusques (18 %). Les groupes des échinodermes et autres sont minoritaires. La répartition des groupes taxonomiques est globalement différente entre les stations de suivi et leurs stations de référence, sauf sur RTE24 et RTE18.

Prélèvements à la benne Day

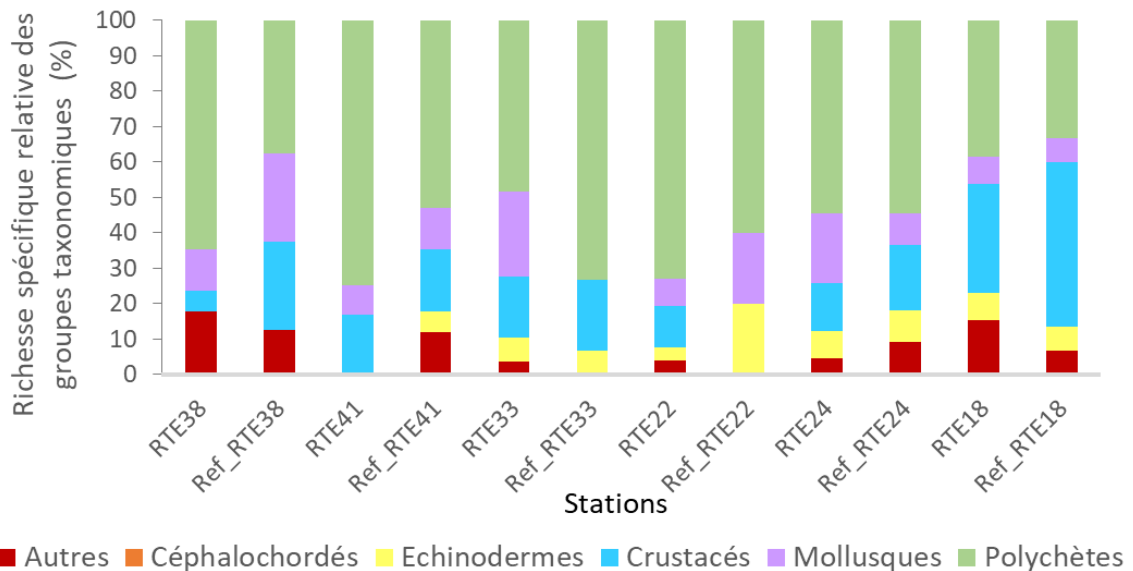


Figure 42 : Richesse spécifique relative (%) des groupes taxonomiques sur les stations subtidales de substrat meuble échantillonnées à la benne Day.

Le constat est le même sur les stations échantillonnées à la drague rallier du Baty (Figure 43). Les espèces de polychètes sont les plus nombreuses (43 %), suivies des crustacés (35 %), puis des mollusques (13 %). La répartition des groupes taxonomiques est globalement similaire entre les stations de suivi et leurs stations de référence. Les richesses spécifiques relatives des groupes taxonomiques sont illustrées sur la Figure 44.

Prélèvements à la drague Rallier du Baty

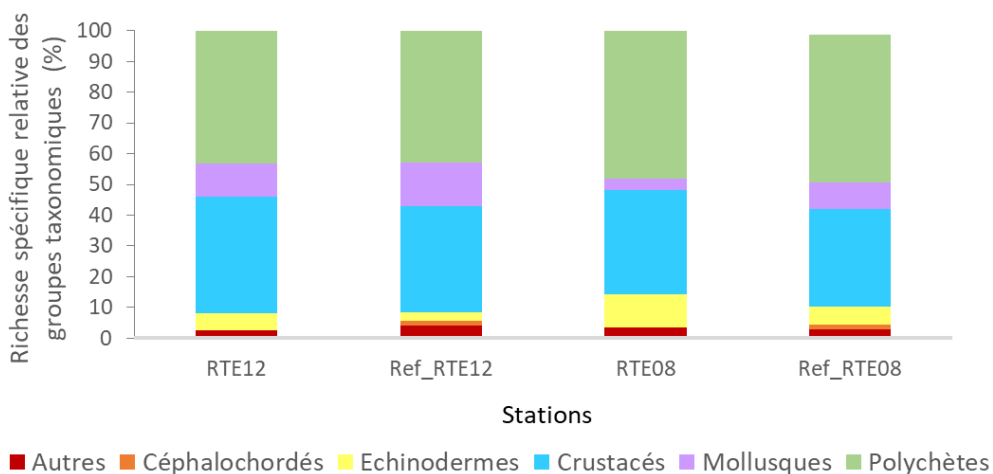


Figure 43 : Richesse spécifique relative (%) des groupes taxonomiques sur les stations subtidales de substrat meuble échantillonnées à la drague Rallier du Baty.

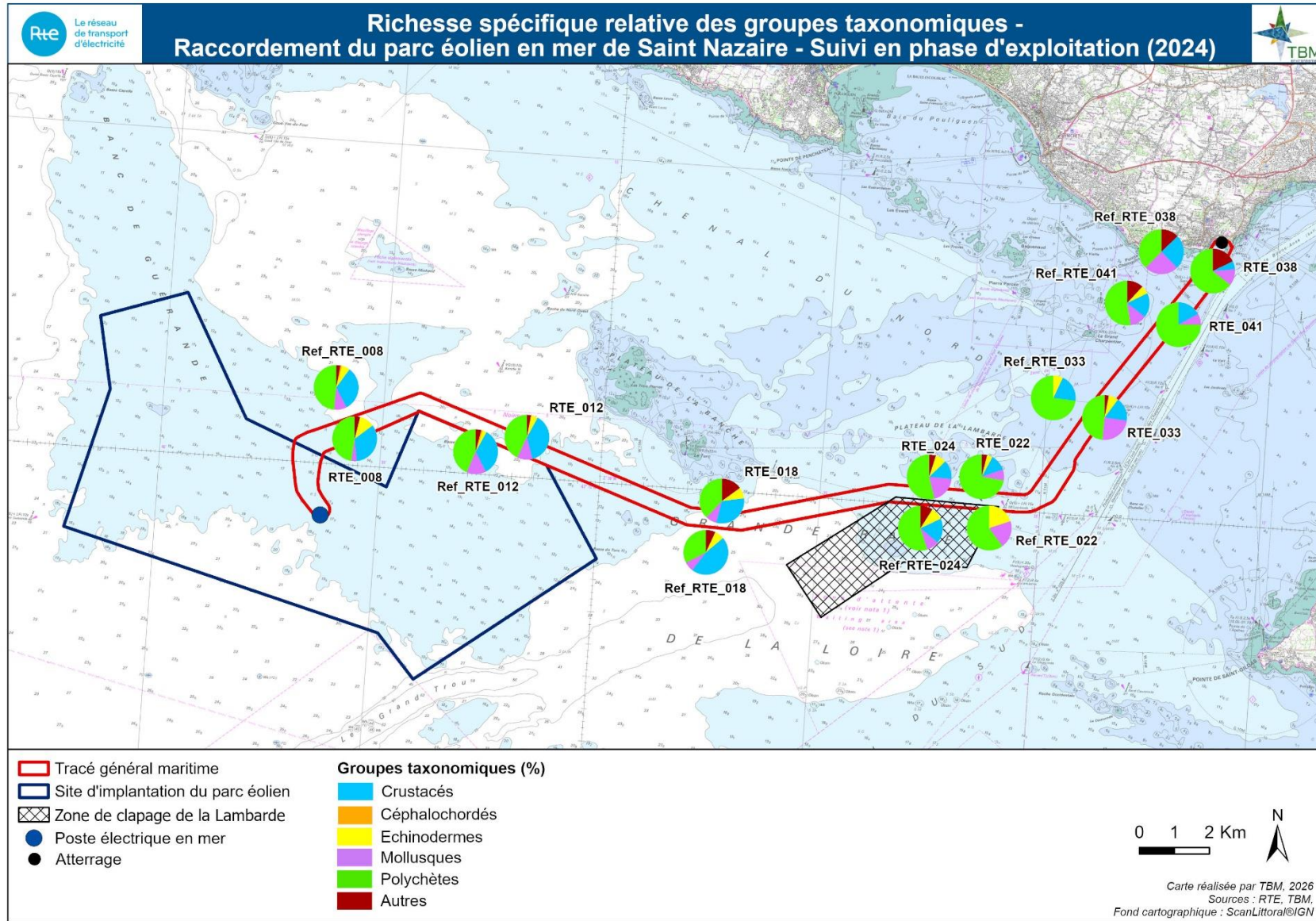


Figure 44 : Richesse spécifique relative (%) des communautés benthiques subtidales de substrat meuble échantillonnées à la drague Rallier du Baty et à la benne Day.

Indices de diversité

L'indice de diversité de Shannon-Wiener associé aux stations est présenté sur la Figure 45. Il varie de 1,6 (station Ref_RTE18) à 3,8 (station RTE24). Les valeurs comprises entre 1,6 et 2 décrivent une communauté peu diversifiée et concernent la majorité des stations. Les valeurs comprises entre 2 et 3 décrivent des communautés diversifiées et concernent les stations Ref_RTE41, RTE33 et RTE22. Enfin, la station Ref_RTE24, dont l'indice dépasse 3, abrite une communauté très diversifiée.

Prélèvements à la benne Day

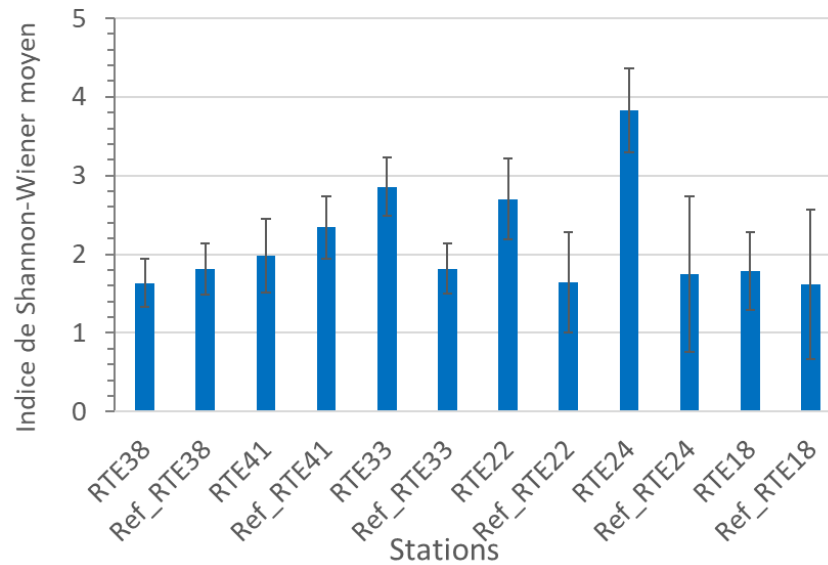


Figure 45. Indice de diversité de Shannon-Wiener des communautés de substrat meuble échantillonnées à la benne Day.

L'indice de diversité de Piélu associé aux stations est présenté sur la Figure 46. Il varie de 0,5 (station RTE38) à 0,9 (station Ref_RTE24). A l'exception de la station RTE38, les peuplements benthiques de stations sont équilibrés. La faible valeur associée à RTE38 découle de la dominance numérique du polychète *Pisione remota* (476 ind/0,5 m²).

Prélèvements à la benne Day

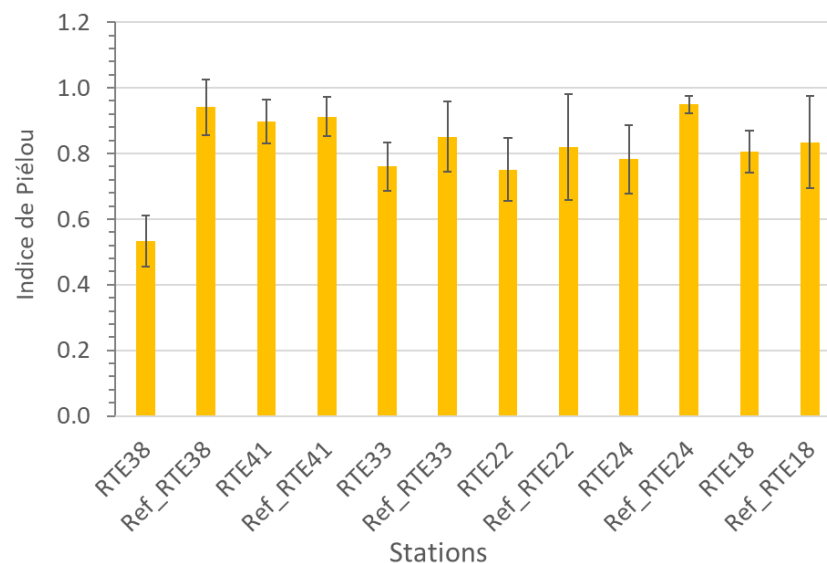


Figure 46. Indice de diversité de Piélu des communautés de substrat meuble échantillonnées à la benne Day.

3.3.1.1.2 Comparaisons aux suivis antérieurs

Depuis 2013, les stations RTE41, RTE22 et RTE24 ont fait l'objet d'échantillonnages quantitatifs, prélevés à la benne Day. Les données d'abondance sont présentées sur la Figure 47.

De manière générale, la station RTE41 est caractérisée de façon pérenne par des communautés benthiques moins abondantes que les stations RTE22 et RTE24. Ses effectifs varient de 64 ind./m² à 250 ind./m² et sont associés à une faible variabilité interannuelle. La valeur d'abondance la plus élevée est associée à l'année 2020, période de l'état de référence.

Sur les deux autres stations, les abondances sont en moyenne sept fois plus élevées et varient entre 334 ind./m² et 1308 ind./m². Les plus faibles valeurs sont observées en 2022, lors du suivi post-chantier. Les deux années de suivi en phase d'exploitation du parc, 2023 et 2024, sont marquées par une légère hausse des abondances sur les deux stations échantillonnées, proches des valeurs relevées lors des états de référence.

Prélèvements à la benne Day

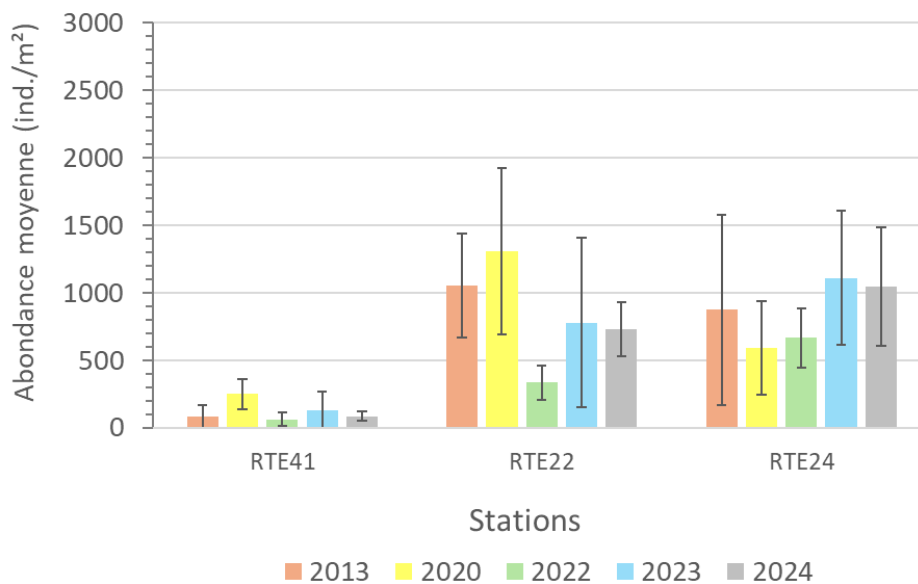


Figure 47 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des communautés benthiques de substrats meubles subtidiaux, sur les stations communes entre 2013, 2020, 2022, 2023 et 2024.

En ce qui concerne la richesse spécifique, la variabilité inter-stations est similaire, la station RTE41 étant moins diversifiée que les deux autres. Tout comme pour le paramètre d'abondance, la valeur de diversité spécifique la plus élevée sur la station RTE41 a été enregistrée lors de l'état de référence de 2020. La station RTE22 est marquée par une stabilité tandis que la station RTE24 est associée à une hausse d'abondance entre 2013 et 2023, suivie d'une stabilisation sur les deux années d'exploitation.

Prélèvements à la benne Day

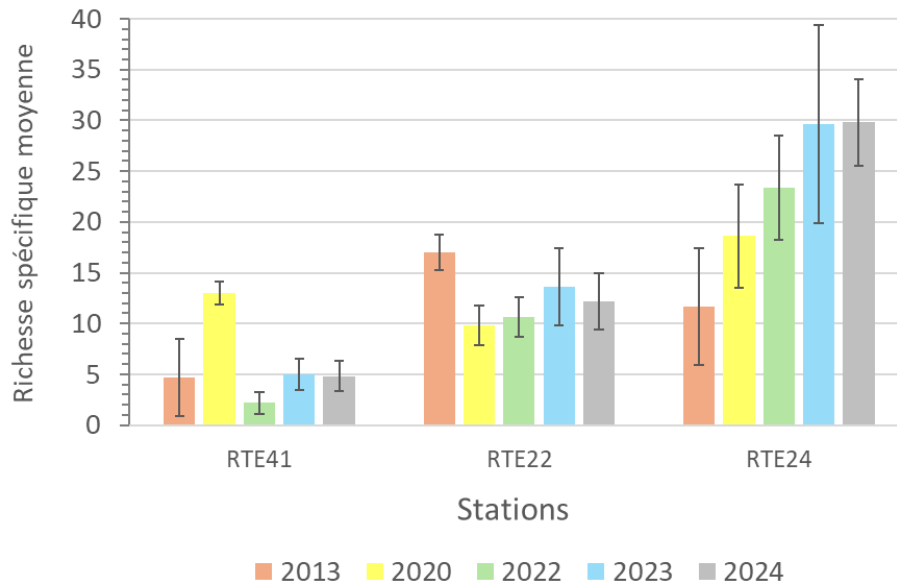


Figure 48 : Richesse spécifique moyenne (\pm écart-type) des communautés benthiques de substrats meubles subtidiaux, sur les stations communes entre 2013, 2020, 2022, 2023 et 2024.

Les données d'abondance relevées sur les stations communes lors des suivis de 2020 à 2024 sont présentées sur la Figure 49.

Les variations interannuelles les plus marquées sont observées sur la station côtière RTE38 et sa station de référence Ref_RTE38, avec des pics d'abondance intervenant lors du premier suivi en phase d'exploitation. L'année 2024 y est marquée par une diminution de l'abondance moyenne, rejoignant les niveaux de référence de 2020. Communs à la station de suivi et sa station de référence, ces changements sont indépendants des travaux.

Sur les stations RTE18 et RTE41, et leurs stations de référence respectives, les variations temporelles d'abondance sont minimales. Sur les stations de suivi RTE33 et RTE22 et leurs références, des pics d'abondance sont observés sur l'année de référence et la première année de la phase d'exploitation, avec une légère diminution en 2024.

La station RTE24 est quant à elle marquée par une forte diminution de l'abondance de ses communautés lors de la phase d'exploitation en 2023, les trois autres années étant associées à une certaine stabilité de ce paramètre. En revanche, sa station de référence Ref_RTE24 a toujours abrité des communautés moins denses et stables dans le temps.

Les données de richesse spécifique relevées sur les stations communes lors des suivis de 2020 à 2024 sont présentées sur la Figure 50. Ce paramètre est plus stable dans le temps que l'abondance. L'année 2024 est toutefois marquée par des diminutions de la richesse spécifique sur les stations Ref_RTE38, Ref_RTE41, Ref_RTE33 et Ref_RTE22. La station RTE24 demeure la station la plus diversifiée.

Prélèvements à la benne Day

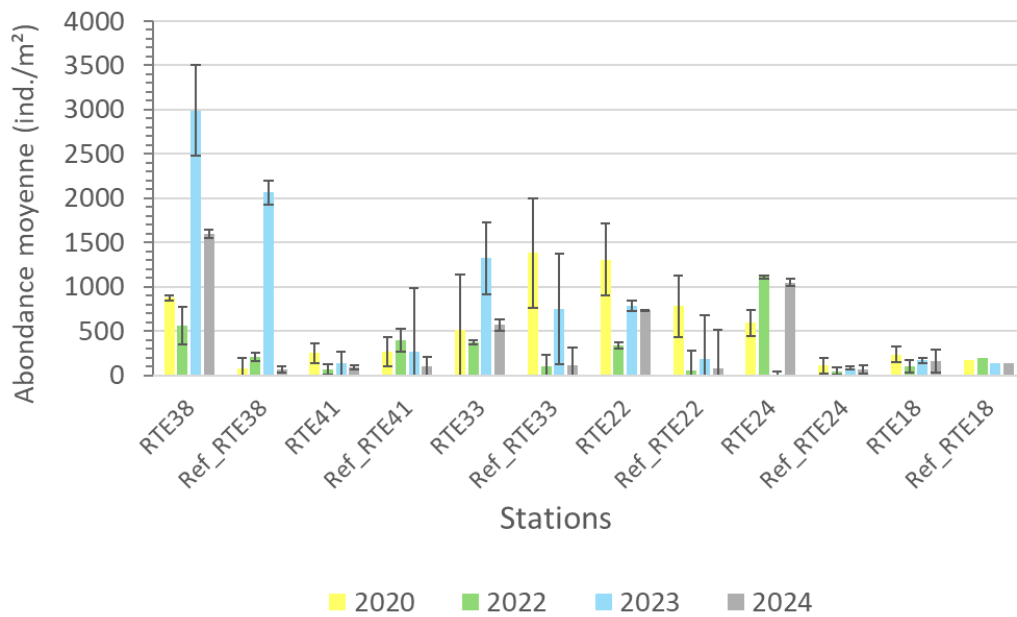


Figure 49 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des communautés benthiques de substrats meubles subtidiaux, sur les stations échantillonnées en commun depuis 2020 jusqu'à 2024.

Prélèvements à la benne Day

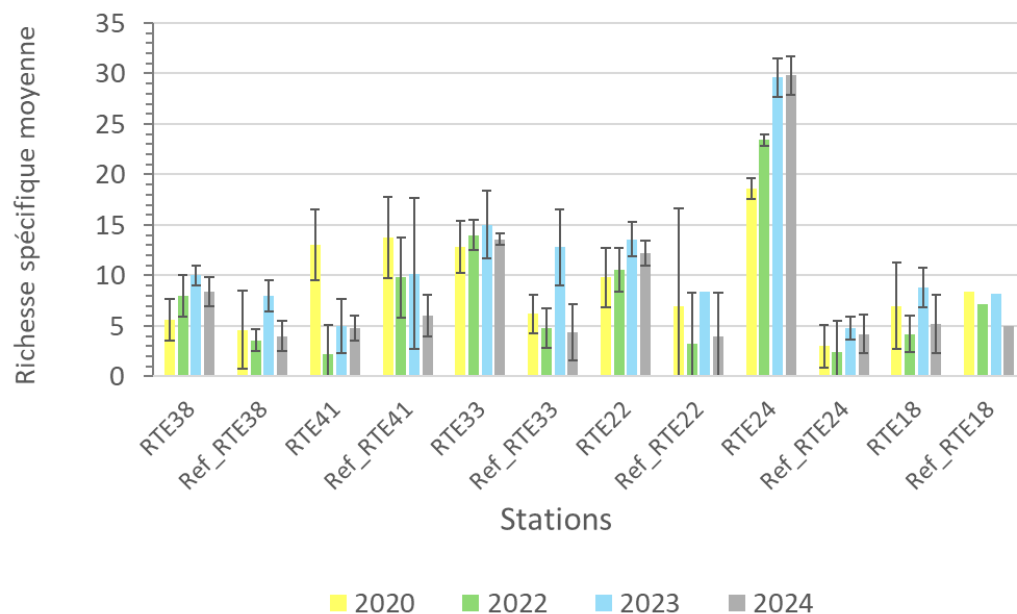


Figure 50. Richesse spécifique moyenne (\pm écart-type) des communautés benthiques de substrats meubles subtidiaux, sur les stations échantillonnées en commun depuis 2020 jusqu'à 2024.

3.3.1.2 Structure des peuplements et habitats

3.3.1.2.1 Suivi 2024

Les résultats de la CAH (Figure 51) et de la MDS (Figure 52) mettent en évidence une **différence significative de la structure des communautés entre les différentes stations**. Au total, 5 groupes et sous-groupes se distinguent sur la CAH et la nMDS réalisées à partir des données collectées à la benne Day.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

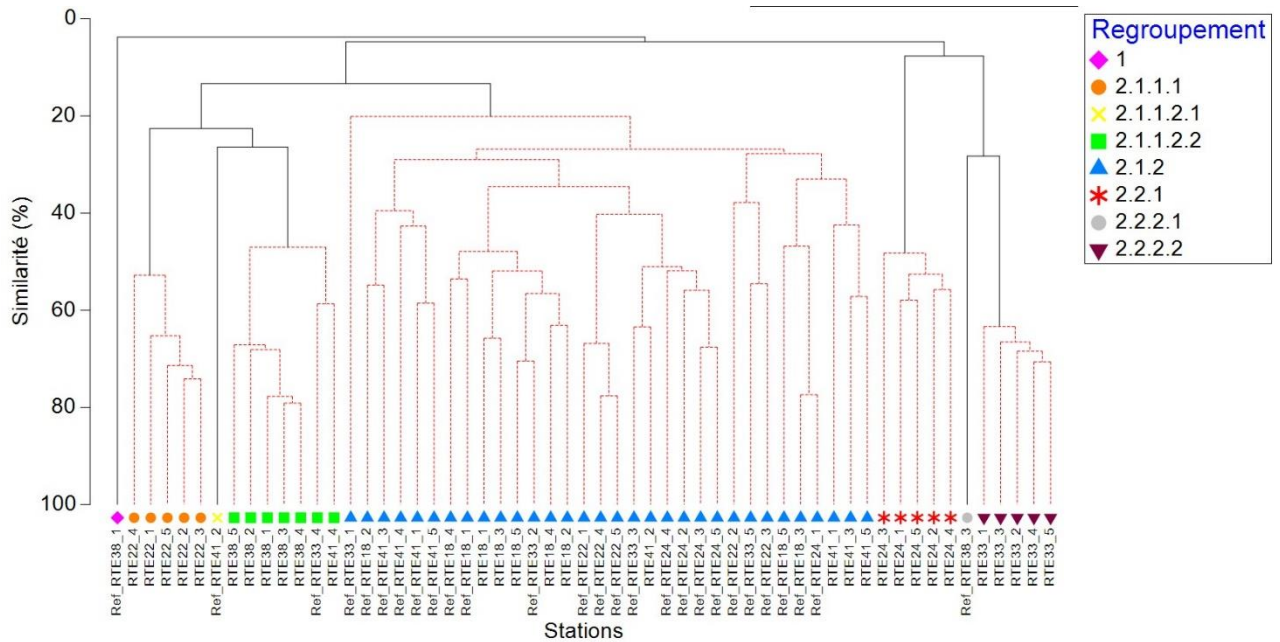


Figure 51 : Classification ascendante hiérarchique (CAH) effectuée sur les stations et réplicats des substrats meubles subtidaux échantillonnés à la benne Day. Les lignes en pointillés rouges indiquent qu'il n'existe pas de différence significative entre les échantillons (test SIMPROF).

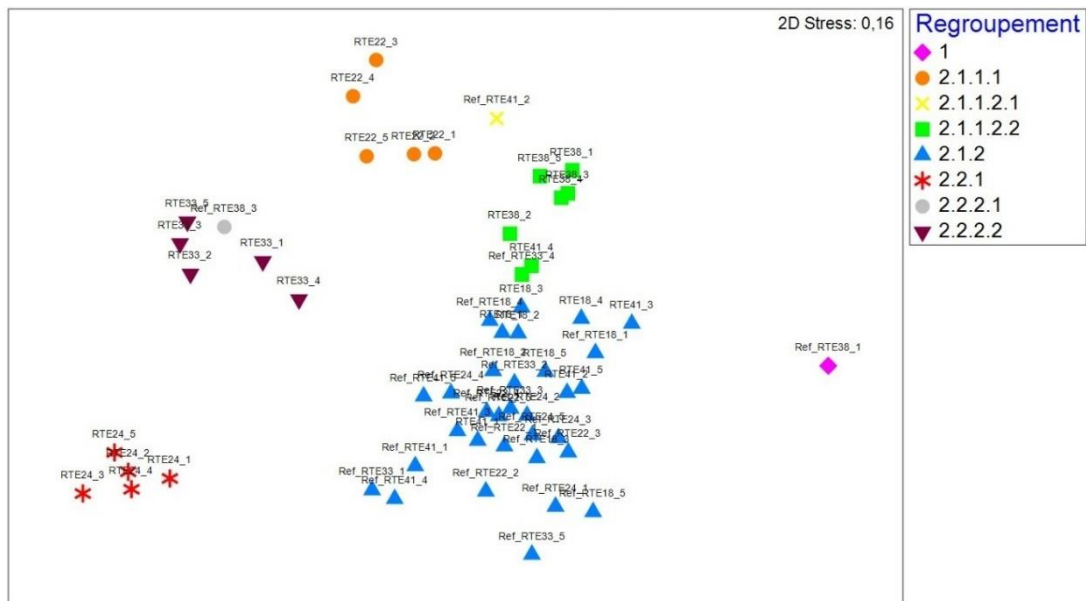


Figure 52 : Analyse multidimensionnelle (nMDS) effectuée sur les stations et réplicats des substrats meubles subtidaux échantillonnés à la benne Day.

Le **groupe 1** isole l'un des réplicats de la station Ref_RTE38 (c.à.d. Ref_RTE38_1). Il est à noter que seulement deux réplicats ont pu être prélevés sur la station. Ces derniers se distinguent des autres réplicats pour deux raisons : leurs faibles effectifs et leur faible diversité. Le réplicat 3 de la station Ref_RTE38 est également isolé au sein du groupe 2.2.2.1.

Le **groupe 2.1.1** se compose de la totalité des réplicats des stations RTE22 et RTE38 et de réplicats isolés des stations Ref_RTE41, RTE41 et Ref_RTE33. Ce groupe est caractérisé par des espèces affines des fonds sédimentaires grossiers telles que les polychètes *Protodervillea kefersteini*, *Mediomastus fragilis*, *Pisione remota* et *Glycera lapidum*.

Le **groupe 2.1.2** rassemble la grande majorité des stations de référence échantillonnées : Ref_RTE33, Ref_RTE18, Ref_RTE41, Ref_RTE22, Ref_RTE24, ainsi que les stations de suivi RTE18 et RTE41. Ce groupe est essentiellement caractérisé par le polychète *Nephtys cirrosa*, électif des sables fins à moyens propres et dominant sur toutes les stations.

Le **groupe 2.2.1** rassemble les répliqués de la station RTE24, associés à des espèces telles que les ophiures *Amphiura filiformis* et *Acrocnida brachiata*, les polychètes *Capitella minima* et *Pholoe baltica*, ainsi que des mollusques bivalves comme *Nucula nitidosa*. Ce cortège d'espèces est caractéristique des fonds sédimentaires de sables fins envasés.

Enfin, le **groupe 2.2.2** regroupe les répliqués de la station RTE33 et le second répliqué de la station Ref_RTE38. La station abrite les polychètes sabulicoles *Magelona johnstoni*, *Mediomastus fragilis* et les bivalves *Donax vittatus* et *Fabulina fabula* caractéristiques des sables fins.

La structure des communautés met en évidence une différenciation entre les stations de suivi et leurs stations de référence. Ces dernières sont principalement regroupées dans le groupe 2.1.2 caractérisé par des sables fins à moyens. Seules les stations RTE18 et RTE41 abritent des cortèges d'espèces similaires à leur station de référence. Les résultats des analyses SIMPER présentent les espèces caractéristiques de ces groupements statistiques (Tableau 19). Ces dernières sont présentées sur la Figure 53.

Tableau 19. Résultats des analyses SIMPER sur les stations échantillonnées à la benne day.

Groupe	Similarité moyenne	Espèce	Groupe taxonomique	Contribution (%)	Cumul des contributions (%)
<i>Moins de deux échantillons</i>					
2.1.1.1	62,38	<i>Protodorvillea kefersteini</i>	Polychète	22,91	22,91
		<i>Mediomastus fragilis</i>	Polychète	17,25	40,16
		<i>Pisione remota</i>	Polychète	16,65	56,81
		<i>Glycera lapidum</i>	Polychète	13,34	70,15
<i>Moins de deux échantillons</i>					
2.1.1.2.1	58,87	<i>Pisione remota</i>	Polychète	34,00	34,00
2.1.1.2.2		<i>Goniadella gracilis</i>	Polychète	23,05	57,05
		<i>Nephtys cirrosa</i>	Polychète	16,15	73,20
2.1.2	31,81	<i>Nephtys cirrosa</i>	Polychète	81,12	81,12
2.2.1	51,69	<i>Amphiura filiformis</i>	Echinoderme	11,36	11,36
		<i>Acrocnida brachiata</i>	Echinoderme	10,91	22,27
		<i>Capitella minima</i>	Polychète	9,36	31,63
		<i>Pholoe baltica</i>	Polychète	8,23	39,86
		<i>Nucula nitidosa</i>	Mollusque	6,06	45,92
		<i>Owenia fusiformis</i>	Polychète	4,83	50,75
		<i>Malmgrenia darbouxi</i>	Polychète	4,50	55,24
		<i>Lumbrineris cingulata</i>	Polychète	4,47	59,72
		<i>Diplocirrus glaucus</i>	Polychète	4,28	64,00
		<i>Abra alba</i>	Mollusque	4,23	68,23
	<i>Kurtiella bidentata</i>	Mollusque	3,68	71,91	
<i>Moins de deux échantillons</i>					
2.2.2.2	66,05	<i>Magelona johnstoni</i>	Polychète	20,90	20,90
		<i>Mediomastus fragilis</i>	Polychète	16,29	37,19
		<i>Donax vittatus</i>	Mollusque	16,04	53,23
		<i>Fabulina fabula</i>	Mollusque	11,29	64,52
		<i>Glycera tridactyla</i>	Polychète	9,62	74,13



Figure 53 : Illustrations de certaines espèces caractéristiques des prélèvements à la benne Day : les polychètes *Protodervillea kefersteini*, *Pisione remota*, *Glycera lapidum* et *Nephtys cirrosa* et en bas l'ophiure *Amphiura filiformis* et le bivalve *Nucula nitidosa* (©TBM environnement).

Les quatre stations échantillonnées à la drague rallier du Baty sont dominées par le crustacé *Pisidia longicornis*, le polychète *Spirobranchus triqueter* sur l'ensemble des stations et par l'échinoderme *Ophiothrix fragilis* sur les stations RTE12 et Ref_RTE12. Ces espèces sont agrégatives et peuvent être présentes en forte densité localement et de façon temporaire et ne sont pas forcément représentatives de l'habitat en présence. Ces dernières sont présentées sur la Figure 54.



Figure 54 : Illustrations de espèces caractéristiques des galets et cailloutis prélevés à la drague rallier du Baty: le polychète *Spirobranchus triqueter* (deux premières photos) et le crustacé *Pisidia longicornis* (© TBM environnement).

Les analyses par CAH et nMDS ont été réalisées sans les espèces mentionnées ci-dessus et sans les autres espèces d'ophiures présentes. Cette analyse permet ainsi d'étudier principalement l'endofaune. Les résultats mettent en évidence une similitude des assemblages de l'endofaune pour les réplicats des stations RTE08, Ref_RTE08 et Ref_RTE12. La station RTE12 forme un groupe distinct. Les résultats des analyses SIMPER présentent les espèces caractéristiques de ces groupements statistiques (Tableau 20).

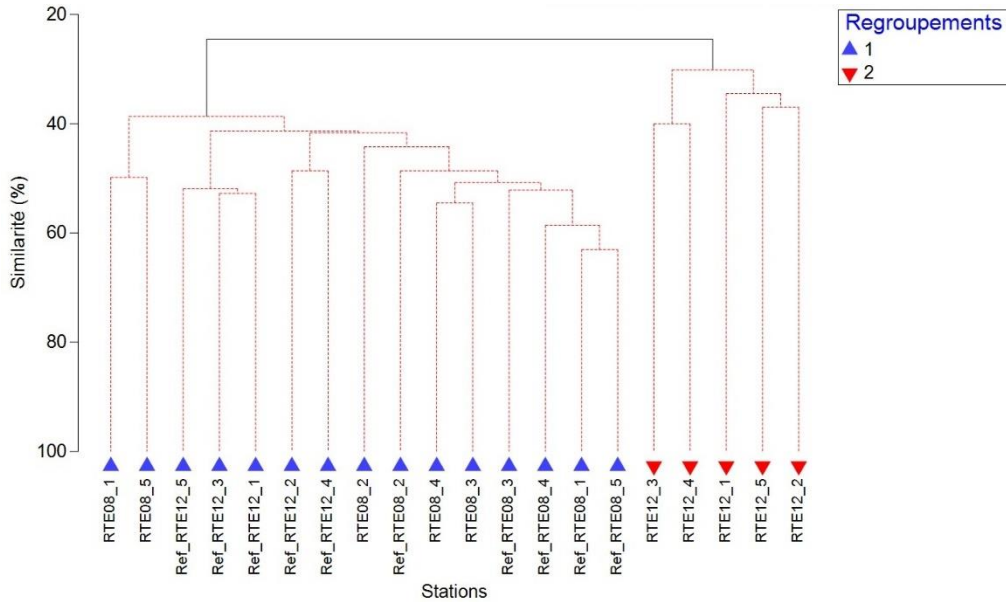


Figure 55. Classification ascendante hiérarchique (CAH) effectuée sur les stations et réplicats des substrats meubles subtidiaux échantillonnés à la drague Rallier du Baty. Les lignes en pointillés rouges indiquent qu'il n'existe pas de différence significative entre les échantillons (test SIMPROF).

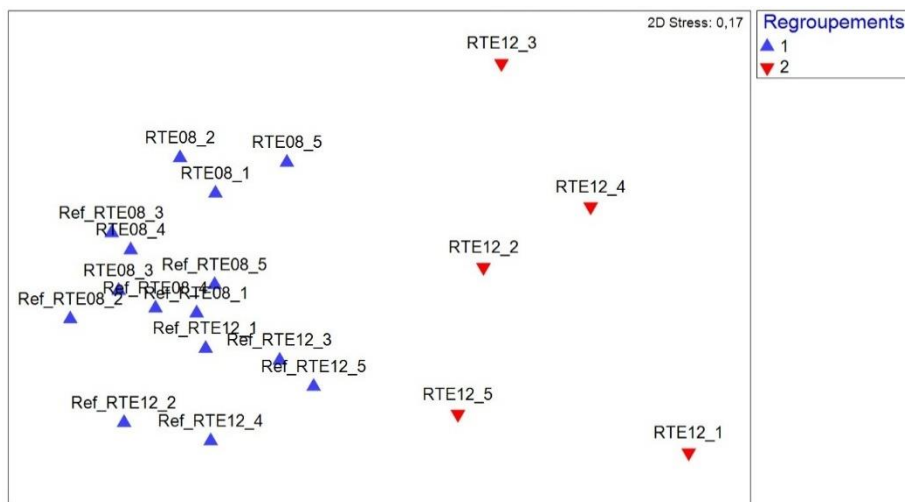


Figure 56. Analyse multidimensionnelle (nMDS) effectuée sur les stations et réplicats des substrats meubles subtidiaux échantillonnés à la drague Rallier du Baty.

Les espèces des stations RTE_08, Ref_RTE08 et Ref_RTE12 se composent du crustacé décapode *Xantho pilipes* et des crustacés *Anapagurus hyndmanni*, *Eualus cranchii* et de Mysidacés électifs des blocs rocheux et des fonds coquilliers. Des polychètes tels que *Harmothoe impar*, *Sabellaria spinulosa* et *Lepidonotus squamatus* sont également présents et sont caractéristiques des fonds de blocs rocheux et de cailloutis.

La station RTE_12 abrite moins de crustacés et davantage de polychètes électifs des fractions grossières comme *Nephtys cirrosa*, *Pisione remota*, *Glycera lapidum*.

Les différences entre les assemblages découlent de la variation des fractions sableuses au sein des prélèvements. Néanmoins, les assemblages décrivent un même habitat.

Tableau 20. Résultats des analyses SIMPER sur les stations échantillonnées à la drague Rallier du Baty.

Groupe	Similarité moyenne	Espèce	Groupe taxonomique	Contribution (%)	Cuml des contributions (%)
1	43,48	<i>Xantho pilipes</i>	Crustacé	12,37	12,37
		<i>Pholoe inornata</i>	Polychète	11,56	23,93
		<i>Sabellaria spinulosa</i>	Polychète	9,07	33,00
		<i>Anapagurus hyndmanni</i>	Crustacé	8,23	41,23
		<i>Lepidonotus squamatus</i>	Polychète	8,15	49,38
		<i>Harmothoe impar</i>	Polychète	7,93	57,30
		<i>Eumida parva</i>	Polychète	6,43	63,73
		<i>Mysidacés</i>	Crustacé	4,57	68,29
		<i>Eualus cranchii</i>	Crustacé	3,32	71,62
2	32,67	<i>Mysidacés</i>	Crustacé	20,57	20,57
		<i>Glycera lapidum</i>	Polychète	15,81	36,38
		<i>Nephtys cirrosa</i>	Polychète	10,32	46,70
		<i>Perioculodes longimanus</i>	Crustacé	9,91	56,61
		<i>Caulleriella alata</i>	Polychète	7,54	64,15
		<i>Pisione remota</i>	Polychète	5,37	69,52
		<i>Anapagurus hyndmanni</i>	Crustacé	4,57	74,09

La zone du raccordement du parc éolien de Saint Nazaire abrite quatre habitats benthiques distincts.

1) Sables grossiers et graviers infralittoraux & sables grossiers et graviers sublittoraux marins du circalittoral côtier.

Ces habitats sont observés à la côte sur les stations **RTE22 et RTE38**. Ils sont couramment observés sur les côtes soumises à un fort hydrodynamisme. L'exposition laisse place à un fond tapissé de sables moyens à grossiers et de sables graveleux (Figure 57). La faune associée se compose d'espèces sabulicoles et gravicoles tolérantes telles que les polychètes *Protodorvillea kefersteini*, *Mediomastus fragilis*, *Pisione remota* et *Glycera lapidum*.

Ces habitats sont rencontrés de 10 à 25 m de profondeur. La limite entre les fonds grossiers de l'infralittoral et du circalittoral est difficile à définir, les deux pouvant être en continuité.

Le code NatHab-Atl (Michez et al., 2019) pour ce type de peuplement est :

- En zone infralittorale (station RTE38) : **B3-2 Sables grossiers et graviers infralittoraux ;**
- En zone circalittorale (station RTE22): **C3-2 Sables grossiers et graviers du circalittoraux côtiers (Figure 57).**



Figure 57 : Exemples des bennes prélevées sur les sables grossiers et graviers infralittoraux et circalittoraux et fonds associés (© TBM environnement).

2) Sables fins à moyens sublittoraux mobiles marins

Cet habitat est dominant sur le secteur étudié et concerne les stations **Ref_RTE33, Ref_RTE18, Ref_RTE41, Ref_RTE22, Ref_RTE18, Ref_RTE24, Ref_RTE38** ainsi que les stations de suivi **RTE33, RTE18 et RTE41**. Ces sédiments sont moins diversifiés et présentent une abondance assez faible. En effet, ce peuplement est oligospécifique et la densité varie d'environ 50 à 600 individus par m². Les habitats sédimentaires des sables fins et moyens côtiers sont des milieux ouverts soumis à un fort hydrodynamisme (Figure 58). Les espèces discriminantes identifiées sont le bivalve *Donax vittatus*, le polychète et *Nephtys cirrosa*, le mysidacé *Gastrosaccus spinifer*, le Bernard L'hermite *Diogenes pugilator* et l'amphipode *Bathyporeia pilosa*.

Le code NatHab-Atl pour ce type de peuplement est :

- **B5-1.1 Sables mobiles propres infralittoraux à faune épars** (Ref_RTE41, RTE41, Ref_RTE33, RTE33, Ref_RTE38);
- **C5-1.1 Sables mobiles propres du circalittoral côtier** (Ref_RTE22, Ref_RTE24, Ref_RTE18, RTE18).

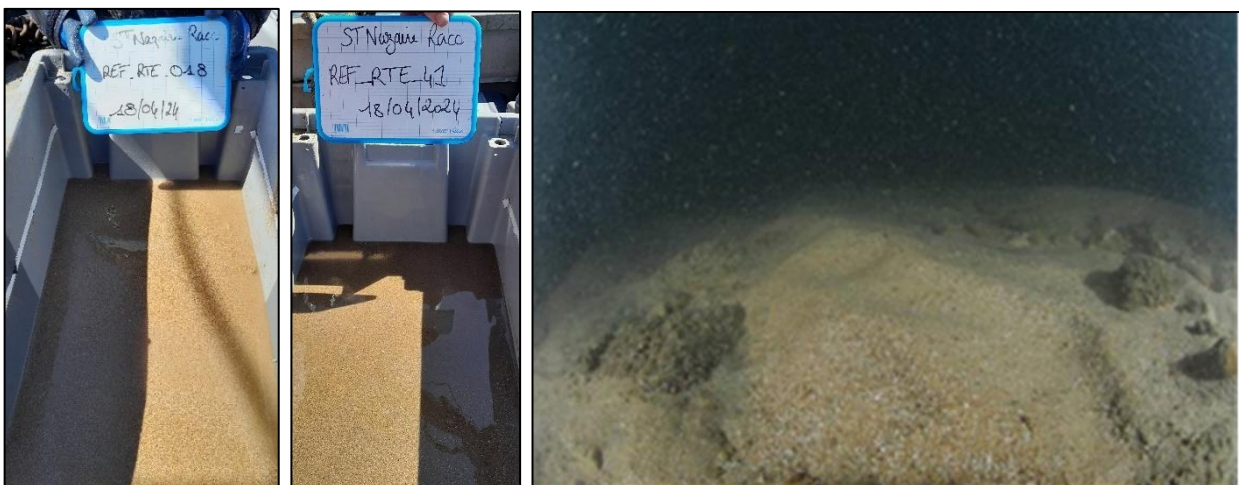


Figure 58 : Exemples des bennes prélevées sur les sables fins à moyens sublittoraux mobiles marins et fonds associés (© TBM environnement).

3) Vases sableuses circalittorales côtières

Cet habitat est présent à proximité du site d'immersion de la Lambarde à savoir sur la station **RTE 24**. Il est constitué de vases sableuses contenant plus de 35 % de vase et 55 % de sable

(Figure 59). Cet habitat est rencontré dans des zones où l'effet des vagues et de la houle est faible. Une faune abondante est observée avec de nombreuses espèces d'ophiures (*Acrocnida brachiata*, *Amphiura filiformis*), des polychètes comme *Capitella minima* et *Pholoe baltica* et le bivalve *Nucula nitidosa*.

Le code NatHab-Atl est **C6-1 Vases sableuses circalittorales côtières**.



Figure 59 : Exemple des bennes prélevées sur la station RTE24 (© TBM environnement).

4) Galets et Cailloutis circalittoraux

Cet habitat est présent sur les stations les plus proches du parc, à savoir **RTE 08, REF-RTE 08, RTE 12, REF-RTE 12**. Tapissé de fonds de galets et de cailloutis, il nécessite l'usage de la drague Rallier du Baty pour être échantillonné et est généralement caractérisé par une dominance plurispécifique. En l'occurrence, les stations du large abritent des abondances élevées du crustacé *Pisidia longicornis* et du polychète *Spirobranchus triqueter*. L'ophiure *Ophiothrix fragilis* est notamment abondante sur les stations RTE12 et Ref_RTE12.

Les stations sont caractérisées par une fraction sableuse élevée (39 % à 75 %) caractéristique d'une atténuation des courants. Ce changement granulométrique est associé à un déclin de l'épibiose sessile (spongiaires, ascidies, hydriaires, bryozoaires).

Le code NatHab-Atl est : **C3-1.1.1 Cailloutis circalittoraux à épibiose sessile avec *Ophiothrix fragilis*** (Figure 60).



Figure 60 : Exemple de benne prélevée sur la station RTE12 et fonds associés (© TBM environnement).

3.3.1.2.2 Comparaisons aux suivis antérieurs

La Figure 61 présente l’analyse multidimensionnelle menée sur les données d’abondance recueillies entre 2013 et 2024 sur les différentes stations de suivi et leurs stations de référence. De manière générale, les stations sont regroupées selon leur habitat sédimentaire, quelle que soit l’étape du suivi (référence, travaux, exploitation). Au total, quatre groupes se distinguent : les galets et cailloutis, les vases sableuses, les sables fins à moyens et les sables grossiers et graviers.

Au cours du suivi, la granulométrie de certaines stations a toutefois évolué. C’est le cas des stations Ref_RTE18, Ref_RTE22, Ref_RTE33, Ref_RTE38, RTE41 sur lesquelles les fractions sableuses ont varié des fractions fines et moyennes à grossières. Ces variations sont intervenues aussi bien sur des stations de référence que sur les stations de suivi, illustrant la dynamique sédimentaire naturelle du milieu et la mobilité sédimentaire des fonds.

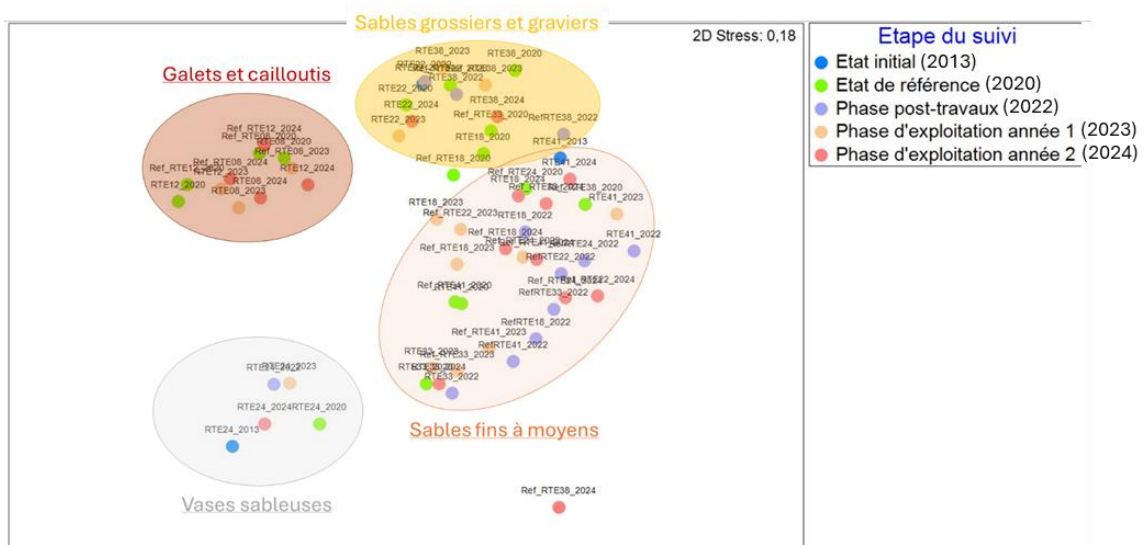


Figure 61 : Analyse multidimensionnelle (MDS) effectuée sur les stations et répliqués des substrats meubles subtidiaux de 2013 à 2024.

Depuis 2013, les habitats définis sur les stations sont restés globalement stables à l’exception de quelques variations dans la répartition des fractions sableuses. Ainsi, les stations

Ref_RTE33, Ref_RTE38, Ref_RTE22, Ref_RTE18, RTE18 sont passées des sables grossiers aux sables moyens entre 2023 et 2024 (changements en vert). Depuis 2023, la station Ref_RTE24 a évolué des vases sableuses aux sables grossiers et abrite des sables fins à moyens en 2024 (changement en rouge bordeaux). Ces variations d'habitats sont récapitulées dans le Tableau 21.

Tableau 21 : Habitats définis pour l'ensemble des stations depuis 2013. Les stations concernées par un changement d'habitat sont surlignées en couleurs (voir détail dans le paragraphe ci-dessus).

Habitats	2013 (Etat initial) - 2020 (Etat de référence) et 2022 (Suivi Post-(travaux)	2023 (Exploitation Année 1)	2024 (Exploitation Année 2)
B3-2 Sables grossiers et graviers infralittoraux	, Ref-RTE 33, RTE38 et Ref-RTE 38	, Ref-RTE 33 , RTE38 et Ref-RTE 38 ,	RTE38
C3-2 Sables grossiers et graviers circalittoraux côtiers	RTE 18, Ref-RTE 18, Ref-RTE 22 et RTE22	RTE 18, Ref-RTE 18 ; Ref-RTE 22 , RTE22 et Ref-RTE 24	RTE22
B5-1.1 Sables mobiles propres infralittoraux à faune éparse	RTE 33, RTE41 et Ref-RTE 41	RTE 33, RTE41 et Ref-RTE 41	Ref_RTE41, RTE41, Ref_RTE33 , RTE33, Ref_RTE38 ,
C5-1.1 Sables mobiles propres du circalittoral côtier	-	-	Ref_RTE22 , Ref_RTE18 , RTE18 , Ref_RTE24
C6-1 Vases sableuses circalittorales côtières	RTE 24, Ref-RTE 24	RTE 24	RTE 24
C3-1.1.1 Cailloutis circalittoraux à épibiose sessile avec Ophiothrix fragilis	RTE 08, Ref-RTE 08, RTE 12, Ref-RTE 12	RTE 08, Ref-RTE 08, RTE 12, Ref-RTE 12	RTE 08, Ref-RTE 08, RTE 12, Ref-RTE 12

3.3.1.3 Espèces et habitats à enjeu de conservation (suivi 2024)

Aucun habitat à enjeu n'a été identifié sur la zone d'étude. En revanche, certaines espèces à enjeu de conservation ont été collectées dans les échantillons et sont présentées ci-dessous.

Lanice conchilega

Les lanices (*Lanice conchilega*) sont des polychètes tubicoles fouisseurs de grande taille (mesurant jusqu'à 25 cm de longueur), susceptibles de former localement de fortes concentrations de plusieurs milliers d'individus par m², désignées sous le terme de « banquettes » (La Rivière et al., 2022, Figure 62). La structure des tubes et la forte concentration d'individus modifient le régime hydrodynamique au-dessus du fond et permettent un enrichissement de la faune benthique. Elles sont une source d'alimentation pour les poissons plats en zone subtidale (Godet et al., 2011). Ces formations ne bénéficient d'aucun statut de protection mais présentent un enjeu de conservation.

- ➔ Sur le site d'étude, un total de 5 individus a été collecté sur la station RTE24. Ces effectifs sont insuffisants pour qu'il y ait formation de banquettes.



Figure 62 : Individu de *Lanice conchilega* (©TBM environnement).

Sabellaria spinulosa

Les hermelles épineuses (*Sabellaria spinulosa*) sont des polychètes tubicoles vivant dans un tube formé de sable et de débris sédimentaires agrégés (La Rivière et al., 2022, Figure 63). Lorsque les hermelles sont présentes en très fortes densités (> 4000 ind/m²), elles peuvent former des récifs très épais (jusqu'à 60 cm) associés à une forte richesse spécifique. Les récifs de *Sabellaria spinulosa* sur sédiments sont inscrits à la liste des habitats menacés et/ou en déclin de la Convention OSPAR.

- Sur le site d'étude, un total de 49 individus du polychète tubicole *Sabellaria spinulosa* a été observé sur l'ensemble des échantillons. Des individus ont été collectés sur les stations Ref_RTE08, Ref_RTE12, Ref_RTE38, RTE08 et RTE12. Ces effectifs sont insuffisants pour la formation de récifs et ont été collectés sur des galets et cailloutis colonisés.



Figure 63 : Individu de *Sabellaria spinulosa* (©TBM environnement)

3.3.1.4 Indice biotique et état de santé du milieu

3.3.1.4.1 AMBI

3.3.1.4.1.1 Suivi 2024

D’une manière générale, sur l’ensemble des espèces inventoriées dans cette étude, la plupart est associée aux groupes écologiques I (espèces sensibles à une hypertrophisation) et II (espèces indifférentes à une hypertrophisation) (Figure 64).

Seule la station RTE24, située à proximité de la zone d’immersion de la Lambarde, abrite des espèces opportunistes de premier (groupe V) et de second ordre (groupe IV), c’est-à-dire des espèces dépositives, proliférant dans les sédiments réduits. Les pourcentages de ces groupes atteignent 7 % et 3 %, respectivement. Les espèces caractéristiques de ces groupes sont le polychète *Capitella minima* ou encore *Caulleriella alata*.

La répartition des groupes écologiques est similaire sur les stations du large (RTE 12, Ref_RTE12, RTE18 et Ref_RTE18, Figure 65). Le groupe V est absent mais le groupe IV est présent sur les quatre stations et atteint des pourcentages très faibles compris entre 0,5 % et 0,7 %.

La répartition des groupes écologiques au sein des stations le long du raccordement est présentée sur la Figure 66.

Prélèvements à la benne Day

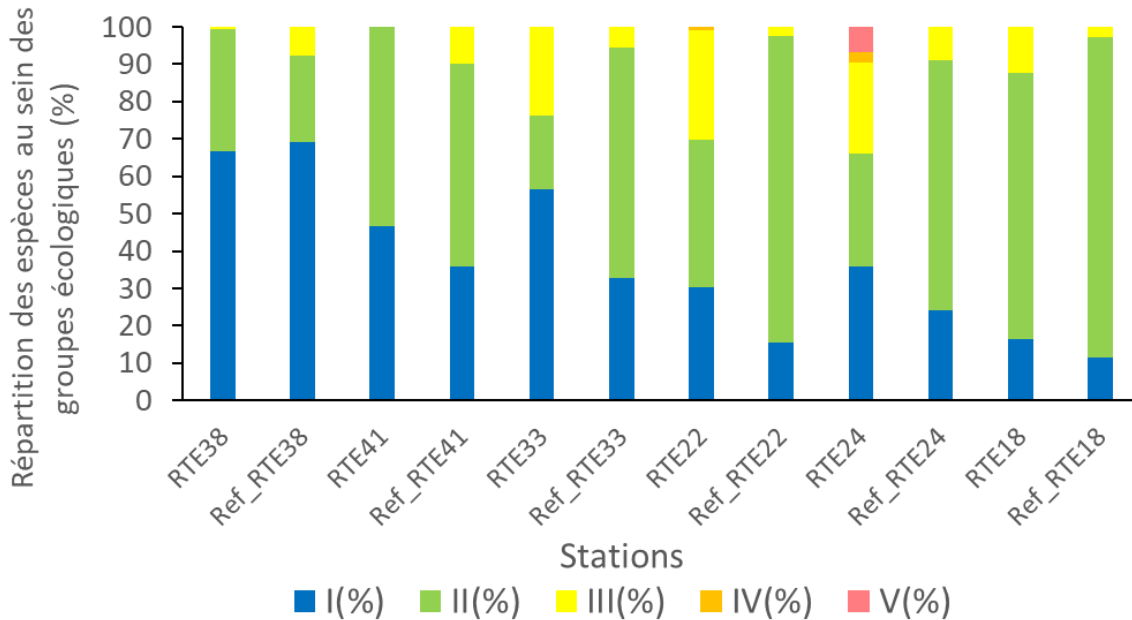


Figure 64 : Répartition (%) des groupes écologiques des communautés benthiques subtidales de substrat meuble échantillonnées à la benne Day.

Prélèvements à la drague Rallier du Baty

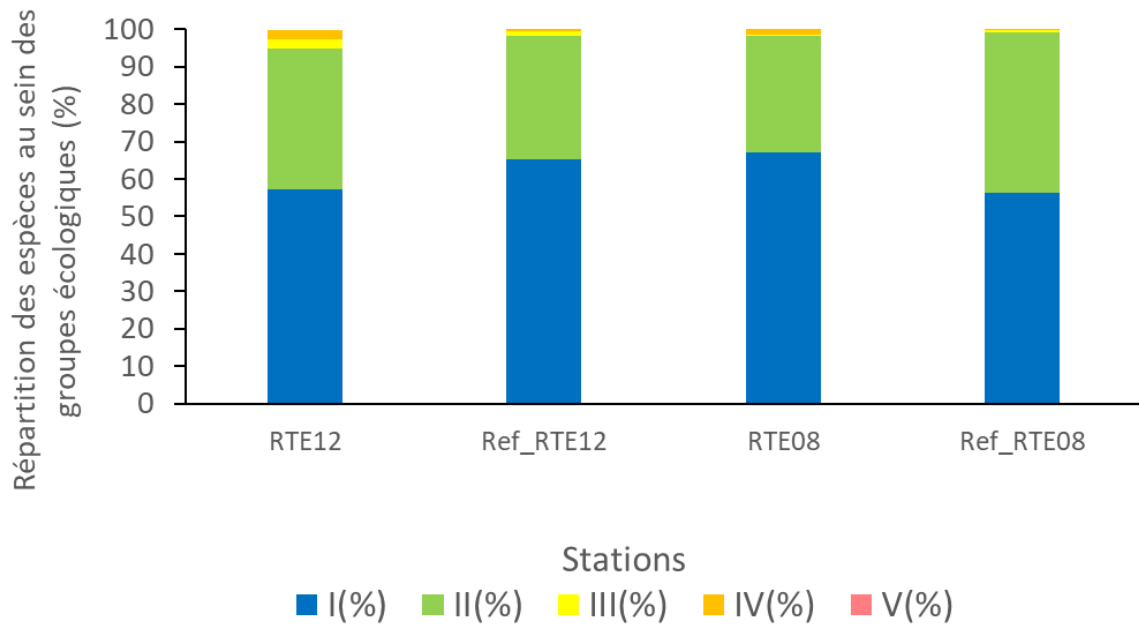


Figure 65 : Répartition (%) des groupes écologiques des communautés benthiques subtidales de substrat meuble échantillonnées à la drague rallier du Baty.

En se basant sur la méthodologie AMBI, les résultats indiquent que l'état de santé des stations varie de « bon » (sept stations) à « très bon » (neuf stations), ce qui correspond à une classification de milieu non pollué à légèrement pollué (Tableau 22).

Tableau 22 : AMBI et état de santé.

Stations	AMBI moyen	Etat écologique	Type de pollution
RTE38	0,5	Très bon	Normal
Ref_RTE38	0,6	Très bon	Normal
RTE41	0,9	Très bon	Normal
Ref_RTE41	1,1	Très bon	Normal
RTE33	1,0	Très bon	Normal
Ref_RTE33	1,3	Bon	Légèrement pollué, état transitoire
RTE22	1,5	Bon	Légèrement pollué, état transitoire
Ref_RTE22	1,3	Bon	Légèrement pollué, état transitoire
RTE24	1,7	Bon	Légèrement pollué, état transitoire
Ref_RTE24	1,4	Bon	Légèrement pollué, état transitoire
RTE18	1,5	Bon	Légèrement pollué, état transitoire
Ref_RTE18	1,3	Bon	Légèrement pollué, état transitoire
RTE12	0,7	Très bon	Normal
Ref_RTE12	0,5	Très bon	Normal
RTE08	0,6	Très bon	Normal
Ref_RTE08	0,7	Très bon	Normal

3.3.1.4.1.2 Comparaisons aux suivis antérieurs

Entre 2013, 2020, 2022, 2023 et 2024, l'état écologique de RTE22 est passé de « très bon » sur les cinq années de suivi à « bon » en 2024. Il est resté similaire à l'état écologique des

années passées sur les deux autres stations. Sur la station RTE24, l'année 2013 a été marquée par un état écologique « très bon », tandis que sur RTE41, il a diminué ponctuellement en 2020, passant de « très bon » à bon. Ces différents résultats sont présentés dans le Tableau 23.

Tableau 23 : AMBI et état de santé des stations communes entre 2013, 2020, 2022, 2023 et 2024.

Stations	Années	AMBI	Etat de santé
RTE22	2013	1,1	Très bon
	2020	0,6	Très bon
	2022	1,09	Très bon
	2023	1,01	Très bon
	2024	1,5	Bon
RTE24	2013	1,1	Très bon
	2020	3,3	Bon
	2022	2,44	Bon
	2023	2,42	Bon
	2024	1,7	Bon
RTE41	2013	1	Très bon
	2020	1,3	Bon
	2022	1,01	Très bon
	2023	0,90	Très bon
	2024	0,9	Très bon

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

Tableau 24 : AMBI et état de santé des stations communes entre 2020 et 2024.

Stations	Années	AMBI	Etat de santé
RTE18	2020	0,9	Très bon
	2022	1,1	Très bon
	2023	1,4	Bon
	2024	1,5	Bon
Ref_RTE18	2020	0,9	Très bon
	2022	1,4	Bon
	2023	1,1	Très Bon
	2024	1,3	Bon
RTE22	2020	0,6	Très bon
	2022	1,1	Très bon
	2023	1,0	Très bon
	2024	1,5	Bon
Ref_RTE22	2020	0,3	Très bon
	2022	0,9	Très bon
	2023	0,9	Très bon
	2024	1,3	Bon
RTE24	2020	3,3	Bon
	2022	2,4	Bon
	2023	2,4	Bon
	2024	1,7	Bon
Ref_RTE24	2020	0,7	Très bon
	2022	1,5	Bon
	2023	1,2	Bon
	2024	1,4	Bon
RTE33	2020	1,6	Bon
	2022	0,9	Très bon
	2023	0,8	Très bon
	2024	1,0	Très bon
Ref_RTE33	2020	0,1	Très bon
	2022	1,1	Très bon
	2023	0,5	Très bon
	2024	1,3	Bon
RTE38	2020	0,3	Très bon
	2022	0,9	Très bon
	2023	0,3	Très bon
	2024	0,5	Bon
Ref_RTE38	2020	0,7	Très bon
	2022	1,1	Très bon
	2023	1,2	Bon
	2024	0,6	Bon
RTE41	2020	1,3	Très bon
	2022	1,0	Bon
	2023	0,9	Très bon
	2024	0,9	Bon
Ref_RTE41	2020	1,4	Bon
	2022	0,4	Très bon
	2023	0,6	Très bon
	2024	1,1	Très bon

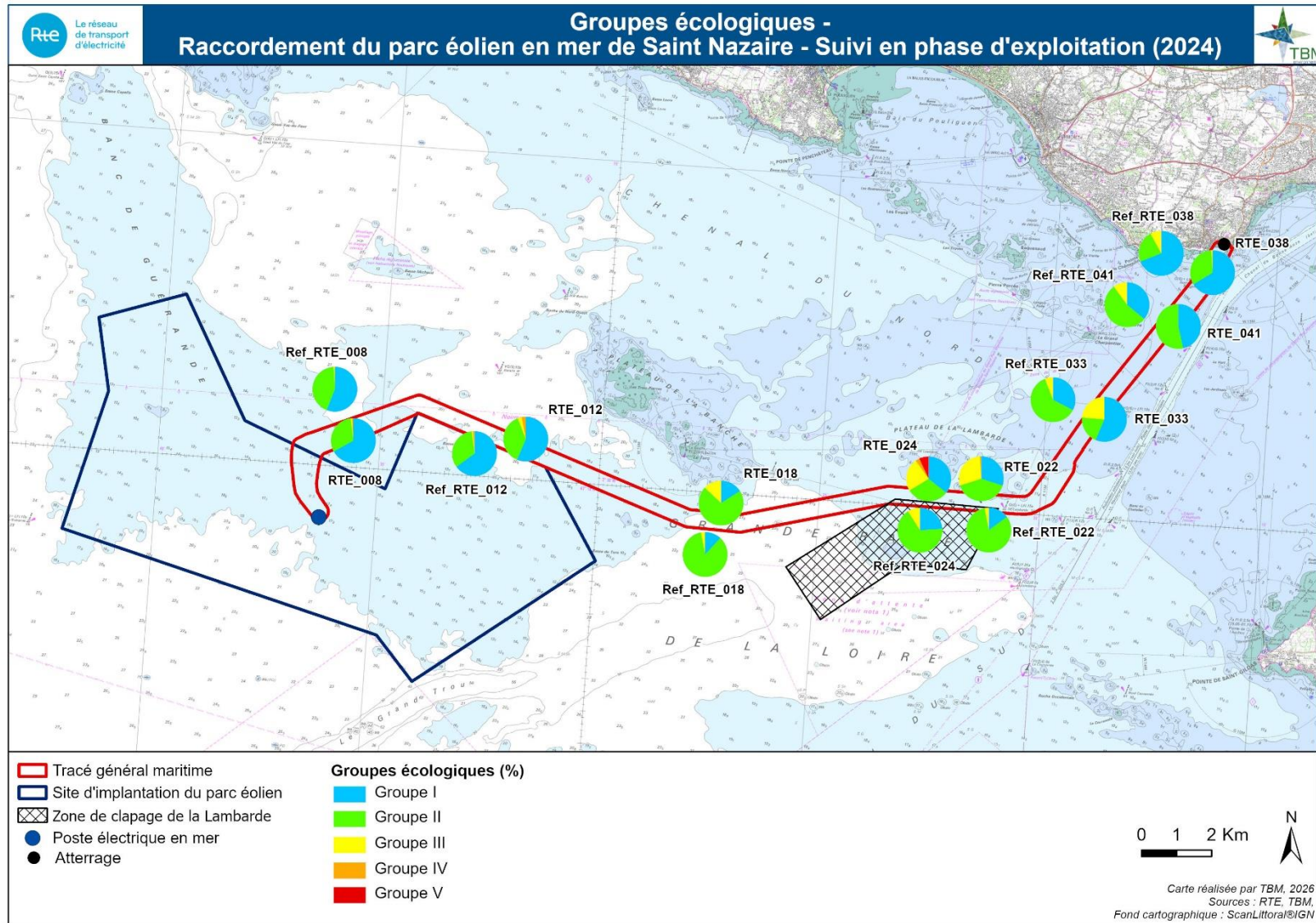


Figure 66 : Répartition (%) des groupes écologiques des communautés benthiques subtidales de substrat meuble.

3.3.1.4.2 GPBI

3.3.1.4.2.1 Suivi 2024

Les valeurs du GPBI obtenues en 2024 sont présentées dans le Tableau 25 et varient de 0,13 (couple Ref_RTE22 et RTE22) à 0,81 (couple Ref_RTE08 et RTE08).

Les couples de stations Ref_RTE08/RTE08, Ref_RTE18/RTE18 et, dans une moindre mesure, Ref_RTE41/RTE41 présentent des valeurs de GPBI proches de 1. Cela suggère une faible altération des communautés benthiques des stations expérimentales par rapport aux références, les abondances des espèces caractéristiques étant globalement comparables entre les deux types de stations.

En revanche, de nombreux couples de stations présentent des valeurs du GPBI inférieures à 0,3 (notamment Ref_RTE12/RTE12), voire inférieures à 0,2 pour la majorité des autres couples. Ces faibles valeurs traduisent une forte différenciation des assemblages spécifiques, associée à une perte importante d'abondance des espèces caractéristiques par rapport aux stations de référence.

Tableau 25. Valeurs du GPBI obtenues en 2024 pour les stations expérimentales en fonction de leur station de référence.

Station de référence	Station expérimentale	GPBI 2024 (Exploitation année 2)
Ref_RTE38	RTE38	0,15
Ref_RTE41	RTE41	0,40
Ref_RTE33	RTE33	0,18
Ref_RTE22	RTE22	0,13
Ref_RTE24	RTE24	0,15
Ref_RTE18	RTE18	0,72
Ref_RTE12	RTE12	0,28
Ref_RTE08	RTE08	0,81

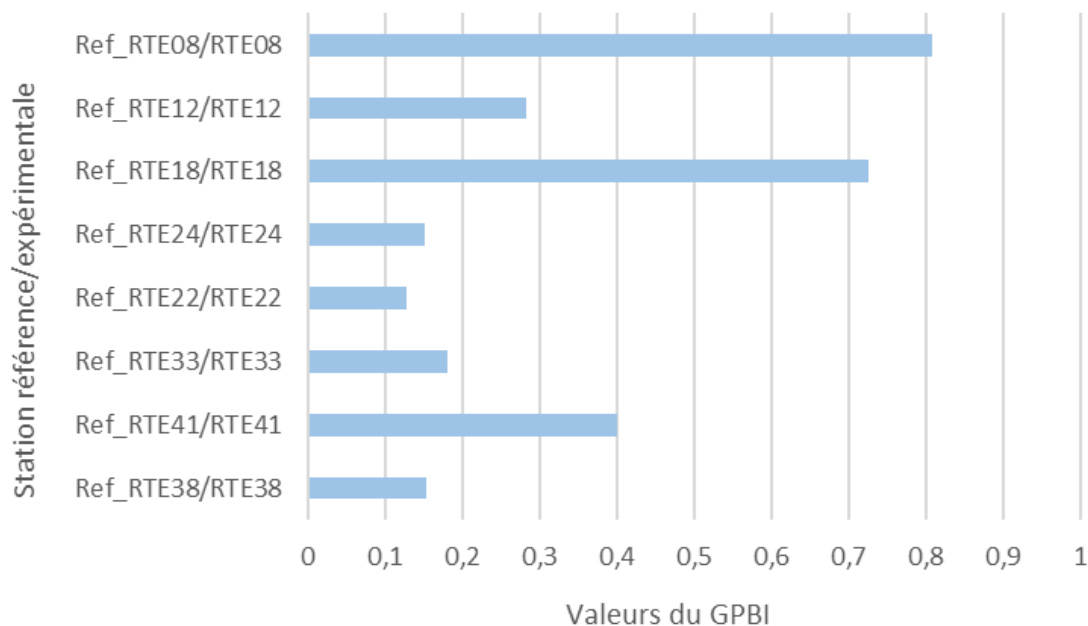


Figure 67. Valeur du GPBI en 2024.

3.3.1.4.2.2 Comparaisons aux suivis antérieurs

Les valeurs du GPBI obtenues entre 2020 et 2024 sont présentées dans le Tableau 26. Disposant de peu de données communes entre le suivi de 2013 et les suivants, ce dernier n’est pas intégré aux comparaisons suivantes.

L’analyse des valeurs de GPBI met en évidence des trajectoires temporelles contrastées selon les couples de stations. En 2020, correspondant à l’état de référence, les couples de stations Ref_RTE38/RTE38, Ref_RTE41/RTE41, Ref_RTE22/RTE22, Ref_RTE18/RTE18, Ref_RTE08/RTE08 et Ref_RTE12/RTE12 présentent des valeurs élevées de GPBI (>0,5). Ces résultats traduisent une faible différenciation entre les stations expérimentales et leurs stations de référence, indiquant des assemblages spécifiques et des abondances globalement comparables entre les deux types de stations. À l’inverse, les couples Ref_RTE03/RTE03 et Ref_RTE24/RTE24 présentent des valeurs faibles de GPBI, traduisant une forte différenciation de leurs assemblages spécifiques par rapport aux stations de référence.

En 2022, période post-travaux, une diminution marquée du GPBI est observée pour les couples Ref_RTE41/RTE41, Ref_RTE22/RTE22 et Ref_RTE18/RTE18. Ces résultats mettent en évidence une différenciation des assemblages spécifiques entre les stations expérimentales et leurs stations de référence. De légères hausses de l’indice sont observées sur les stations Ref_RTE38/RTE38, Ref_RTE33/RTE33 et Ref_RTE24/RTE24.

L’année d’exploitation 2023 est globalement marquée par une hausse des valeurs de GPBI, témoignant d’un potentiel retour progressif aux assemblages spécifiques initiaux. Toutefois, sur certaines stations, les valeurs ne varient pas (Ref_RTE41/RTE4, Ref_RTE24/RTE24). Il est à noter que la valeur de GPBI du couple Ref_RTE24/RTE24 n’a jamais dépassé 0,32, même lors de l’état de référence.

L’année d’exploitation 2024 est caractérisée par une diminution des valeurs de GPBI sur la grande majorité des stations.

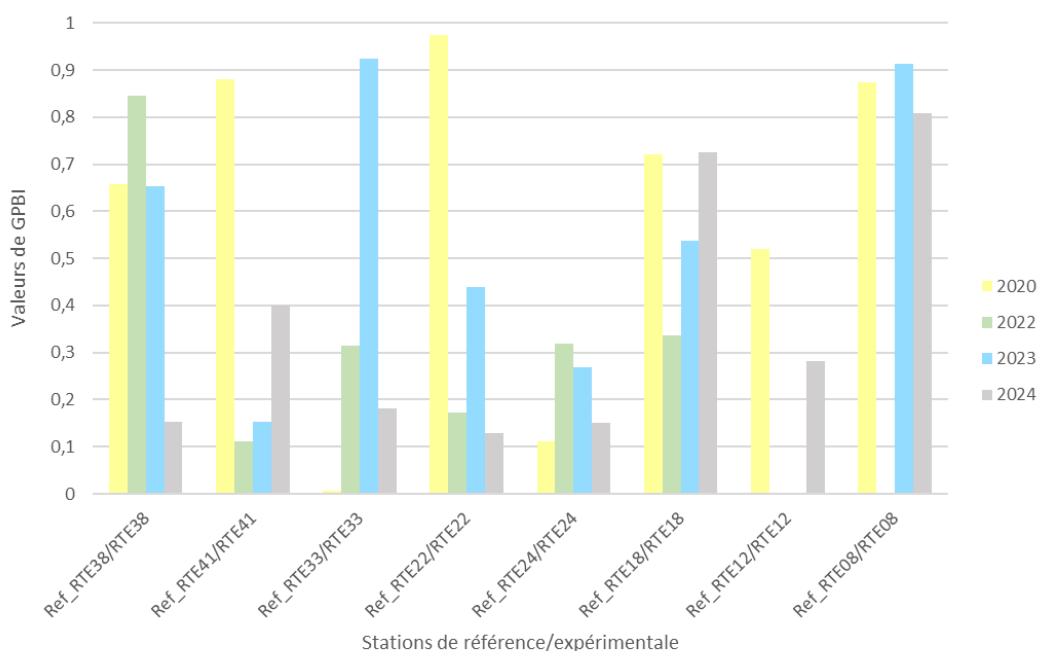


Figure 68. Indice GPBI en fonction de la période d’échantillonnage (2020 à 2024).

Les variations des valeurs de GPBI entre les stations expérimentales et leurs stations de référence semblent être étroitement liées aux différences de granulométrie des sédiments. De manière générale, à partir de 2022, une augmentation des fractions sableuses est constatée sur la majorité des stations de référence et explique la différenciation des communautés benthiques. Ces variations sédimentaires sont renseignées dans le Tableau 26. Elles sont le résultat de variations sédimentaires naturelles (apports de la Loire), sauf sur les stations Ref_RTE24/RTE24 qui sont sous l'influence du site d'immersion des sédiments de dragage du Grand Port Maritime de Saint Nazaire.

Tableau 26. Valeurs du GPBI obtenues entre 2020 et 2024 pour les stations expérimentales en fonction de leur station de référence.

Stations de référence	Stations test	Valeurs du GPBI					Evolution sédimentaire
		2013 (état initial)	2020 (état de référence)	2022 (Post-travaux)	2023 (Exploitation année 1)	2024 (Exploitation année 2)	
Ref_RTE38	RTE38		0,66	0,85	0,65	0,15	Pas de granulométrie en 2024
Ref_RTE41	RTE41		0,88	0,11	0,15	0,40	Hausse des sables fins dès 2022 sur la station de référence
Ref_RTE33	RTE33		0,01	0,31	0,92	0,18	Hausse des fractions sableuses sur les 2 stations à partir de 2022
Ref_RTE22	RTE22		0,97	0,17	0,44	0,13	Hausse des fractions sableuses en 2022 et 2024 sur la station de référence
Ref_RTE24	RTE24		0,11	0,32	0,27	0,15	Disparition de la vase en 2023 sur la station de référence
Ref_RTE18	RTE18		0,72	0,34	0,54	0,72	Variations des fractions de sables fins
Ref_RTE12	RTE12		0,52	-	-	0,28	Peu de variations
Ref_RTE08	RTE08		0,87		0,91	0,81	Peu de variations

3.3.2 Suivi des peuplements et habitats des substrats rocheux

3.3.2.1 Suivi 2024

3.3.2.1.1 Analyse faunistique des prélèvements (quadrats)

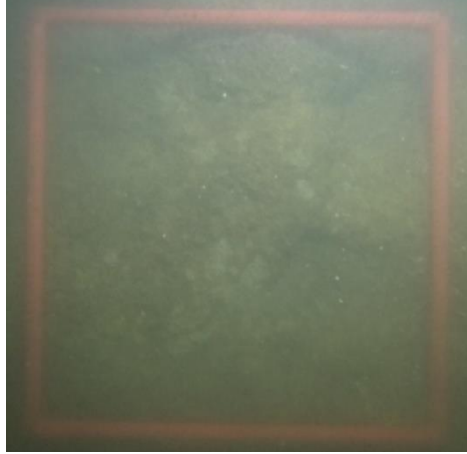


3.3.2.1.1.1 Recouvrements faunistique et floristique

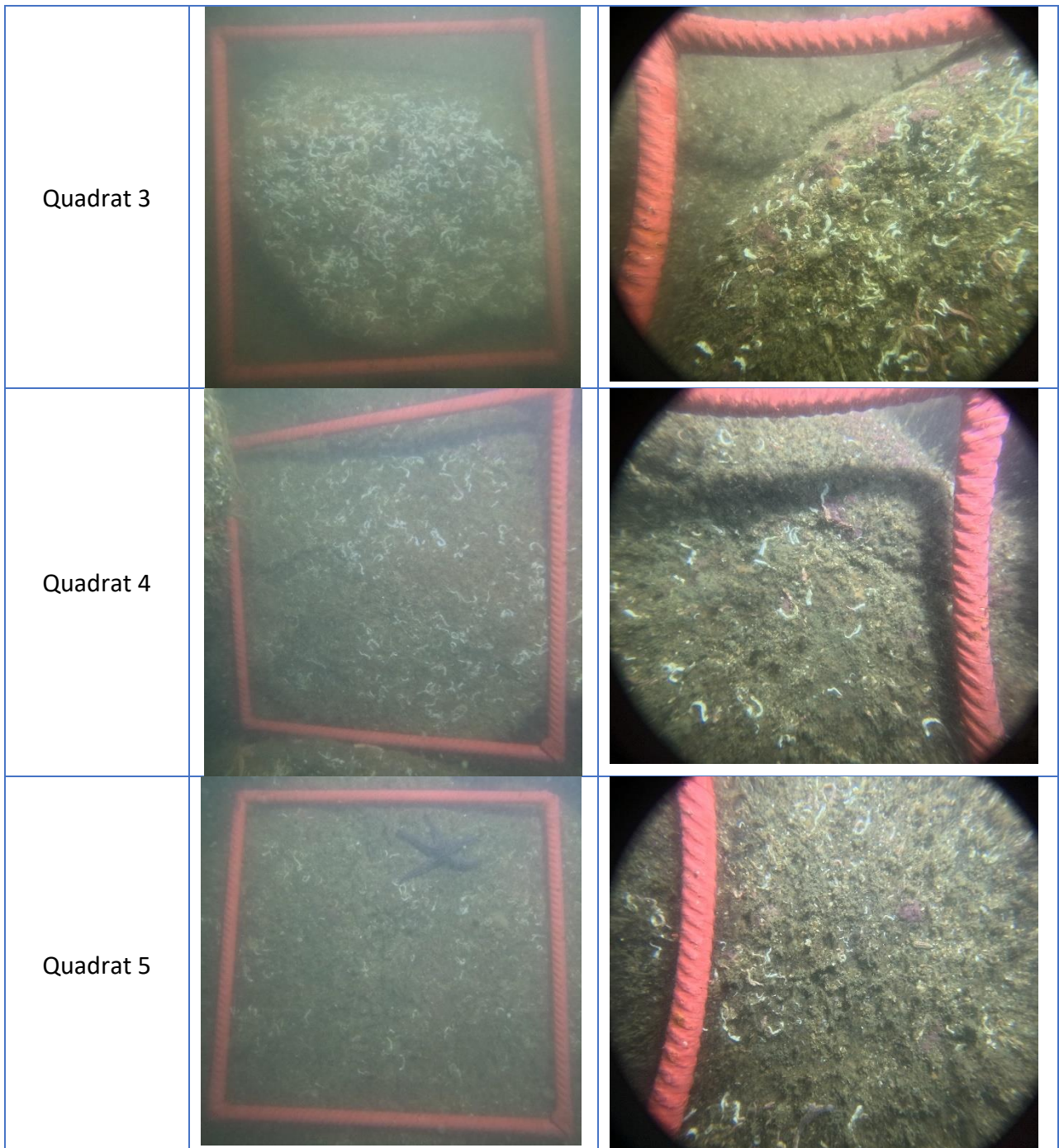
Station Lambarde

Sur la station Lambarde (échantillonnée à -8 m C. M.), localisée au sud du plateau rocheux de la Lambarde, les roches sont tapissées de placages sédimentaires de sables grossiers (Tableau 27). Leurs recouvrements sont dominés par des feutrages animaux tels que des bryozoaires (*Crisia* sp) et des éponges (*Haliclona* sp., *Phorbas* sp., *Antho* sp.). Les algues rouges et les algues calcaires encroûtantes sont minoritaires. La roche est également couverte par le vers tubicole *Spirobranchus triqueter*.

Les mesures relatives aux macro-algues (étagement et quadrats) n'ont pas pu être réalisées sur la station Lamb car aucune algue structurante n'était présente.

Tableau 27 : Photographies des quadrats échantillonnés sur les substrats rocheux de la station Lambarde (© TBM environnement).

Numéro du quadrat	Photo du quadrat	Zoom
Quadrat 1		
Quadrat 2		



Station B2

Sur la station Banche (B2, échantillonnée à -4 m C.M.), localisée au sud-est du plateau de la banche, les algues rouges et les algues calcaires sont davantage représentées (Tableau 29). Les algues rouges foliacées sont majoritaires sur cette station et recouvrent jusqu'à un quart du quadrat. Des poches de dépôts sédimentaires sont également observées. L'épifaune sessile est diversifiée et comprend des hydraires (*Serturella* sp.), des anthozoaires (*Alcyonium digitatum*), des espèces d'anémones et des éponges. La faune vagile est dominée par des mollusques gastéropodes, des crustacés décapodes et des arthropodes.

Les macro-algues structurantes suivantes ont été observées au sein des cinq quadrats, à hauteur d'un individu (Tableau 28): *Laminaria digitata*, *Sacchorhiza polyschides*, *Dictyopteris*




polypodioides. En outre, 2 individus de *Laminaria hyperborea* et quatre individus de *Halidrys siliquosa* ont été échantillonnés.

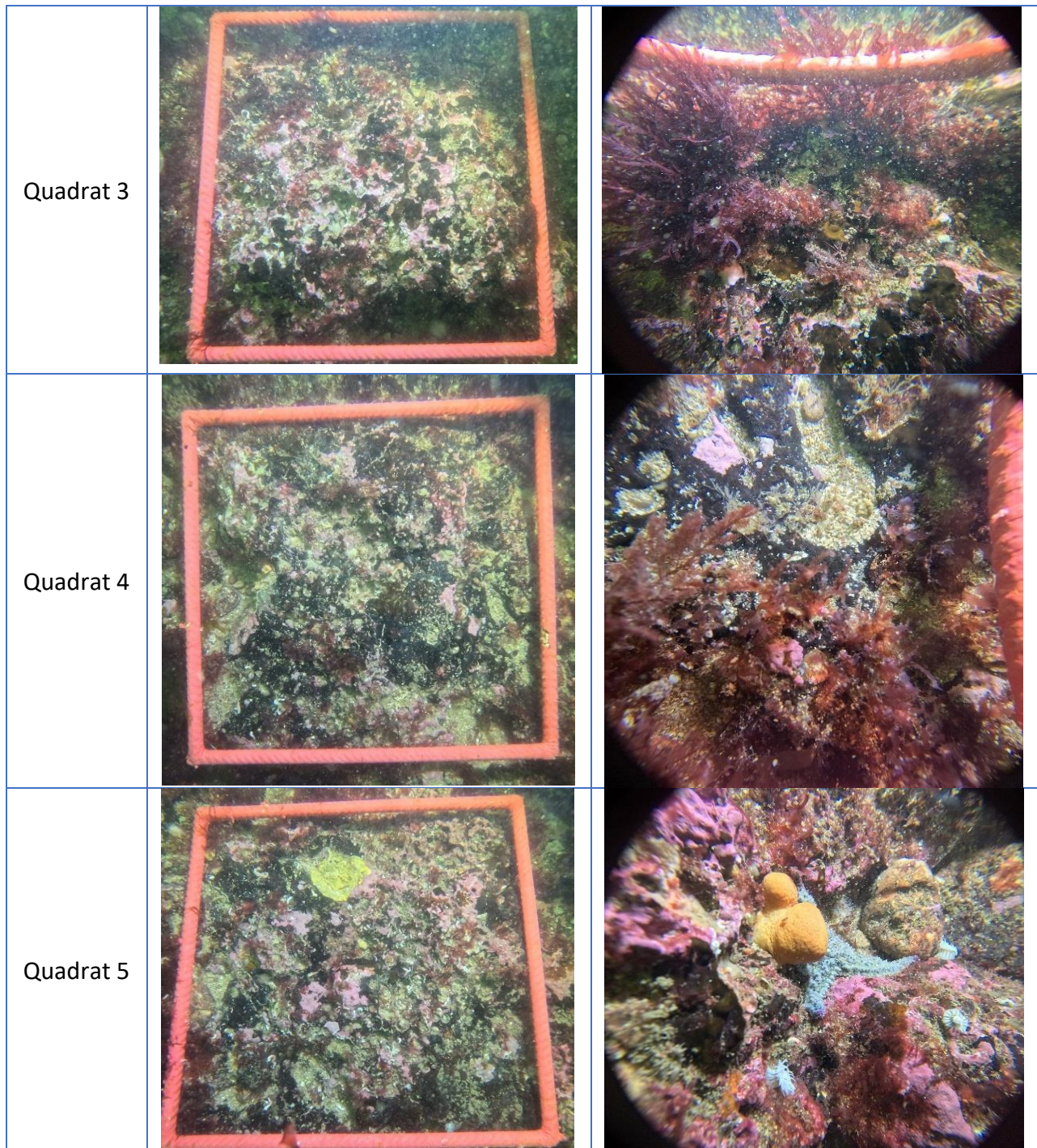
Tableau 28 : Effectifs (nombre d'individus) des macro-algues observées sur les quadrats échantillonnés sur le niveau N2.

N° de quadrat	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Laminaria hyperborea</i>	<i>Saccharina polyschides</i>	<i>Halydris siliquosa</i>	<i>D. polypodioides</i>
1		2			
2	1				
3					1
4				3	
5			1	1	

En ce qui concerne les mesures effectuées sur dix individus de *Laminaria hyperborea*, la longueur moyenne des stipes atteint $10,7 \pm 10,4$ cm. La majorité des individus (7) présente une couverture d'épiphytes de l'ordre de 0 – 5 %, deux ont une couverture de 5 – 25 % et un de 25-50 %. Enfin, le pourcentage de recouvrement par des nécroses a été estimé à 0 – 5 % sur 6 individus, 5 – 25 % sur deux individus, 25 - 50 % sur un individu et de 75 à 100 % sur un autre.

Tableau 29 : Photographies des quadrats échantillonnés sur les substrats rocheux de la station B2 (© TBM environnement).

Numéro du quadrat	Photo du quadrat	Zoom
Quadrat 1		
Quadrat 2		



3.3.2.1.1.2 Faune vagile et sessile

Sur l'ensemble des échantillons analysés, rassemblant les stations Lambarde et B2, **1203 individus** ont été dénombrés et **98 taxons** faunistiques ont été identifiés.

Les abondances moyennes des stations Lambarde et Banche sont de 1104 ± 530 ind/m² et 1432 ± 654 ind/m², respectivement (Figure 69). La station B2 abrite des peuplements plus denses que la station Lambarde. Les abondances totales des espèces sont présentées sur la Figure 70. L'abondance du gastéropode *Tricolia pullus*, espèce agrégative, est également représentée et constitue 13 % des effectifs totaux de la station B2.

Concernant les richesses spécifiques moyennes, les valeurs des stations sont relativement proches (Figure 71). B2 abrite en moyenne 26 ± 4 espèces et Lambarde 27 ± 7 espèces. Au total, 74 taxons ont été échantillonnés sur la station Lambarde contre 55 taxons sur la station B2 pour un total de 98 observés. Seuls les taxons dénombrables sont présentés, l'épifaune sessile n'est donc comptabilisée que dans le paramètre de richesse spécifique.

Prélèvements quadrats

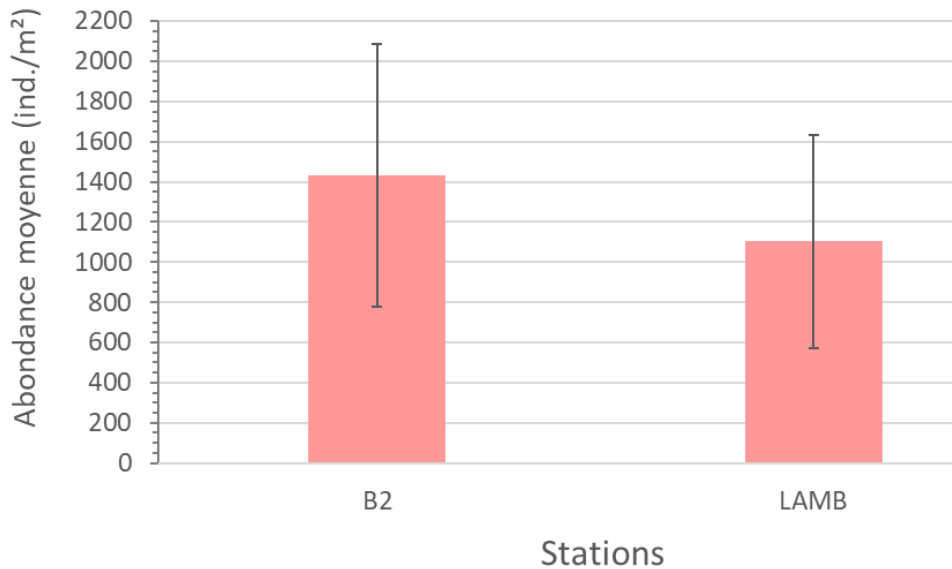


Figure 69 : Abondance moyenne (ind/m²) sur les stations de substrat rocheux Banche (B2) et Lambarde. L'épifaune sessile n'est pas présentée car indénombrable.

Prélèvements au sein de quadrats

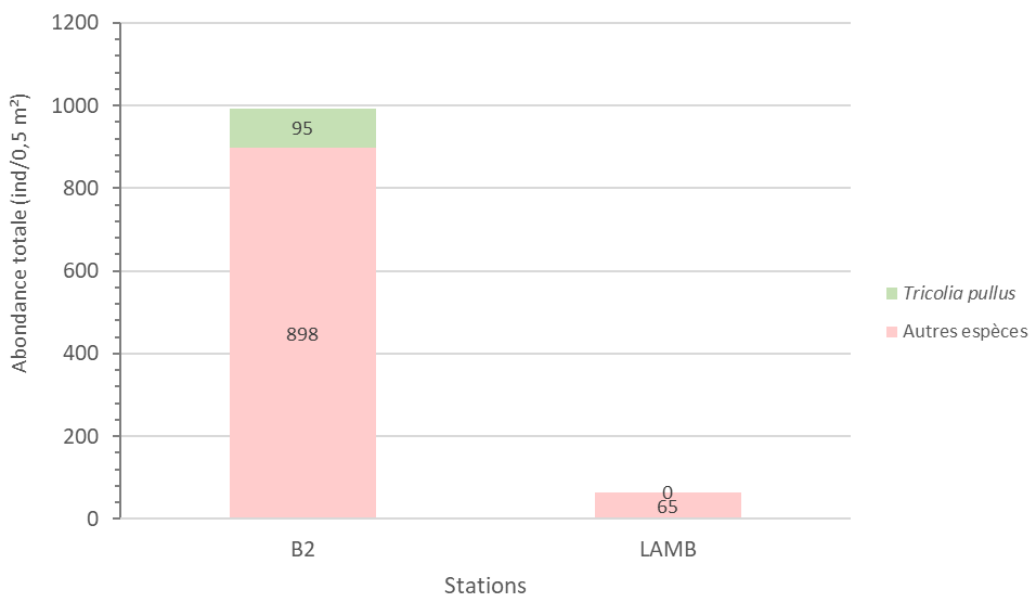


Figure 70. Abondance totale (ind/0,5 m²) des communautés benthiques subtidales de substrat rocheux sur les stations échantillonnées par quadrat.

Prélèvements quadrats

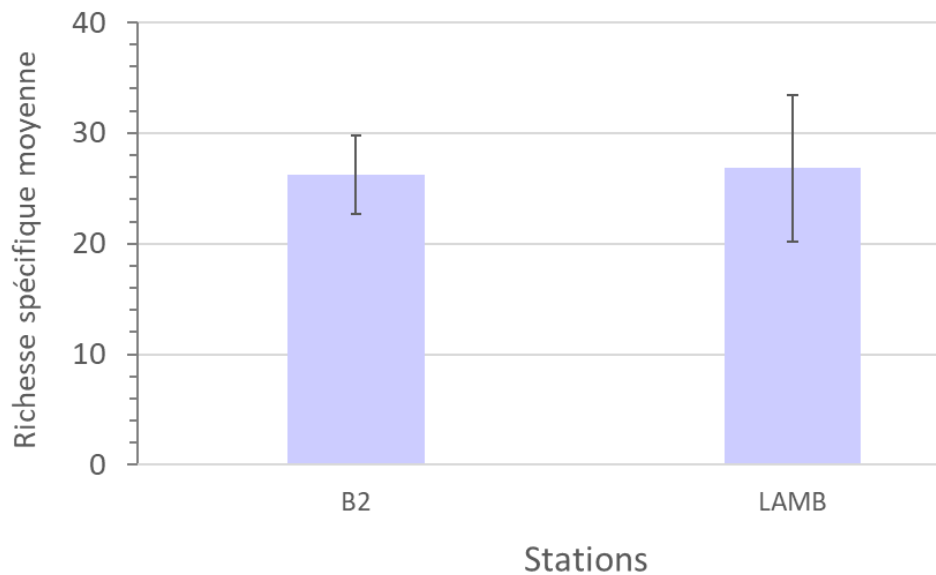


Figure 71 : Richesse spécifique moyenne (nombre d'espèces) sur les stations de substrat rocheux Banche (B2) et Lambarde.

La répartition des groupes taxonomiques en fonction de leurs effectifs est présentée sur la Figure 72.

Sur la station Lambarde, le groupe des polychètes domine les effectifs, à hauteur de 39 %, suivi de près par le groupe des échinodermes (25 %). Les abondances des polychètes sont dominées par les effectifs du polychète *Spirobranchus triqueter* dont les tubes tapissent la roche. Quelques hermelles épineuses (*Sabellaria spinulosa*) sont également présentes. Un total de 21 individus a été collecté au sein de trois quadrats. Concernant les échinodermes, l'holothurie *Ocnus planci* est fortement représentée ainsi que l'ophiure *Amphipholis squamata*.

Sur la station B2, la distribution des groupes taxonomiques est différente. Les crustacés sont largement dominants et rassemblent 63 % des organismes échantillonnés. Ils comprennent le Bernard-l'hermite *Anapagurus hyndmanni*, le chiton *Acanthochitona fascicularis*, des amphipodes (*p.ex. Photis longicaudata*) et des cumacés (*p.ex. Iphinoe trispinosa*).

La répartition des groupes taxonomiques en fonction de leurs richesses taxonomiques est présentée sur la Figure 73.

Les richesses taxonomiques des deux stations sont relativement similaires. Le groupe des crustacés est le plus diversifié sur les deux stations : 35 % sur Lambarde et 47 % sur B2. Les polychètes et les mollusques forment les seconds groupes comprenant le plus d'espèces. Les éponges ont été exclusivement identifiées sur la station Lambarde.

Prélèvements quadrats

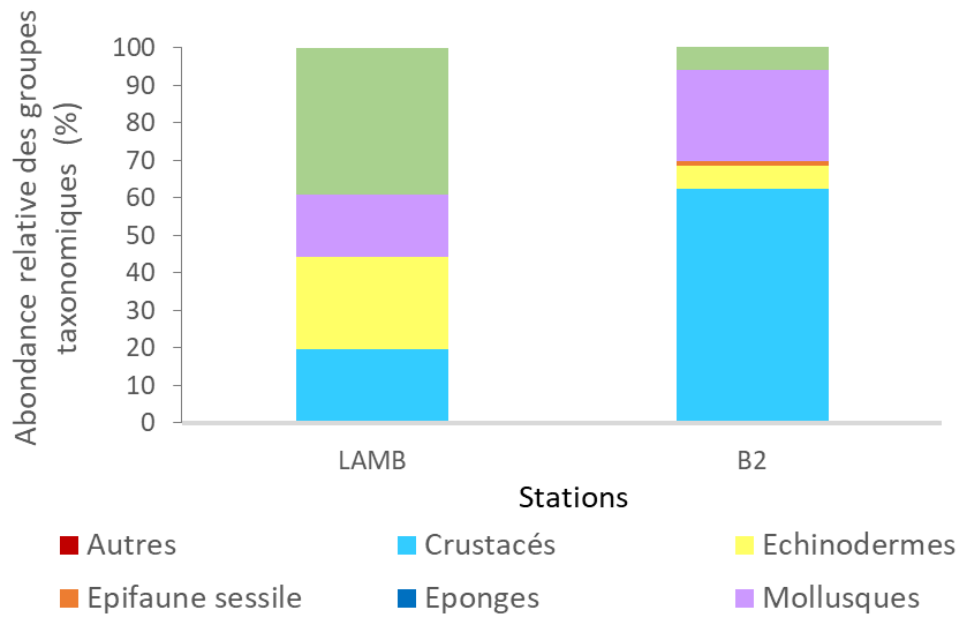


Figure 72 : Abondance relative (%) des groupes taxonomiques sur les stations subtidales de substrat rocheux.

Prélèvements quadrats

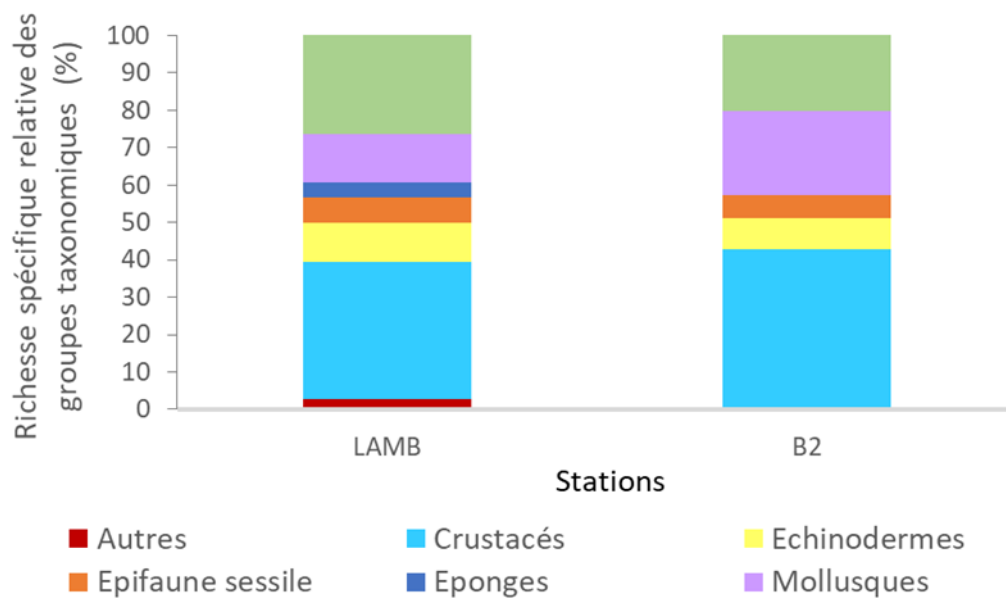


Figure 73 : Richesse spécifique relative (%) des groupes taxonomiques sur les stations subtidales de substrat rocheux.

La classification ascendante hiérarchique des stations et de leurs réplicats est présentée sur la Figure 74. Cette dernière met en évidence une différence significative entre les stations LAMB et B2, chacune appartenant à un groupe distinct. Au total, la CAH isole 3 groupes et sous-groupes détaillés ci-après.

Dans le groupe 1, isolant les réplicats de la station B2, deux sous-groupes sont présents :

- Le sous-groupe 1.1 qui isole le réplicat B2_2.
- Le sous-groupe 1.2 qui isole les 4 autres réplicats de la station.

Le réplicat B2_2 est isolé en raison de ses faibles effectifs (50 ind/0,1m²) contre des effectifs variant de 113 à 219 ind/0,1m² pour les autres réplicats. Ces derniers sont caractérisés par des effectifs élevés du gastéropode *Tricolia pullus*, qui affectionne la partie inférieure des estrans rocheux (Le Mao et al., 2020). Ce dernier se nourrit des algues rouges, abondantes sur la station B2. Les arthropodes sont également caractéristiques de la station. L'isopode *Cymodoce truncata* est bien représenté et affectionne les crevasses rocheuses colonisées par les algues, l'amphipode *Nototropis swammerdamei* (Le Mao et al., 2020) est également abondant et électif des fonds rocheux peu profonds. On retrouve en outre les amphipodes *Caprella penantis*, *Jassa falcata* et le décapode *Pisidia longicornis*. Quelques spécimens de ces espèces sont présentés sur la Figure 75.

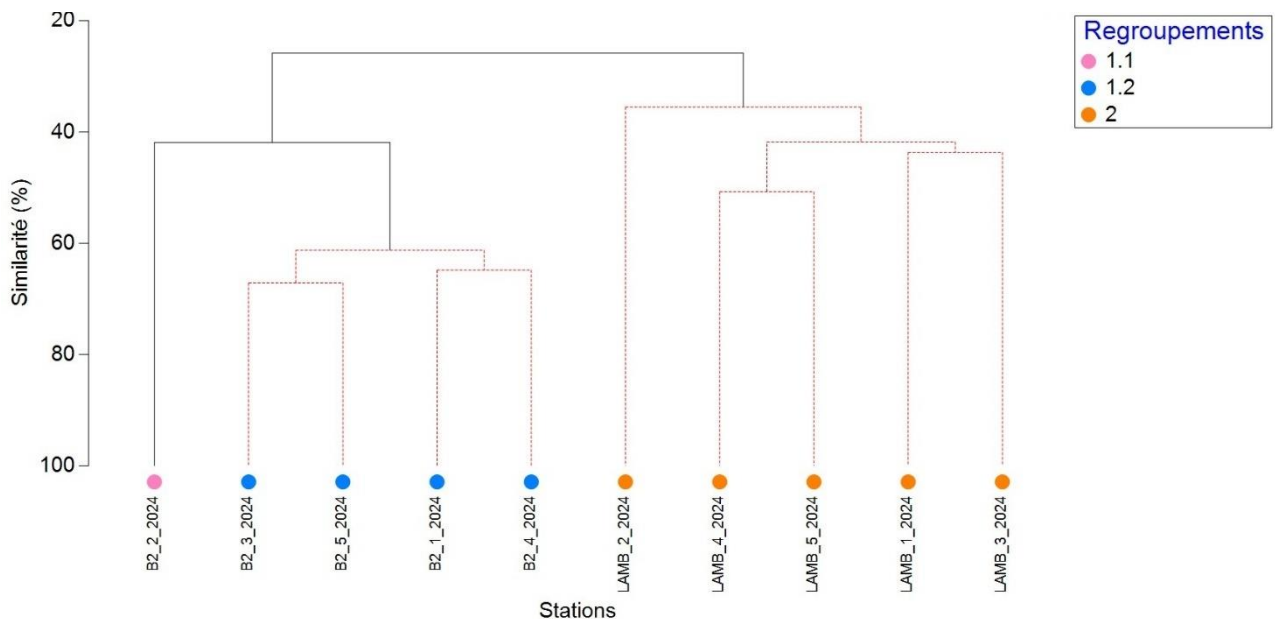


Figure 74 : Classification ascendante hiérarchique (CAH) effectuée sur les stations et réplicats des substrats rocheux subtidales. Les lignes en pointillés rouges indiquent qu'il n'existe pas de différence significative entre les échantillons (test SIMPROF)



Figure 75 : De gauche à droite : *Tricolia pullus*, *Cymodoce truncata* et *Pisidia longicornis* (© TBM environnement)

Le groupe 2 rassemble les réplicats de la station Lambarde. Tous les réplicats appartiennent au même groupe et ne sont pas significativement différents. Ils sont définis par des abondances élevées du polychète tubicole *Spirobranchus triqueter* et par de nombreux échinodermes tels que : l'ophiure *Amphipholis squamata*, l'oursin *Psammechinus miliaris*, et l'étoile de mer

Asterias rubens. Le mollusque bivalve *Pavicardium ovale* est également observé. Quelques-unes des espèces susmentionnées sont illustrées sur la Figure 76.



Figure 76 : De gauche à droite : *Spirobranchus triqueter* hors de son tube, *Amphipholis squamata*, *Psammechinus miliaris*, *Asterias rubens* (© TBM environnement)

3.3.2.1.2 Analyse des transects vidéo

Un descriptif des données recueillies lors du visionnage des six transects vidéo des stations Lambarde et B2 est présenté dans le Tableau 30.

Tableau 30 : Caractéristiques biologiques des transects vidéo échantillonnés sur la station Lambarde.

Station	Profondeur (m)	Caractéristiques du milieu
Lambarde	10 - 12	Blocs rocheux tapissés de sédiments fins et d'un feutrage animal dominé par des hydraires et des amphipodes et quelques éponges. Densité moyenne d' <i>Asteria rubens</i> et de <i>Spirobranchus triqueter</i> . Faible couverture d'algues encroûtantes corallinacées et d'algues rouges dressées.
B2	12	Couverture d'algues rouges foliacées avec placages sédimentaires de sables grossiers et algues encroûtantes corallinacées. Densité moyenne d' <i>Asteria rubens</i> et de <i>Marthasterias glacialis</i> . Présence de colonies de bryozoaires et d'anémones (<i>Actinothoe sphyrodeta</i>). Présence de spongiaires (<i>Cliona celata</i>).

3.3.2.1.3 Habitats inventoriés et espèces à enjeu de conservation

La définition des habitats rocheux s'est appuyée sur les données recueillies lors des transects vidéo, ainsi que sur les annotations des plongeurs, sur les photographies des quadrats et sur les analyses faunistiques et floristiques.

En milieu subtidal, l'étage infralittoral rocheux peut être caractérisé par des forêts à laminaires mixtes denses ou par des zones à laminaires mixtes clairsemées. Ces forêts indiquent la présence d'une strate arbustive développée avec des laminaires pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur. Les espèces de laminaires couramment observées sont *Laminaria hyperborea* et *Saccorhiza polyschides*. La première espèce est la composante essentielle des forêts de laminaires alors que la seconde est une opportuniste et colonise les endroits où *Laminaria hyperborea* ne peut pas se maintenir et où les laminaires ont été exploitées.

Station Lambarde

La station Lambarde est caractérisée par des blocs rocheux tapissés d'un feutrage animal, lui-même recouvert d'un voile de sédiments fins. Les espèces dominantes sont des bryozoaires (*Crisia* sp. et *Scrupocellaria* spp.). L'épifaune sessile comprend également des hydraires et des spongiaires. Le milieu est associé à une très faible présence d'algues rouges foliacées, seuls quelques rares plaquages d'algues rouges corallinacées sont observés. Concernant la faune vagile, de nombreuses étoiles de mer telles que *Asterias rubens* et plus rarement *Marthasterias glacialis* sont présentes, ainsi que l'oursin *Echinus esculentus*. Quelques spécimens du cnidaire anthozoaire *Eunicella verrucosa* ont également été observés. Des illustrations sont présentées en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Le code NatHab-Atl est : B1-6 « Roches et blocs infralittoraux à dominance animale ».

Station B2

La station B2 est caractérisée par une couverture assez dense d'algues rouges foliacées couplée à des algues corallinacées. La roche est également tapissée de poches sédimentaires. L'épifaune sessile est plus diversifiée que sur la Lambarde et comprend des hydraires (*Serturella* sp.), des anthozoaires (*Alcyonium digitatum*), des espèces d'anémones (*Actinothoe sphyrodeta*) et des éponges (*Cliona celata*). La faune vagile est dominée par des mollusques gastéropodes, des crustacés décapodes et des arthropodes, ainsi que des échinodermes (*Aslia lefevrei*, *Asterias rubens*). Des illustrations du site sont présentées en Figure 78.

Les années précédentes, la station B2 abritait l'habitat B1-4.1 « Roches ou blocs infralittoraux à laminaires clairsemées dominées par *Laminaria hyperborea* ». Cependant en 2023, *Laminaria hyperborea* a été remplacée par *Saccorhiza polyschides*.

En 2024, le milieu n'est plus du tout dominé par les macro-algues structurantes. L'habitat principal observé est donc : **B1-2.2.1 Roches ou blocs infralittoraux à algues rouges foliacées**. Le changement d'habitat de B2 découle potentiellement des déplacements sédimentaires importants qui ont été enregistrés en 2024, à l'origine d'une turbidité défavorable à l'implantation des macro-algues structurantes. Seuls quelques rares pieds d'*Halydris siliquosa* ont été observés.

En 2024, les stations RTE_R01 et Ref_RTE01 n'ont pas pu être échantillonnées. Pour rappel, en 2023, l'habitat observé était : **C1-3 « Roches ou blocs circalittoraux côtiers à communautés faunistiques de forts courants ».**

Cet habitat circalittoral est caractérisé par la présence d'algues sciaphiles, par la présence de quelques oursins *Echinus esculentus* et par une belle diversité de faune fixée. La dominance de la faune fixée sur les algues est croissante en fonction de la profondeur. La faune fixée est caractérisée par une grande variété 1) de cnidaires appartenant aux anthozoaires comme *Alcyonium digitatum* et *Corynactis viridis* et 2) d'éponges comme *Cliona celata*, *Pachymatisma johnstonia*, *Haliclona* spp. Cet habitat témoigne d'un hydrodynamisme intense.

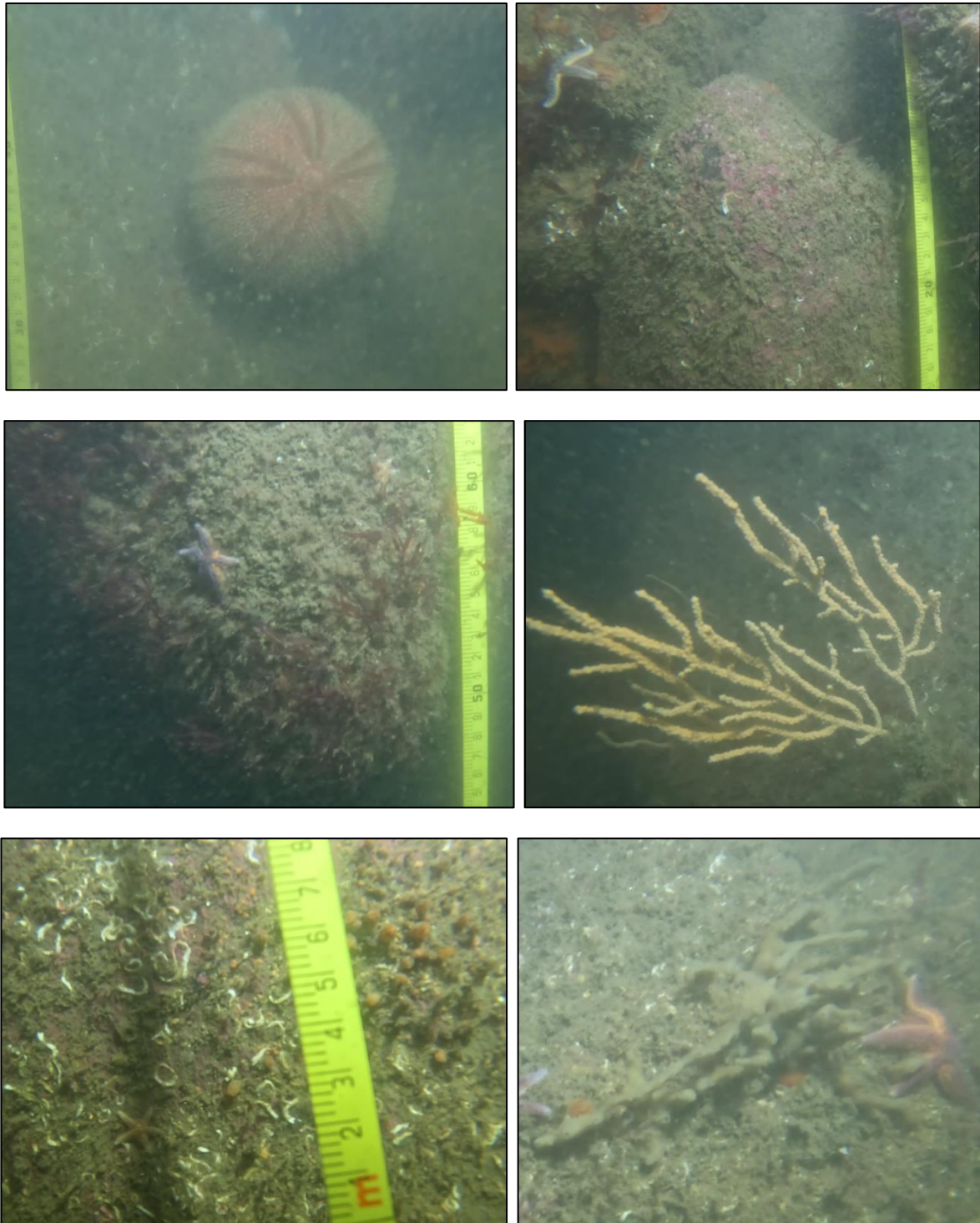


Figure 77 : Exemple de photos au niveau de la station Lambarde.

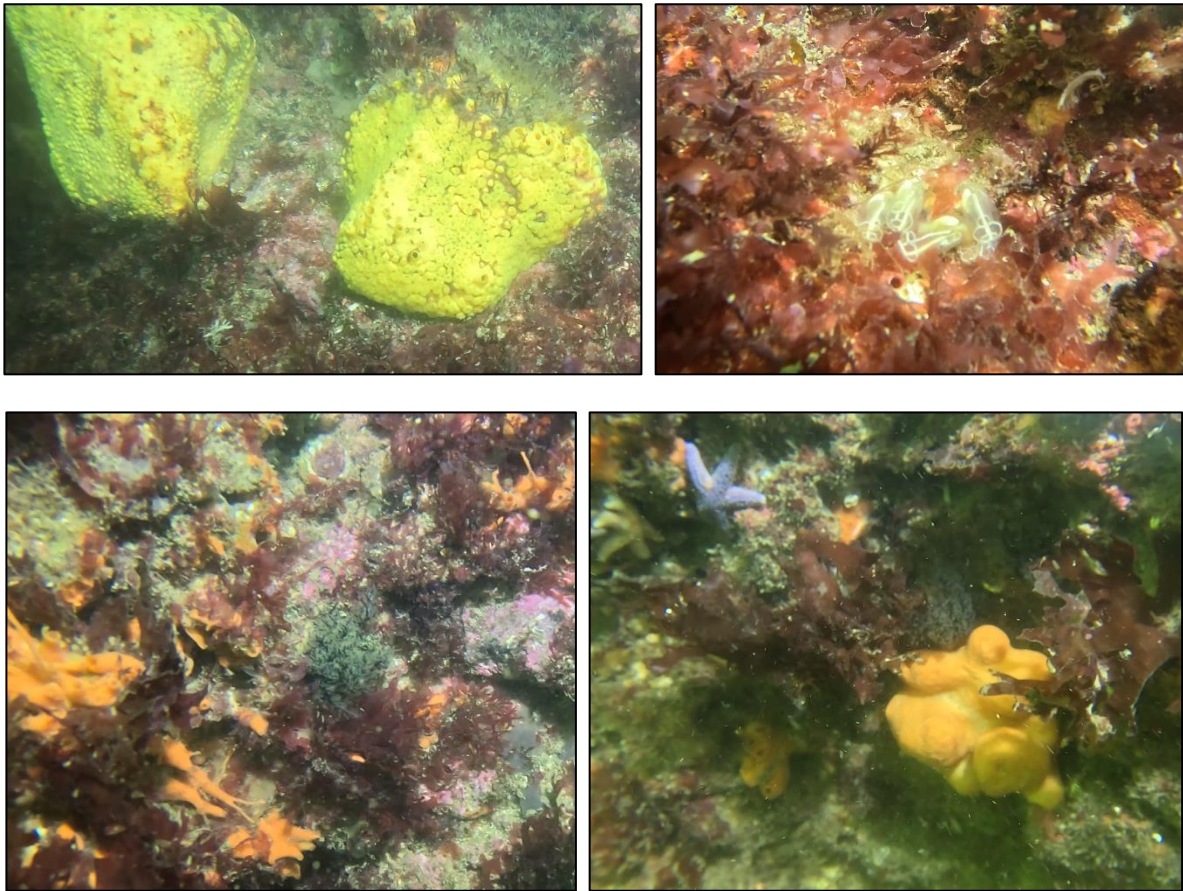


Figure 78 : Exemple des fonds observés sur la station B2. En haut à gauche, *Cliona celata* et à droite *Clavellina lepadiformis*. En bas à gauche, panache de *Aslia lefevrei* (échinoderme) et éponge *Amphilectum fucorum*, à droite *Asterias rubens* (étoile de mer) et éponge *Alcyonium digitatum* (© TBM environnement).

3.3.2.2 Comparaison avec les données des suivis précédents

La station B2 est commune aux cinq campagnes de 2013, 2020, 2021, 2023 et 2024. La station Lambarde a été suivie en 2020, 2021, 2023 et 2024.

L'année 2024 est marquée par une forte diminution des abondances moyennes (Figure 79). Égales à 6768 ind/m² (station B2) et 8 256 ind/m² (station Lamb) en 2023, les abondances sont désormais cinq à sept fois inférieures en 2024. Néanmoins, ces valeurs ont été observées auparavant sur B2 en 2013 et sur Lamb en 2020 et sont donc cohérentes avec les états de référence.

De manière générale, sur la station B2, les abondances les plus élevées ont été observées entre 2020 (avant travaux) et 2021 (après-travaux) et ont commencé à diminuer à partir de 2023 et ce jusqu'en 2024, lors des suivis en phase d'exploitation.

Sur la station Lambarde, les hausses d'abondance sont plus modérées et interviennent à compter de 2021, en phase post-travaux. Tout comme sur B2, une légère diminution est observée à partir de 2023 et jusqu'à 2024. Cet écart sur la station B2 est principalement dû à la présence d'un nombre important de crustacés de l'espèce *Jassa falcata*, *Pisidia longicornis* ou *Cymodoce truncata* en 2020, 2021 et 2023 par rapport à 2013. L'écart entre 2020 et 2021 mis en évidence sur la station Lambarde est lié à la forte présence du gastéropode *Rissoa parva*, de l'échinoderme *Amphipholis squamata* et des amphipodes *Photis longicaudata*, *Corophium*

sextonae et *Jassa falcata*. En 2023, ce sont l'échinoderme *Amphipholis squamatra* et des crustacés *Jassa falcata* et *Pisidia longicornis* ainsi que le cnidaire *Corynactis viridis* qui sont bien échantillonnés. En 2024, les échantillonnages de ces espèces sont plus faibles et aucun pic d'abondance monospécifique n'est mis en évidence. Les pics d'abondance observés sur les stations sont causés par des espèces mobiles à l'origine d'agrégats ponctuels et locaux.

Prélèvements quadrats

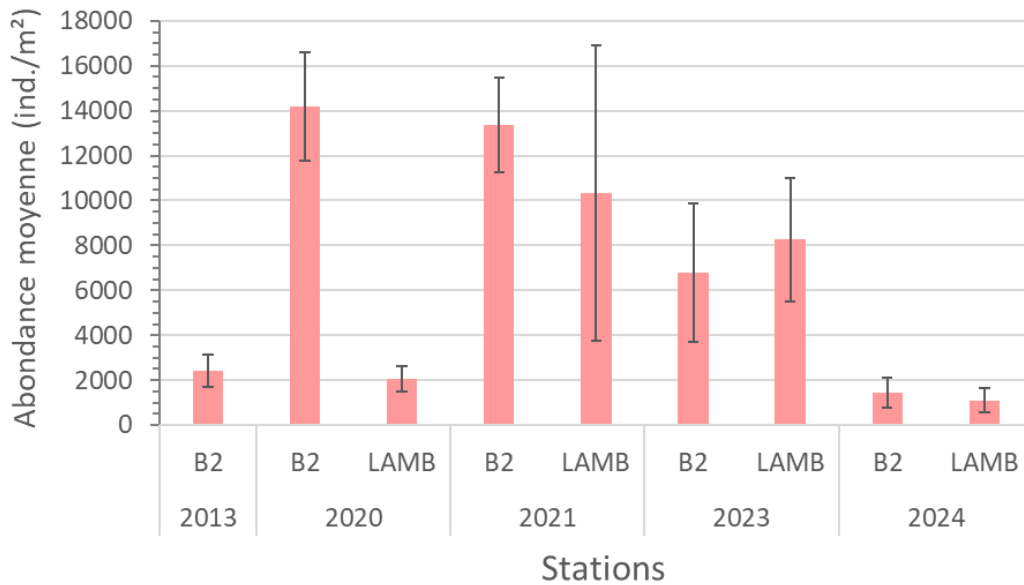


Figure 79 : Abondance moyenne (ind/m²) sur les stations de substrat rocheux Banche (B2) et Lambarde entre 2013 et 2024. L'épifaune sessile n'est pas présentée car indénombrable.

En termes de richesse spécifique, les différences interannuelles sont beaucoup moins marquées (Figure 80). Néanmoins, la baisse de diversité relevée en 2023 se poursuit en 2024. La richesse spécifique est passée d'une moyenne de 46 taxons entre 2013 et 2021 à 30 taxons sur les années 2023 et 2024.

Prélèvements quadrats

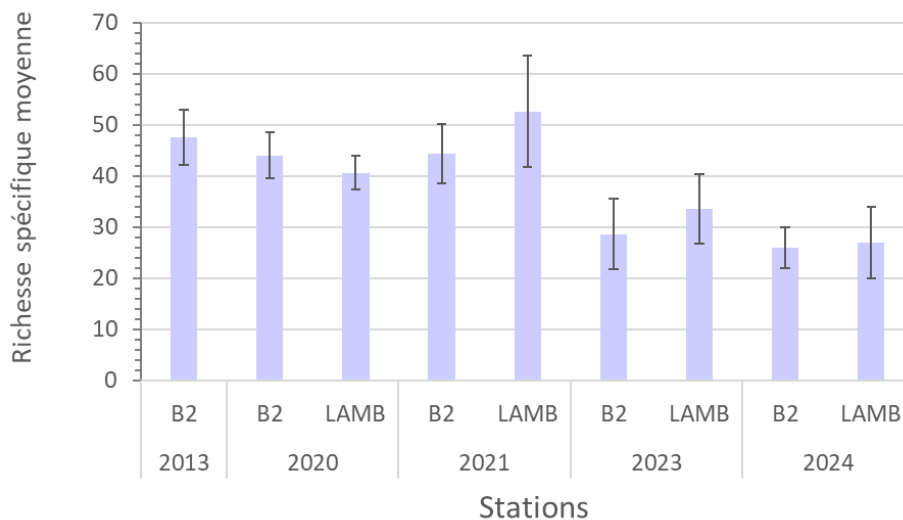


Figure 80 : Richesse spécifique moyenne sur les stations de substrat rocheux Banche (B2) et Lambarde entre 2013 et 2024. L'épifaune sessile est comptabilisée.

La Figure 81 présente les abondances totales de l'hermelle épineuse *Sabellaria spinulosa*. Cette dernière est une espèce à enjeu de conservation qui a également été échantillonnée au sein des substrats meubles, le long du raccordement. Une description détaillée des enjeux de conservation qui y sont associés est présentée en section 3.3.1.1.3.

Les abondances totales de l'hermelle épineuses *Sabellaria spinulosa* ont connu un pic en 2021 sur la station Lamb avec l'échantillonnage de 149 individus au sein des cinq quadrats. Toutefois, ces valeurs n'ont pas été retrouvées en 2023. En 2024, l'abondance totale de l'espèce est de 21 ind/0,5 m².

Prélèvements quadrats

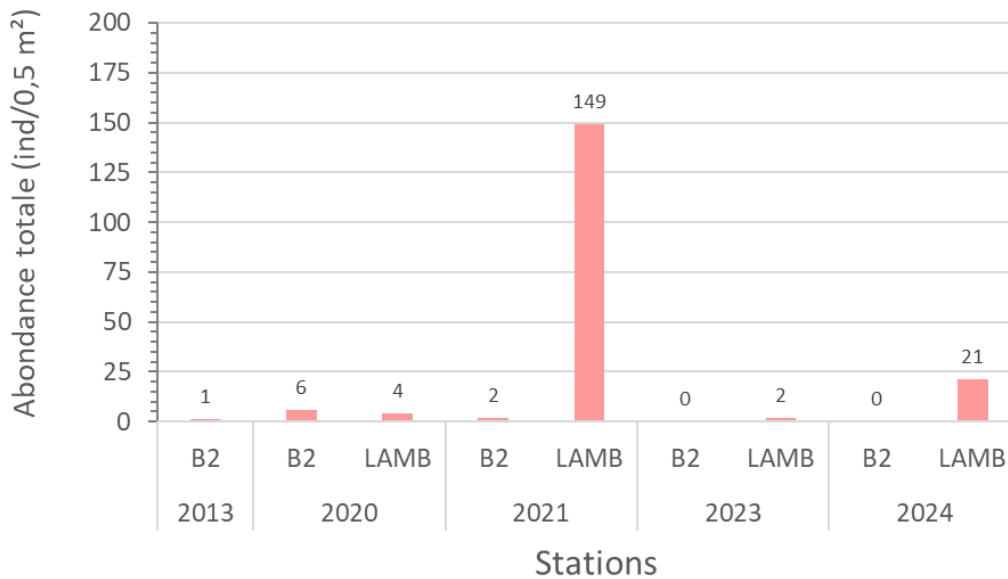


Figure 81 : Abondance totale (ind/0,5 m²) de *Sabellaria spinulosa* dans les communautés benthiques des stations B2 et LAMB entre 2013 et 2024 sur les substrats rocheux en zone subtidale.

3.3.3 Suivi des peuplements des zones d'encrochement

3.3.3.1 Suivi 2024

3.3.3.1.1 Station PK19.5

Sur la station PK19.5, un total de **5 856 individus** a été prélevé parmi lequel 62 taxons ont été identifiés (Figure 82).

Sur le plateau de la station PK19.5, l'abondance moyenne est de 478 ± 5480 ind/m², tandis qu'elle est de 694 ± 816 ind/m² sur la pente nord (Figure 83). La variation inter-réplicats est très élevée sur le plateau. Les abondances totales des réplicats réalisés sur la pente nord varient entre 556 ind/0,5 m² et 766 ind/0,5 m² (Figure 84). Sur le plateau, les écarts sont beaucoup plus marqués, les valeurs oscillant entre 29 ind/0,5 m² et 1 166 ind/0,5 m².



Figure 82 : Exemples de quadrats réalisés sur la station PK19.5, au niveau de la pente nord (à gauche) et le plateau (à droite) (© TBM environnement).

En ce qui concerne la richesse spécifique, la valeur moyenne atteint 19 ± 8 espèces sur la pente nord et 13 ± 4 espèces sur le plateau (Figure 85). Toute comme pour l'abondance, la pente nord est plus diversifiée que le plateau de l'encrochement et la variabilité inter-réplicats plus élevée. Les richesses spécifiques totales varient entre 13 et 32 espèces sur la pente nord et entre 6 et 17 espèces sur le plateau (Figure 86).

Comme en témoignent les écarts d'abondance et de richesse spécifique, le mode d'exposition influence l'établissement des communautés benthiques.

Prélèvements quadrats - Station PK19.5

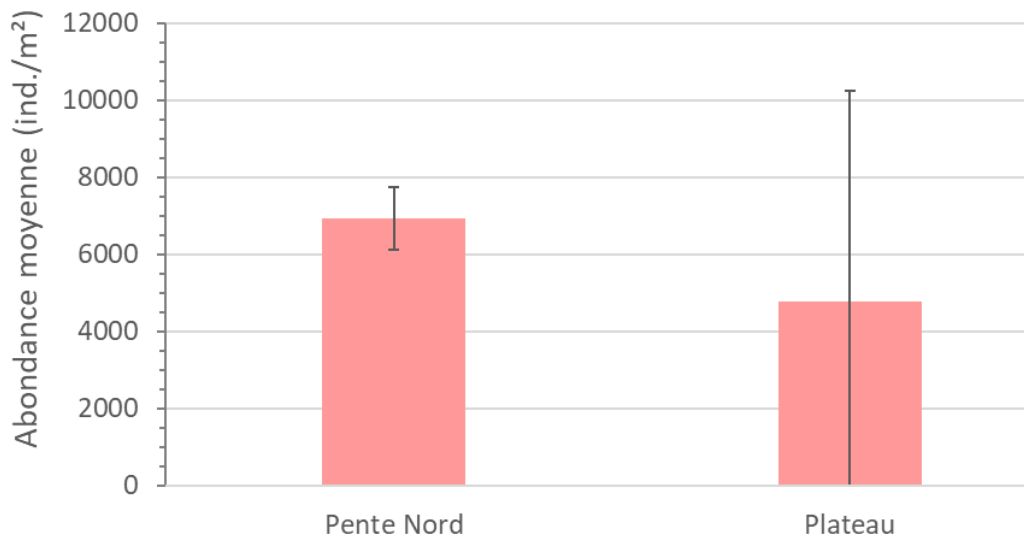


Figure 83 : Abondance moyenne (ind/m²) sur les quadrats échantillonnés sur la station PK19.5.

Prélèvements quadrats - Station PK19.5

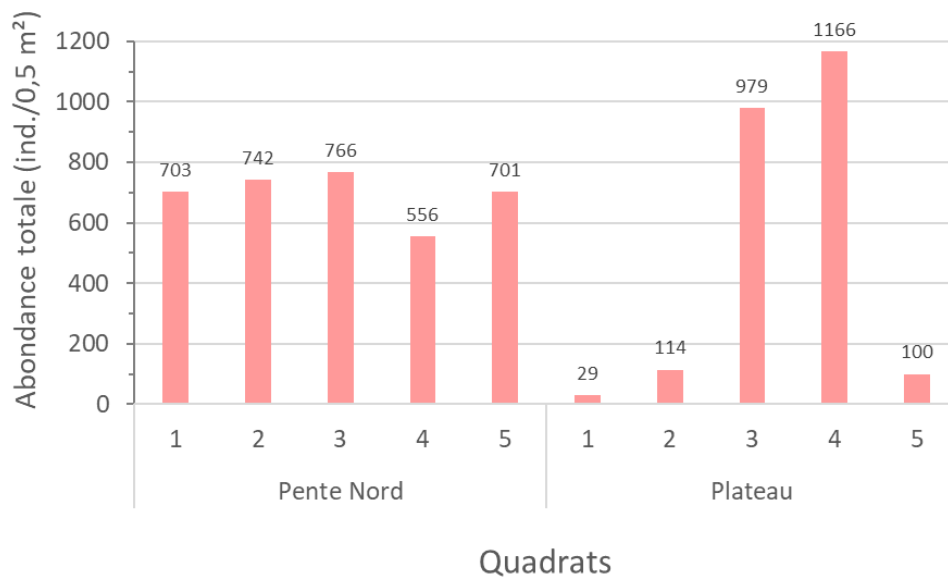


Figure 84 : Abondance totale (ind/0,5 m²) sur les quadrats échantillonnés sur la station PK19.5.

Prélèvements quadrats - Station PK19.5

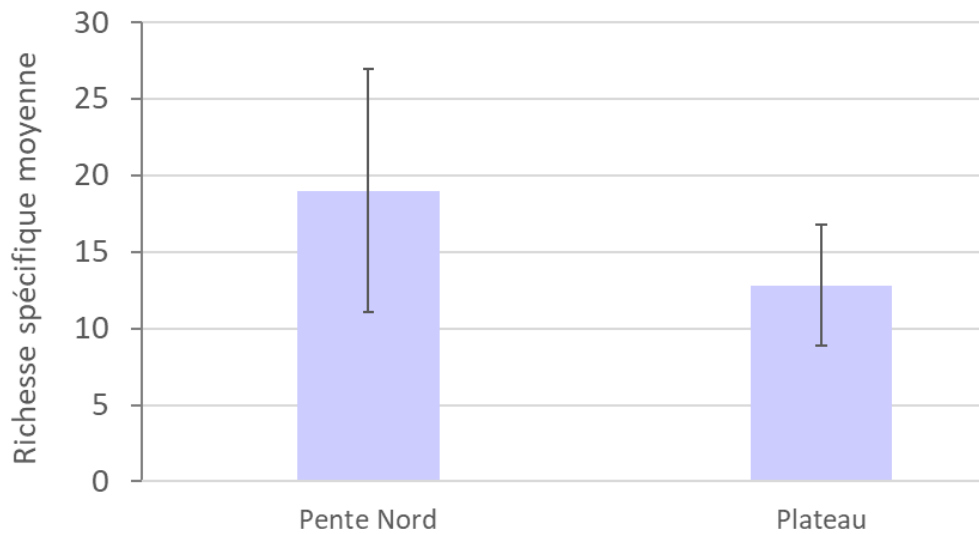


Figure 85 : Richesse spécifique moyenne (nombre d'espèces) des quadrats échantillonnés sur la station PK19.5.

Prélèvements quadrats - Station PK19.5

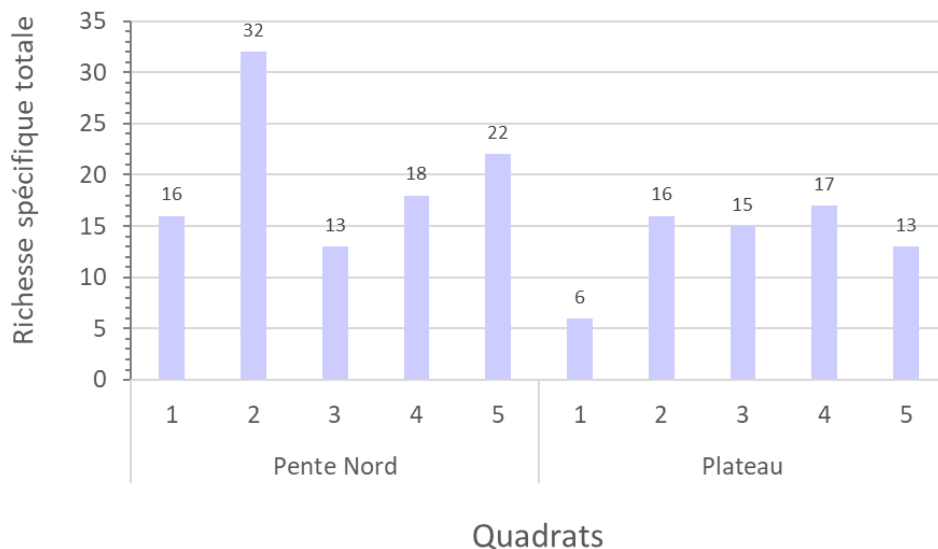


Figure 86 : Richesse spécifique totale (nombre d'espèces) des quadrats échantillonnés sur la station PK19.5.

L'analyse des groupes taxonomiques en termes d'abondance (Figure 87) révèle une dominance marquée des crustacés (36 %) sur la station PK19.5, aussi bien sur le plateau que la pente nord de l'enrochement. Cette dominance est liée aux pics d'abondance du cirripède *Verruca stroemia*, le balane irrégulier. Les polychètes constituent le second groupe dominant, et représentent 19 % des effectifs totaux, suivis des mollusques (3 %). L'exposition de l'enrochement ne semble pas affecter la composition des groupes taxonomiques.

En ce qui concerne la richesse spécifique relative, celle-ci est également dominée par les polychètes (31 %) et les crustacés (29 %) qui représentent plus de la moitié des espèces identifiées (Figure 88). L'épifaune sessile est également relativement diversifiée (11 %). La composition spécifique est similaire entre les deux zones de l'enrochement.

Prélèvements quadrats - Station PK19.5

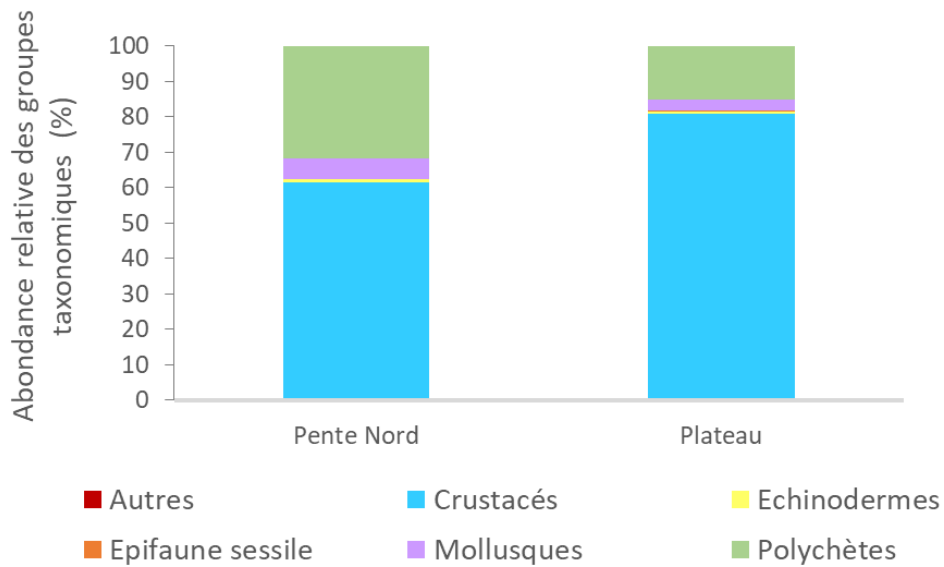


Figure 87 : Abondance relative (%) des groupes taxonomiques sur les stations subtidales de l’enrochement de la station PK19.5.

Prélèvements quadrats - Station PK19.5

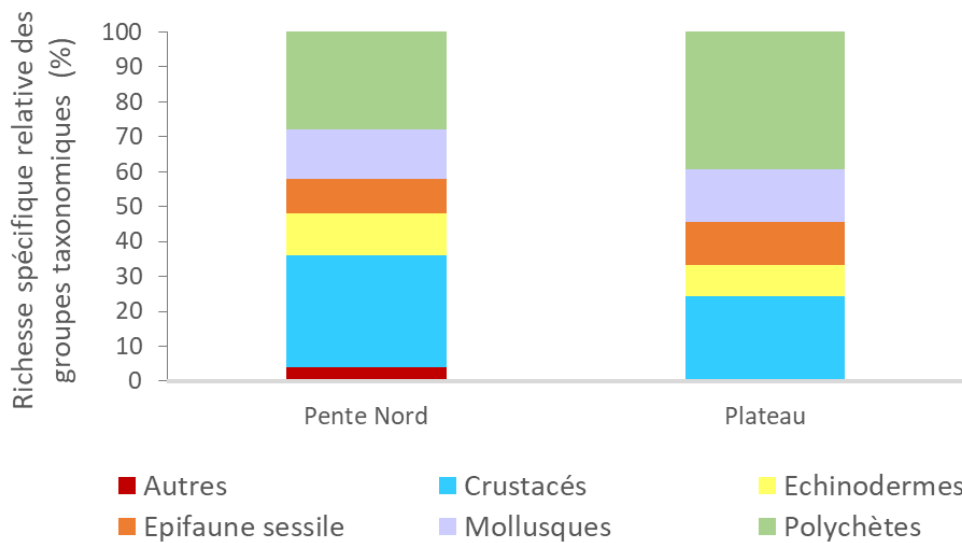


Figure 88 : Richesse spécifique relative (%) des groupes taxonomiques sur les stations subtidales de l’enrochement de la station PK19.5.

Sur la station PK19.5, les effectifs sont largement dominés par un pool de deux espèces : le crustacé cirripède *Verruca stroemia* et le polychète tubicole *Sabellaria spinulosa*. Cette seconde espèce a également été observée sur les substrats rocheux et quelques galets de la zone du raccordement. La Figure 89 illustre l’abondance relative de ces deux taxons relativement aux effectifs totaux relevés au sein des quadrats.

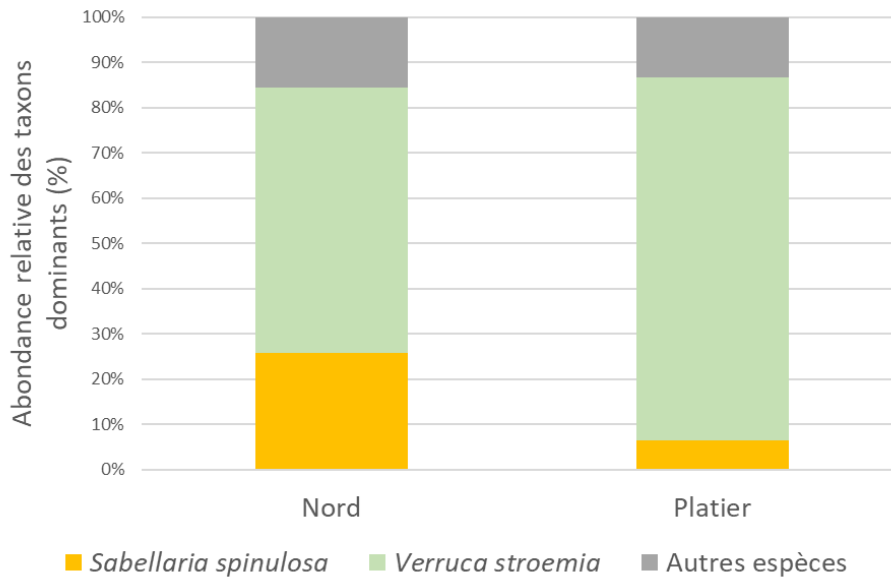


Figure 89 : Abondance totale et dominance du polychète *Sabellaria spinulosa*, et du cirripède *Verruca stroemia*.

Les transects vidéo réalisés mettent en évidence un recouvrement des enrochements dominé par un feutrage animal (Figure 90 à Figure 92). Les roches sont en effet tapissées de bryozoaires et, dans une moindre mesure, du polychète *Spirobranchus triqueter*. L'étoile de mer *Asterias rubens* est très présente et accompagnée de quelques oursins (*Echinus esculentus*). Quelques rares patches d'algues rouges foliacées sont observés. La pente sud abrite davantage de cnidaires (anémones de mer). En termes de faune vagile, l'enrochement abrite de nombreux juvéniles de tacaud (*Trisopterus luscus*), qui se dissimulent dans les cavités, ainsi que des labridés (possiblement *Ctenolabrus rupestris*).



Figure 90 : Fonds observés sur le plateau rocheux (© TBM environnement)



Figure 91 : Fonds observés sur la pente sud de l'enrochement, à droite présence de cnidaires (© TBM environnement)



Figure 92 : Fonds observés sur la pente sud de l'enrochement, de gauche à droite : *Asterias rubens*, juvéniles de tacauds et *Echinus esculentus* (© TBM environnement)

3.3.3.1.2 Station PK8.5

Seuls des galets ont pu être prélevés sur la station PK8.5. Leur couverture benthique a été identifiée afin de fournir un descriptif d'ordre qualitatif des peuplements. Des effectifs élevés du polychète *Sabellaria spinulosa* ont été comptabilisés (423 individus), accompagnés de *Spirobranchus* spp et de *Pisidia longicornis*, les trois espèces dominantes en 2021 et 2023. Ces données suggèrent des changements moins marqués que sur la station PK19.5.

Les transects vidéo réalisés mettent en évidence un recouvrement des enrochements dominé par un feutrage animal. Comme sur PK19.5, la couverture est dominée par des bryozoaires, des cnidaires (anémone *Actinothoe sphyrodeta*) et le polychète tubicole *Spirobranchus triqueter* (Figure 93). L'épifaune sessile est toutefois plus diversifiée que sur PK19.5. La roche est également recouverte de balanes et de quelques éponges du genre *Cellopora* sp, ainsi que de gastéropodes du genre *Calliostoma* sp. La faune vagile est moins abondante que sur PK19.5, un individu de *Necora puber* (étrille) a tout de même été observé, ainsi que la crevette bouquet *Palaemon serratus* et l'étoile de mer *Asterias rubens* (Figure 94).

Sur la pente est et l'interface de l'enrochement, les hermelles (*Sabellaria spinulosa*) sont abondantes (Figure 95). Sur l'interface, des individus du genre *Inachus* (crustacé décapode) ont été observés, ainsi que des gastéropodes nécrophages, possiblement de la famille des *Nassariidae* (Figure 96). Des poches sédimentaires y sont également mises en évidence.



Figure 93 : Fonds observés sur le plateau de l'enrochement, de gauche à droite : *Spirobranchus triqueter*, cnidaires (*Actinothoe sphyrodeta*) et balanes (© TBM environnement)

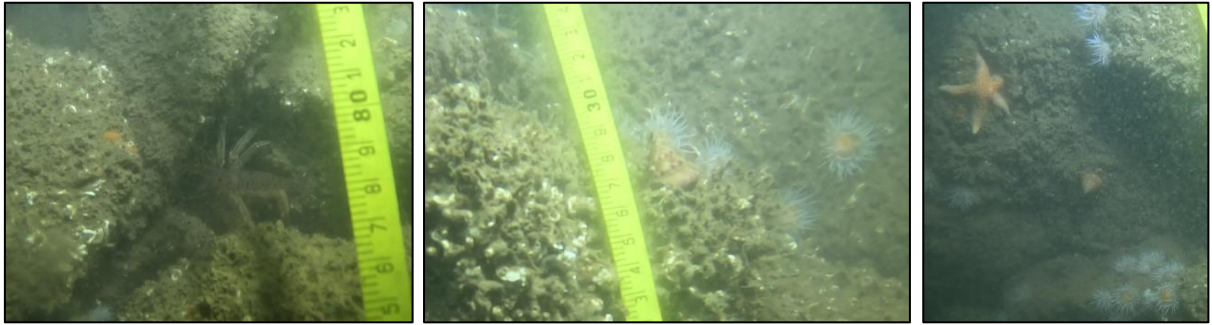


Figure 94 : Fonds observés sur le plateau de l'enrochement, de gauche à droite, crevette bouquet et étoile, *Calliostoma* sp et *Asterias rubens* (© TBM environnement).



Figure 95 : Présence de *Sabellaria spinulosa* sur la pente est de l'enrochement (© TBM environnement).

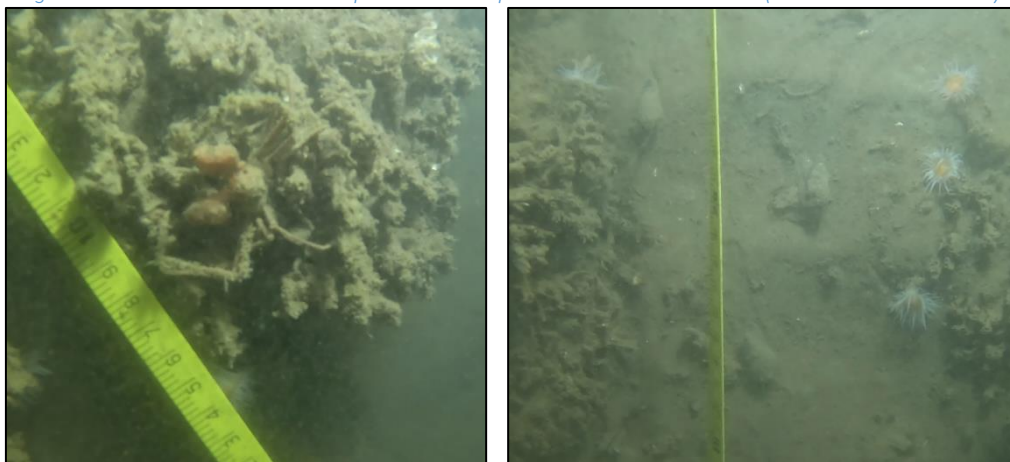


Figure 96 : Crustacé décapode et gastéropode au niveau des poches sédimentaires accumulées sur l'interface de l'enrochement (© TBM environnement).

3.3.3.2 Comparaisons avec les données des suivis précédents

La Figure 97 illustre les abondances moyennes relevées lors des suivis de 2021 à 2024. Sur la station PK19.5, la seule échantillonnée en 2024, une hausse des abondances est observée à la fois sur le plateau et la pente nord de l'enrochement. Les valeurs sont passées de 1 114 ind/m² en 2023 à 4 776 ind/m² en 2024 sur le plateau et de 2 446 ind/m² en 2023 à 6 396 ind/m² en 2024, sur la pente nord.

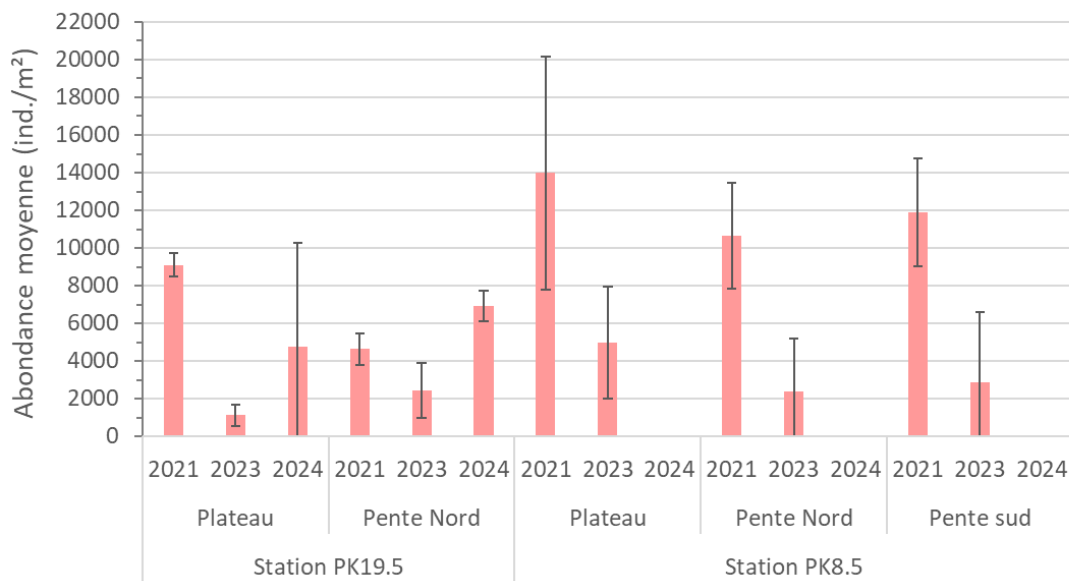


Figure 97 : Abondance moyenne (ind./m²) relevée sur les stations lors des suivis 2021, 2023 et 2024.

La Figure 98 illustre l'évolution de la richesse spécifique entre 2021 et 2024. Cette dernière a légèrement diminué entre 2023 et 2024 sur la station PK19.5, sur le plateau comme sur la pente Nord. Cette évolution découle des pics d'abondance de certains taxons qui colonisent le substrat et réduisent la surface disponible pour l'établissement d'autres espèces.

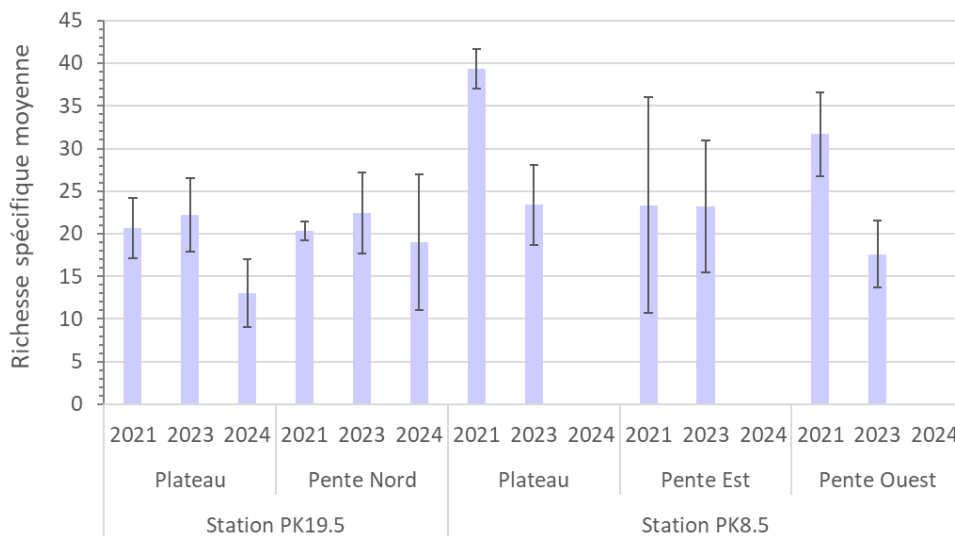


Figure 98 : Richesse spécifique moyenne (ind./m²) relevée sur les stations lors des suivis 2021, 2023 et 2024.

La Figure 99 illustre le changement de communautés entre les trois années de suivi. En 2021, les peuplements étaient très largement dominés par le polychète *Sabellaria spinulosa*. En 2023, une autre espèce de polychète, *Spirobranchus triqueter*, a vu ses effectifs augmenter et supplanter la population de *Sabellaria spinulosa*. L'année 2024 est marquée par l'apparition de *Verruca stroemia* parmi les taxons dominants. Leur fort développement peut être à l'origine du déclin de diversité observé.

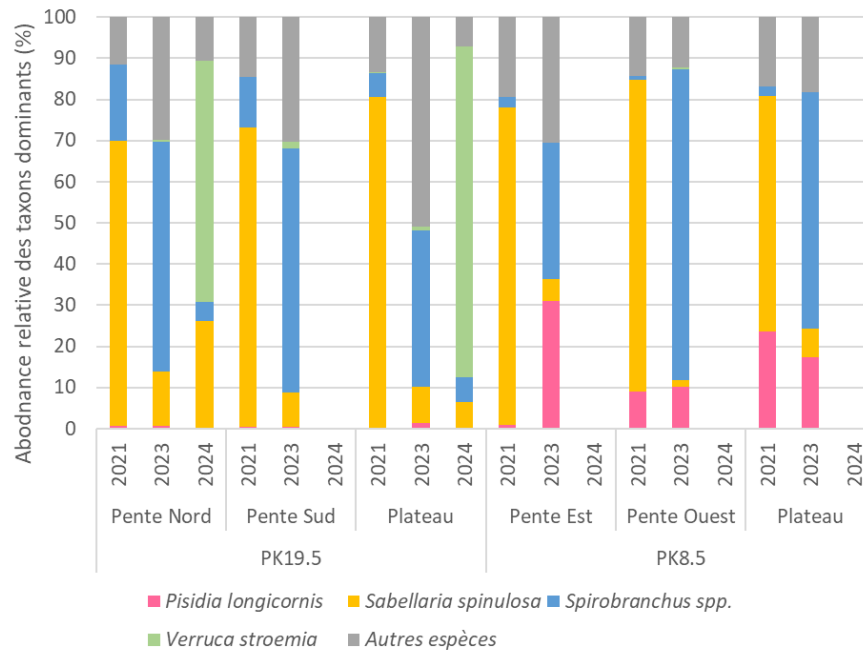


Figure 99 : Abondance relative (%) des taxons dominants de 2021 à 2024.

3.3.3.3 Comparaisons avec les substrats rocheux naturels

La Figure 100 présente l'abondance totale relevée sur les stations de substrat naturel (B2 et LAMB) et sur l'enrochement PK19.5. La station B2 correspond au substrat rocheux naturel le plus proche de PK19.5 et est ainsi considérée comme une station de référence. Néanmoins, il convient de mentionner que les bathymétries des stations ne sont pas les mêmes (B2 : 8,5 m ; Lamb : 12,5 m et PK19.5 : 19-22 m). Les valeurs d'abondance et leur variabilité sont nettement plus élevées sur l'enrochement PK19.5 que sur les substrats naturels. La colonisation de l'enrochement est récente (inférieure à 3 ans) et caractérisée par des taxons opportunistes présents en fortes concentrations (*Verruca stroemia* et *Spirobranchus* spp.).

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

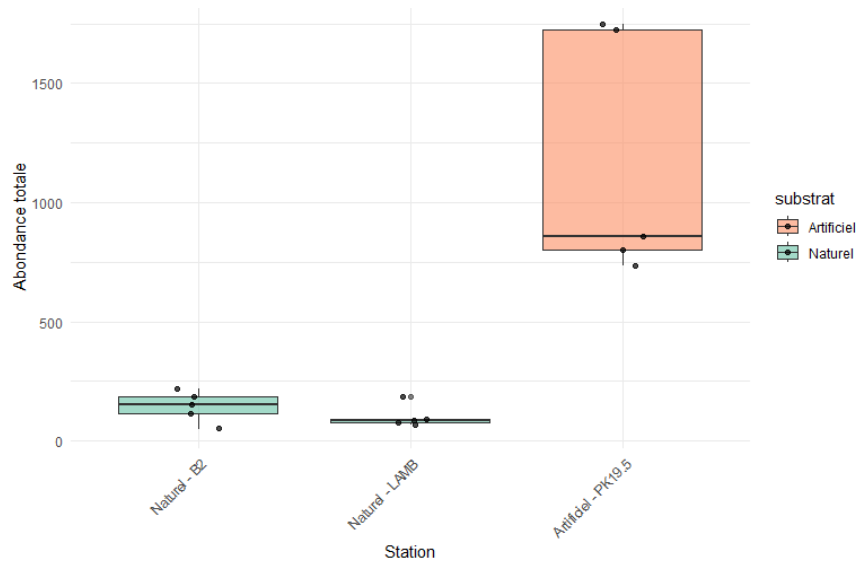


Figure 100. Boxplots de l'abondance relevée sur les stations en fonction du type de substrat (naturel ou artificiel). La ligne médiane représente la médiane, les boîtes les quartiles, et les moustaches l'étendue des répliquats. Points = valeurs individuelles.

La Figure 101 présente la richesse spécifique relevée sur les stations de substrat naturel (B2 et LAMB) et sur l'enrochement PK19.5. La richesse spécifique est globalement plus élevée sur les stations naturelles, avec une médiane autour de 28–30 espèces pour B2 et Lamb, tandis que la station artificielle PK19.5 présente une richesse légèrement plus faible, autour de 25–27 espèces. Des valeurs extrêmes sont observées et causées par la variabilité inter-réplicats. Les valeurs de richesse spécifique sont plus proches entre PK19.5 et sa station de référence B2.

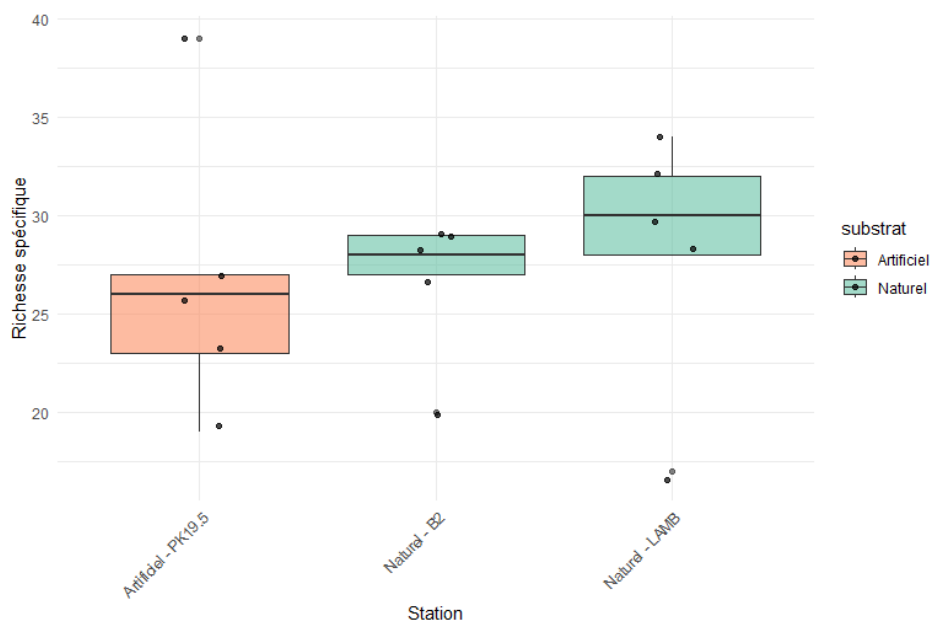


Figure 101. Boxplots de la richesse spécifique relevée sur les stations en fonction du type de substrat (naturel ou artificiel). La ligne médiane représente la médiane, les boîtes les quartiles, et les moustaches l'étendue des répliquats. Points = valeurs individuelles.

Les résultats de la CAH mettent en évidence une différence significative de la structure des communautés entre les types de substrat (Figure 102). Le Tableau 31 présente les résultats

des analyses SIMPER et les espèces caractéristiques des substrats naturels (Lamb et B2) et de l'enrochement (PK19.5).

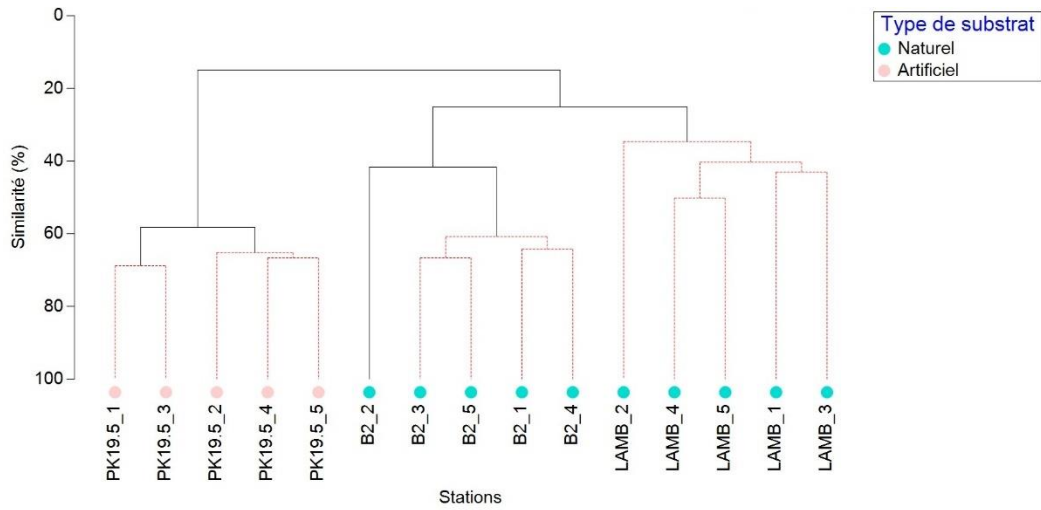


Figure 102. Classification ascendante hiérarchique (CAH) effectuée sur les stations de substrats rocheux naturels et artificiels (enrochement). Les lignes en pointillés rouges indiquent qu'il n'existe pas de différence significative entre les échantillons (test SIMPROF).

Les substrats naturels (B2 et Lamb confondus) sont dominés par un cortège d'espèces différent de celui de l'enrochement PK19.5. Les espèces vagiles, notamment les amphipodes, y sont très représentées, ce qui est cohérent avec la présence d'une flore abondante, dont ils se nourrissent, encore absente sur les enrochements. L'épifaune sessile est davantage représentée sur l'enrochement PK19.5 avec la présence de *Verruca stroemia* et de *Sabellaria spinulosa*, déjà présente en 2023. La présence de l'hermelle épineuse *S. spinulosa* semble se stabiliser dans le temps.

Tableau 31. Résultats des analyses SIMPER menées sur le substrats rocheux artificiels et naturels.

Groupe	Similarité moyenne	Espèce	Groupe taxonomique	Contribution (%)	Cuml des contributions (%)
Naturel	34,68	<i>Spirobranchus triqueter</i>	Polychète	12,59	12,59
		<i>Psammechinus miliaris</i>	Echinoderme	8,48	21,08
		<i>Nototropis swammerdammei</i>	Crustacé	7,01	28,09
		<i>Musculus costulatus</i>	Mollusque	6,68	34,77
		<i>Amphipholis squamata</i>	Echinoderme	6,21	40,98
		<i>Pisidia longicornis</i>	Crustacé	5,87	46,84
		<i>Asterias rubens</i>	Echinoderme	5,69	52,53
		<i>Jassa falcata</i>	Crustacé	4,33	56,86
		<i>Cymodoce truncata</i>	Crustacé	3,95	60,81
		<i>Eualus cranchii</i>	Crustacé	3,73	64,55
		<i>Ruditapes philipinarum</i>	Mollusque	3,06	67,61
Artificiel	61,54	<i>Verruca stroemia</i>	Crustacé	22,42	22,42
		<i>Sabellaria spinulosa</i>	Polychète	16,61	39,03
		<i>Spirobranchus spp.</i>	Polychète	13,61	52,64
		<i>Hiatella arctica</i>	Mollusque	11,36	64,00
		<i>Pholoe inornata</i>	Mollusque	5,91	69,91
		<i>Psammechinus miliaris</i>	Echinoderme	4,97	74,88

4 SYNTHÈSE

TBM environnement a été mandaté par RTE afin de réaliser le suivi en phase d'exploitation le long du fuseau comprenant : un suivi des peuplements benthiques sur substrats meubles et sur substrats rocheux, un suivi de la qualité des sédiments, et un suivi de la qualité de l'eau.

TBM environnement a déjà réalisé un état initial en 2013, un état de référence avant travaux en 2020 et un suivi post travaux en 2022 et des suivis en phase d'exploitation : 2023 un an après et 2024 deux ans après.

Depuis 2021, ces suivis sont complétés par un suivi des peuplements benthiques sur les enrochements mis en place par RTE en protection du câble.

4.1 Qualité des sédiments

Granulométrie

Les résultats granulométriques indiquent que les stations échantillonnées sont associées à 4 types sédimentaires : les **graviers**, les **sables grossiers**, les **sables fins à moyens mobiles** et les **vases sableuses**. Les stations plus proches de la zone des parcs montrent peu de variations granulométriques entre elles et correspondent à des graviers. A partir de la station RTE_018 jusqu'à la station RTE_041, les habitats sont plus hétérogènes et correspondent à des sables avec une particularité pour la station RTE_024, où il est retrouvé une part de vase importante.

De nombreuses variations de fractions granulométriques ont été observées ce qui coïncide avec le dynamisme du secteur complexe observé. Peu de ces variations ne sont pas concomitantes d'une part avec les variations observées à la station Ref_Loire, témoin des apports du fleuve, et/ou d'autre part avec les variations observées à leur station binôme de référence.

Il s'agit des variations suivantes :

- L'augmentation de sables fins en RTE_024 ;
- La diminution de sables fins en RTE_034 et RTE_041 ;
- L'augmentation de sables grossiers en RTE_041 ;
- La diminution de graviers en RTE_012 ;

L'origine des changements de granulométrie en RTE_024 et Ref_24Ref semble liée au fait que ces stations sont situées au sein d'une zone utilisée par le Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire (GPMNSN) comme aire de clapage des sédiments (GIP Loire Estuaire, 2018).

Les variations observées en RTE_034 et RTE_041 peuvent être expliquées par l'alternance complexe dans cette zone de deux habitats à fraction granulométriques dominantes différentes qui selon les conditions hydrologiques peuvent se décaler de quelques mètres et selon la précision de prélèvements peuvent être échantillonnées de façon alternative.

La diminution de graviers en RTE_012 ne correspond pas à l'effet attendu d'un câble ensouillé et la faible taille du jeu de données (deux observations seulement) rend difficile son interprétation.

Qualité des sédiments

Les analyses chimiques réalisées sur les sédiments de sept stations montrent un dépassement des seuils de bon état écologique d'arsenic en stations RTE_024 et RTE_022 qui

sont situées dans ou proche de la zone de clapage des sédiments du GPMNSN sur le plateau de la Lambarde (GIP Loire Estuaire, 2018).

Mise à part en station RTE_024 (indice moyen), les indices de pollutions sont faibles. Les autres métaux lourds détectés ne dépassent pas les seuils de bon état écologique. Les HAP sont détectés en fort nombre aux stations proches de la zone de clapage de sédiments et en plus faibles nombre aux autres stations. Les deux éléments les plus courants (6/7 stations) sont : le benzo [a] pyrène et l'indéno [1,2,3-cd] pyrène. Cependant les concentrations ne dépassent pas les seuils réglementaires et sont comparables à ce qui est observé aux stations de suivi de la zone quadrigée Loire large (ROCCHSED, SURVAL). Les augmentations de PCB, observées en 2022 lors des suivis juste après les travaux, ne sont plus détectées en 2024. Effectivement, toutes les concentrations de PCB sont inférieures au seuil de détection. Parmi les dérivés de l'étain seul le MBT est détectable en station RTE_018.

En 2024, deux ans après travaux, la situation est tout à fait similaire à l'année précédente où une amélioration de la qualité des sédiments avait été détectée par rapport à 2022. **Les résultats sont cohérents avec ceux de l'année de référence en 2020. Les travaux n'ont ainsi pas eu d'effet sur la qualité des sédiments.**

4.2 Qualité de l'eau

Etat chimique

Parmi les 4 métaux lourds dont les concentrations dans l'eau de mer sont normées par l'arrêté de juillet 2018, un seul dépasse la moyenne annuelle de concentration admissible (NQE-MA) et ce à de nombreuses stations et différentes profondeurs : le plomb.

Cependant, déjà, lors de l'état de référence les concentrations de plomb dépassaient le seuil de bon état écologique. La situation observée en 2024, deux ans après travaux est similaire à celle observée en 2023, un an après travaux. **La qualité chimique des masses d'eau étudiées est apparue en meilleure état en 2024, que lors de l'état de référence de 2020. Les seuls polluants chimiques réellement détectés dans l'eau de mer, que sont les métaux lourds, montrent, dans le temps des variations de concentration indépendante des travaux réalisés pour le parc éolien offshore.**

Etat écologique

En ce qui concerne la qualité écologique, les concentrations en chlorophylle *a* sont inférieures au seuil de bloom phytoplanctonique du secteur et, associée aux phéopigments, montrent, pour la plupart des stations, des microorganismes en croissance et non un état de sénescence avec agglomération d'éléments en décomposition. Les concentrations en oxygène sont nettement supérieures au seuil d'hypoxie. Concernant les nutriments, un gradient côte large est visible pour les silicates et les nitrates avec des concentrations plus élevées à la côte. L'indice de nutriment prend, en 2024, des valeurs définissant un très bon état écologique sur plusieurs stations, là où, lors de l'état de référence, aucune ne montraient un très bon état écologique.

La qualité écologique des masses d'eau étudiées est apparue en meilleure état en 2024, que lors de l'état de référence de 2020. Historiquement, les variations de paramètres hydrologiques correspondent à la série temporelle des stations de Basse Michaud et St Gildas, éloignées de la zone de raccordement et semblent refléter les variations de débits et de conditions météorologiques (vents, etc) qui transportent de

façon différentielles dans le temps et l'espace les eaux de la Loire selon le schéma typique des grands estuaires : couche de mélange à l'embouchure du fleuve et stratification dépendante du débit à mesure que l'on s'éloigne de la source(Le Merrer et al., 2022).

4.3 Suivi des peuplements

4.3.1 Peuplements des substrats meubles

Les 12 stations échantillonnées à la benne Day et à la drague Rallier du Baty présentent des peuplements variés. En 2024, les valeurs varient de 65 ± 50 ind./m² (station Ref_RTE38) à 1594 ± 907 ind./m² (station RTE38). Les stations de suivi localisées sur la partie centrale du raccordement abritent les peuplements les plus denses (566 ± 106 ind./m² à 1594 ± 907 ind./m²) et sont associées à des pics d'abondance d'espèces de polychètes.

L'abondance moyenne des peuplements varie entre les années de suivi. Des baisses sont observées sur les stations Ref_RTE41, Ref_RTE33 et Ref_RTE22. Les autres stations sont caractérisées par davantage de stabilité. La station Ref_RTE41 est associée à une diminution de la richesse spécifique.

De façon générale, aucune influence des travaux n'est pas détectable sur les peuplements benthiques et les habitats. Les variations observées reflètent des variabilités interannuelles en lien avec les conditions environnementales, notamment la dynamique sédimentaire, et sont observées aussi bien sur les stations de suivi que leurs stations de référence. En 2024, sur la majorité des stations, les sables grossiers et graviers ont été remplacés par des sables moyens mobiles. Si les premiers permettent l'établissement d'une faune diversifiée en raison des nombreux micro-habitats, les sables mobiles sont appauvris en termes de diversité et d'abondance. En effet, leur instabilité conduit à l'établissement d'une faune robuste et peu diversifiée dominée par des polychètes.

Enfin, les variations des valeurs de GPBI entre les stations expérimentales et leurs stations de référence semblent être étroitement liées aux différences de granulométrie des sédiments. De manière générale, à partir de 2022, une augmentation des fractions sableuses est constatée sur la majorité des stations de référence et explique la différenciation des communautés benthiques. Une fois de plus, elles sont le résultat de variations sédimentaires naturelles (apports de la Loire), sauf sur les stations Ref_RTE24/RTE24 qui sont sous l'influence du site d'immersion des sédiments de dragage du Grand Port Maritime de Saint Nazaire.

4.3.2 Peuplements des substrats rocheux

Sur les 4 stations initialement prévues, seules 2 stations ont pu être échantillonnées en plongée : Lamb et B2. D'après les inventaires réalisés au sein des quadrats un total de 98 espèces parmi 1203 individus a été identifié.

Du point de vue de l'abondance, les stations B2 et LAMB abritent des valeurs similaires, avec une dominance des crustacés sur B2 et des polychètes sur Lamb. Concernant la richesse spécifique, les stations affichent également des valeurs très proches. Les espèces les plus diversifiées appartiennent au groupe des crustacés, et, dans une moindre mesure, au groupe des polychètes.

En termes d'habitats, selon la typologie Nathab-Atl, deux habitats distincts, similaires aux relevés des années précédentes, ont été identifiés :

- B1-4.4 « Roches ou blocs infralittoraux à laminaires clairsemées dominées par *Saccorhiza polyschides* » sur la station B2.
- B1-6 « Roches et blocs infralittoraux à dominance animale » sur la station Lambarde.

De façon générale, l'année 2024 est marquée par une **forte diminution des abondances moyennes**. Néanmoins, ces valeurs ont été observées auparavant sur B2 en 2013 et sur Lamb en 2020 et sont donc **cohérentes avec les états de référence**. Sur la station B2, les abondances les plus élevées ont été observées entre 2020 (avant travaux) et 2021 (après-travaux) et ont commencé à diminuer à partir de 2023 et ce jusqu'en 2024, lors des suivis en phase d'exploitation. Sur la station Lambarde, les hausses d'abondance sont plus modérées et interviennent à compter de 2021, en phase post-travaux, jusqu'à la diminution de 2024. Ces fluctuations sont liées à la présence d'un nombre important d'amphipodes et notamment de l'espèce *Jassa falcata* sur la station B2 et de *Photis longicaudata*, *Corophium sextonae* et *Jassa falcata* sur la station Lambarde. *Jassa falcata* est une espèce grégaire dont les densités peuvent atteindre 500 000 individus par m². Ces amphipodes suspensivores sont souvent dans des zones à fort hydrodynamisme (courants de marée, vagues) et se trouvent couramment sur des algues, des éponges, des hydraires et des bryozoaires dans des zones rocheuses.

En termes de richesse spécifique, les différences interannuelles sont beaucoup moins marquées. Néanmoins, la baisse de diversité relevée en 2023 se poursuit en 2024.

De façon générale, **aucune influence des travaux n'est détectable sur les peuplements benthiques et les habitats de substrat rocheux**.

4.3.3 Peuplements des enrochements

En 2024, seul le site de la station PK19.5 a pu être échantillonné. Entre décembre 2020 et août 2021 (8 mois), une première étape de recolonisation est intervenue, avec une abondance et une richesse importante causées par la présence d'une espèce à enjeu fort : les hermelles. En revanche en 2023 c'est une autre espèce de polychète qui est devenue dominante : *Spirobranchus triqueter*. Ce changement de communauté s'est vu accompagné d'une diminution de richesse spécifique, probablement causée par la diminution des effectifs d'hermelles. En effet, l'habitat Hermelles est plus diversifié que celui à *Spirobranchus*. La Figure 103 expose quelques clichés pris le long de la zone de plateau de l'enrochement PK19.5.

Le suivi 2024 est marqué par un nouveau changement de l'espèce dominante, qui devient le cirripède *Verruca stroemi*. Le peuplement des enrochements ne semble pas encore s'être stabilisé. Les raisons précises de ces changements ne sont pas connues mais ceux-ci sont cohérents avec les dynamiques de succession classiquement observées sur les substrats artificiels, qui peuvent prendre plusieurs années. Conformément à la théorie de la niche, l'établissement des espèces sur la roche est influencé par les conditions environnementales et la composante biotique du milieu. Néanmoins les changements de communautés ne sont pas prédictibles d'une année sur l'autre et constituent un processus de colonisation stochastique.

Les suivis ultérieurs doivent permettre de poursuivre la caractérisation de cette cinétique de recolonisation.

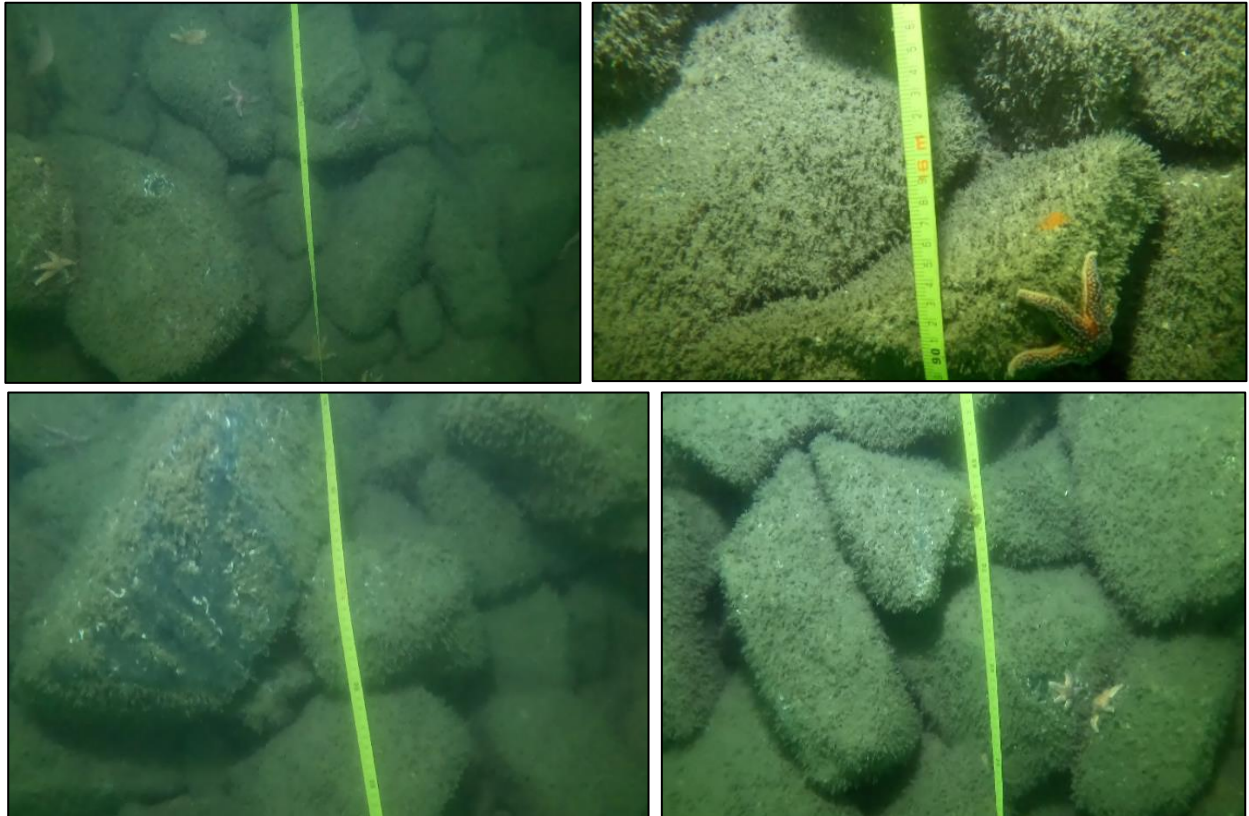


Figure 103 : Enrochement de la station PK19.5.

La station PK8.5 n'a pas pu être échantillonnée quantitativement, seuls des galets ont été prélevés au sein des quadrats. Des effectifs élevés du polychète *Sabellaria spinulosa* ont été comptabilisés (423 individus), accompagnés de *Spirobranchus* spp et de *Pisidia longicornis*, les trois espèces déjà dominantes en 2021 et 2023. Ces données suggèrent des changements moins marqués que sur la station PK19.5.

Les résultats du suivi 2024 présentent certaines limites liées au défaut d'échantillonnage des substrats rocheux au large (RTE_R01 et Ref_RTE_R01) et de l'enrochement PK8.5. De nombreuses intempéries au cours de l'été ainsi que de fortes turbidités ont empêché la collecte complète des données. Néanmoins, l'échantillonnage des stations de substrat naturel B2 et Lambarde (Lamb) permet la comparaison avec l'enrochement PK19.5. et le suivi de sa colonisation.

4.4 Conclusions

Le Tableau 32 récapitule les conclusions pour chaque compartiment. Aucune influence des travaux n'est détectable. Les légères variations observées reflètent des variabilités interannuelles en lien avec les conditions environnementales. Concernant, les peuplements des enrochements, un changement des communautés est mis en évidence.

Tableau 32 : Synthèse des observations, comparaisons et effet des travaux sur les différents compartiments suivis.

Compartiments	Observations en 2024	Comparaisons avec suivis précédents	Effet des travaux
Qualité des sédiments	Pollutions organiques faibles sauf RTE_024	Similaires	Non détectable
Qualité de l'eau de mer	Eau de très bonne qualité	Similaires	Non détectable
Granulométrie	Trois types sédimentaires	Similaires	Non détectable
Peuplements benthiques de substrat meuble	Peuplements équilibrés et homogènes, état de santé "bon" à "très bon"	Peuplements stables, fluctuations interannuelles	Non détectable
Peuplements benthiques de substrat rocheux	Deux habitats présents	Peuplements stables, diminution des abondances	Non détectable
Peuplements des enrochements	Recolonisation	Changement de peuplements entre 2023 et 2024	Colonisation par une espèce à fort enjeu, les hermelles <i>Sabellaria spinulosa</i> en 2021, dominance de <i>Spirobranchus triqueter</i> en 2023 et de <i>Verruca stroemi</i> en 2024

5 BIBLIOGRAPHIE

- Alzieu, C. (2003a). *Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion* (Ifremer). <https://side.developpement-durable.gouv.fr/CENT/doc/SYRACUSE/129379/bioevaluation-de-la-qualite-environnementale-des-sediments-portuaires-et-des-zones-d-immersion>
- Amouroux, I., Bizzozero, L., Dallet, M., Grouhel-Pellouin, A., Briant, N., Dallet, M., Grouhel-Pellouin, A. et Briant, N. (2021). *Expertise de l'Ifremer concernant une pollution des eaux suite au déversement de Sfectine dans les étiers en amont de la Baie de Bourgneuf* ([Avis] n° 21-003). IFREMER. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00676/78764/>
- BOISMAL, K. et PALLADIN, P. (2025). *Etude d'impact sur l'environnement pour l'autorisation decennale 2026-2036 des opérations de dragage d'entretien des ouvrages maritimes* ([Version finale]). Egis. https://pollution.ott.fr/wp-content/uploads/2025/11/Dossier_2_ETUDE_IMPACT_SUR_L_ENVIRONNEMENT_2_juin_2025_rev_7_251_pages_1.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Bonnot-Courtois, C., Bassouillet, P., Le Hir, P. et Tessier, B. (2006). *Évolution et mobilité des sédiments superficiels de l'estran occidental de la baie du Mont Saint-Michel*. IXèmes Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Brest. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2006.014-B>
- Borja, A., Franco, J. et Pérez, V. (2000). A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments - ScienceDirect, 40(12), 1100-1114. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00061-8)
- Bray, J. R. et Curtis, J. T. (1957). An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 326-349. <https://doi.org/10.2307/1942268>
- C. de Lavergne. Arrêté du 9 octobre 2023 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des article R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement - Légifrance. , Environnement 93 (2023). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000048347187>
- Cellule de Mesures et de Bilan. (2000, Février). La Loire et son estuaire Quel fonctionnement aujourd'hui. Dans *Atlas environmental de Loire Estuaire*. https://www.loire-estuaire.org/upload/espace/1/pj/44060_1669_PLANCHE_ATLAS_1.PDF

- Chiffolleau, J.-F. (2017). La contamination chimique sur le littoral Loire-Bretagne. Résultats de 35 années de suivi du Réseau d'Observation de la Contamination Chimique. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00405/51617/>
- Clarke, K. R. et Gorley, R. N. (2015). PRIMER version 7: User manual/tutorial. PRIMER-E Ltd. https://www.researchgate.net/publication/307447596_PRIMER_version_7_User_manualtutorial
- Clarke, K. R., Gorley, R. N., Somerfield, P. J. et Warwick, R. M. (2014). *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation* (3rd edition). PRIMER-E. <https://learninghub.primer-e.com/books/change-in-marine-communities>
- Conseil de l'Europe. (1979). Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe. Annexe III – ESPÈCES DE FAUNE PROTÉGÉES.
- Daniel, A., Derolez, V. et Soudant, D. (2020, juillet). DCE Etat écologique - France métropolitaine et DOMs - Toutes masses d'eau - Indicateur nutriments (Azote et Phosphore). IFREMER. <https://wwz.ifremer.fr/envlit/DCE/Etat-ecologique/Fiche-nutriments>
- Daniel, A. et Soudant, D. (2020a, juillet). DCE Etat écologique - France métropolitaine et DOMs - Toutes masses d'eau sauf lagunes - Indicateur oxygene dissous. IFREMER. <https://wwz.ifremer.fr/envlit/DCE/Etat-ecologique/Fiche-oxygene-dissous>
- Daniel, A. et Soudant, D. (2020b, juillet). DCE Etat écologique - France métropolitaine et DOMs - Toutes masses d'eau sauf lagunes - Indicateur temperature. IFREMER. <https://envlit.ifremer.fr/DCE/Etat-ecologique/Fiche-temperature>
- Daniel, A. et Soudant, D. (2020c, juillet). DCE Etat écologique - France métropolitaine et DOMs - Toutes masses d'eau sauf lagunes - Indicateur transparence. IFREMER. <https://wwz.ifremer.fr/envlit/DCE/Etat-ecologique/Fiche-transparence>
- GIP Loire Estuaire. (2018). *Les mouvements - Les sédiments - Les dragages d'entretien dans l'estuaire* ([L1 E3] n° 2). GIP Loire Estuaire. https://www.loire-estuaire.org/upload/espace/1/pj/101874_4542_l1e3_2018.pdf
- GIP Loire Estuaire. (2020). *Micropolluants : les ETM - L2A6b* ([CAHIER 2002 INDICATEUR] n° 1). GIP Loire Estuaire. https://www.loire-estuaire.org/upload/iedit/1/pj/102272_5132_l2a6b_2020.pdf
- Godet, L., Fournier, J., Jaffré, M. et Desroy, N. (2011). Influence of stability and fragmentation of a worm-reef on benthic macrofauna. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(3), 472-479. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.02.003>

- Gohin, F. (2011). Annual cycles of chlorophyll-*a*, non-algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters. *Ocean Science*, 7(5), 705-732. <https://doi.org/10.5194/os-7-705-2011>
- Grall, J. et Coïc, N. (2006a). *Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier* (n° DYNECO/VIGIES/06-13/REBENT). Institut Universitaire Européen de la Mer – Université de Bretagne Occidentale Laboratoire des sciences de l'Environnement MARin.
- Grall, J. et Coïc, N. (2006b). *Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier* (n° DYNECO/VIGIES/06-13/REBENT). Institut Universitaire Européen de la Mer – Université de Bretagne Occidentale Laboratoire des sciences de l'Environnement MARin.
- Grall, J. et Glémarec, M. (1997). Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44, 43-53. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(97\)80006-6](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(97)80006-6)
- Guillaumont, Gauthier, E. et Gobert, S. (2005). *Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE (recommandations concernant le benthos marins)* (n° RST/IFREMER/DYNECO/VIGIES/05-11/REBENT). Ifremer. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/78034>
- Hily, C. (1984). *Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hyper-trophiques de la rade de Brest*. Université de Bretagne Occidentale.
- IFREMER. (2023, 2 juin). *Surval - Accès aux données d'environnement marin et littoral* [accès aux données d'environnement marin et littoral]. Surval. <https://surval.ifremer.fr/Donnees/Graphes-30140>
- J.-C Vial. Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement - Légifrance. , Environnement (2010). <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGIARTI000031115709/2026-01-06>
- La Rivière, M., Delavenne, J., Janson, A.-L., Andres, S., Bettignies, T. de, Blanchet, H., Decaris, F.-X., Derrien, R., Derrien-Courtel, S., Grall, J., Houbin, C., Latry, L., Gal, A. L., Lutrand, A., Menot, L., Percevault, L., Tauran, A. et Thiébaud, É. (2022). *Fiches descriptives des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique* ([Patrinat (OFB-MNHN-CNRS)] n° Version 1). <https://mnhn.hal.science/mnhn-04155798>

- Le Mao, P., Godet, L., Fournier, J., Desroy, N., Gentil, F., Eric, T., Pourinet, L., Cabioch, L., Retière, C. et Chambers, P. P. (2020). *Atlas de la faune marine invertébrée du golfe Normano-Breton* (Éditions de la Station biologique de Roscoff, vol. 1-7, vol. 6). Éditions de la Station biologique de Roscoff. <https://hal.science/hal-02490480>
- Le Merrer, Y., Manach, S. et Bizzozero, L. (2022). Suivi hydrologique et phytoplanctonique environnemental et sanitaire dans la masse d'eau Loire Large (GC46). Recommandations dans le cadre du suivi DCE Loire-Bretagne et du Rephy - sanitaire., 59.
- Lemoine, M., Belin, C. et Soudant, D. (2020, juillet). DCE Etat écologique - France métropolitaine et DOMs - Toutes masses d'eau sauf lagunes - Indicateur phytoplancton. IFREMER. <https://envlit.ifremer.fr/DCE/Etat-ecologique/Fiche-phytoplancton>
- Michez, N., Thiébaud, É., Dubois, S., Gall, L. L., Dauvin, J.-C., Andersen, A., Baffreau, A., Bajjouk, T., Blanchet, H., Houbin, C., Janson, A.-L., Rivière, M., Lévêque, L., Menot, L., Sauriau, P.-G., Simon, N. et Viard, F. (2019). *Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique* ([[Rapport de recherche]] n° Version 3). UMS PatriNat, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. <https://normandie-univ.hal.science/hal-02084698>
- OSPAR. (2008). Liste OSPAR des espèces et habitats menacés et/ou en déclin (Accord OSPAR 2008-06 révisé 2021). Commission OSPAR.
- Toison, V. (2024). Identification et hiérarchisation des enjeux écologiques des façades maritimes métropolitaines | Natura 2000. OFB. <https://www.natura2000.fr/documentation/references-bibliographiques/identification-hierarchisation-enjeux-ecologiques-facades>
- Trigui, R. J. (2009, 6 octobre). *Influence des facteurs environnementaux et anthropiques sur la structure et le fonctionnement des peuplements benthiques du Golfe Normano-Breton*. [phdthesis, Muséum national d'histoire naturelle - MNHN PARIS]. <https://theses.hal.science/tel-00466280>

6 ANNEXE 1 PERFORMANCE ANALYTIQUE DU LABORATOIRE

Qualité des sédiments			
Famille	Composé	Méthodologie	LQ du candidat
Mesures physiques	Densité	Gravimétrie	
	Matières sèches	Gravimétrie - NF ISO 11465	0.01 %mass/m
Nutriments	Azote Kjeldahl (NTK)	Kjeldahl (Titrimétrie) - NF ISO 11261	0.5 g/kg M.S.
	Phosphore	ICP/AES [Minéralisation à l'eau régale]	1 mg/kg M.S.
	Carbone organique	Combustion [sèche]	1000 mg C/kg M.S.
Métaux lourds	Al	ICP/AES [Minéralisation à l'eau régale]	5 000 000 µg / kg M.S.
	As (arsenic)		100 µg / kg M.S.
	Cd (cadmium)		100 µg / kg M.S.
	Cr		100 µg / kg M.S.
	Cu		200 µg / kg M.S.
	Fe		5 000 µg / kg M.S.
	Hg (mercure)		100 µg / kg M.S.
	Ni (Nickel)		200 µg / kg M.S.
	Pb		100 µg / kg M.S.
	Zn		500 µg / kg M.S.
PCB	PCB 28	GC/MS/MS [ou GC/ECD - Extraction Hexane / Acétone] - NF EN 17322	1 µg/kg M.S.
	PCB 52		1 µg/kg M.S.
	PCB 101		1 µg/kg M.S.
	PCB 118		1 µg/kg M.S.
	PCB 138		1 µg/kg M.S.
	PCB 153		1 µg/kg M.S.
	PCB 180		1 µg/kg M.S.
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Naphtalène	GC/MS/MS [Extraction Hexane / Acétone] - NF EN 17503 - NF ISO 18287 (Sols)	2 µg/kg M.S.
	Acénaphtylène		2 µg/kg M.S.
	Acénaphthène		2 µg/kg M.S.
	Fluorène		2 µg/kg M.S.
	Phenanthrène		2 µg/kg M.S.
	Anthracène		2 µg/kg M.S.
	Fluoranthène		2 µg/kg M.S.
	Pyrène		2 µg/kg M.S.
	Benzo(a) anthracène		2 µg/kg M.S.
	Chrysène		2 µg/kg M.S.
	Benzo (b) fluoranthène		2 µg/kg M.S.
	Benzo (k) fluoranthène		2 µg/kg M.S.
	Benzo(a) pyrène		2 µg/kg M.S.
	Dibenzo(ah) anthracène		2 µg/kg M.S.
	Benzo (ghi) perylène		2 µg/kg M.S.

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
Année 2 / 2024
TBM environnement

	Indéno (123-cd) py-rène		2 µg/kg M.S.
TBT	Tributylétain (TBT)	GC/MS/MS [Dérivation, extraction Solide/Liquide] - XP T 90-250	2 µg Sn/kg M.S.
	Dibutylétain (DBT)		
	Monobutylétain (MBT)		

Qualité des eaux marines			
Fa-mille	Composé	Méthodologie	LQ
Paramètres phy-siques	Conductivité brute 25°C	Potentiométrie - NF EN ISO 27888	10 µS/cm
	Matières en suspension	Gravimétrie [Filtre Ahlstrom Munksjö/0261/47mm] - NF EN 872	2 mg/l
	Oxygène dissous	Technique - NF EN 25814	1 mg O ₂ /l
	Phosphore total	Spectrophotométrie (UV/VIS) - NF EN ISO 6878	0,02 mg P/l
	Silicates	Flux continu - NF EN ISO 16264	0,6 µmol/l
Métaux lourds	Al	ICP/MS [Injection directe] - NF EN ISO 17294-2	10 µg/L
	As (arsenic)	ICP/MS [Injection directe] - NF EN ISO 17294-2	5 µg/L
	Cd (cadmium)	ICP/MS [Injection directe] - NF EN ISO 17294-2	1 µg/L
	Cr	ICP/MS [Injection directe] - NF EN ISO 17294-2	1 µg/L
	Cu	ICP/MS [Injection directe] - NF EN ISO 17294-2	1 µg/L
	Mercure	SFA / vapeurs froides (CV-AAS) [Minéralisation] - Méthode In-terne selon NF EN ISO 17852	0,015 µg/l
	Ni (Nickel)	ICP/MS [Injection directe] - NF EN ISO 17294-2	1 µg/L
	Pb	ICP/MS [Injection directe] - NF EN ISO 17294-2	1 µg/L
	Zn	ICP/MS [Injection directe] - NF EN ISO 17294-2	10 µg/L
Paramètres azotés	Azote Kjeldhal	Kjeldahl (Titrimétrie) - NF EN 25663	0.2 mg N/l
	Nitrites	Flux continu [Spectrométrie flux 2007 (Aminot)] -	0.04 µmol/l
	Nitrates	Calcul - NF EN ISO 13395 - Aminot Kerouel 2007	0.08 µmol/l
	Ammonium	Coulométrie - NF T 90-015-2 modifié	0,5 µmol/l
Matières organique	Carbone organique total	Combustion [IR] - NF EN 1484	0,5 mg/l
	Chlorophylle a	Spectrophotométrie (UV/VIS) - NF T 90-117	0,1 µg/l
	Phéopigments	Spectrophotométrie (UV/VIS) - NF T 90-117	0,1 µg/l
HYDROCARBURES AROMATIQUES PO-LYCYCLIQUES	Acénaphène	GC/MS	0,01 µg/l
	Acénaphthylène	GC/MS	0,01 µg/l
	Anthracène	GC/MS	0,01 µg/l
	Benzo (a) anthracène	GC/MS	0,01 µg/l
	Benzo (a) pyrène	GC/MS	0,01 µg/l
	Benzo (b) fluoranthène	GC/MS	0,01 µg/l
	Benzo (g,h,i) périlène	GC/MS	0,01 µg/l
	Benzo (k) fluoranthène	GC/MS	0,01 µg/l
	Chrysène	GC/MS	0,01 µg/l
	Dibenzo (a,h) anthracène	GC/MS	0,01 µg/l
	Fluoranthène	GC/MS	0,01 µg/l

Raccordement du parc éolien de Saint Nazaire – Suivi écologique le long du fuseau en phase d'exploitation
 Année 2 / 2024
 TBM environnement

	Fluorène	GC/MS	0,01 µg/l
	Indéno (1,2,3-cd) pyrène	GC/MS	0,01 µg/l
	Naphtalène	GC/MS	0,01 µg/l
	Phénanthrène	GC/MS	0,01 µg/l
	Pyrène	GC/MS	0,01 µg/l
Organos-tanneux	DBT	GC/MS	0,02 µg/l
	MBT	GC/MS	0,02 µg/l
	TBT	GC/MS	0,02 µg/l
Poly Chloro-Bromo Bi-phényls	PCB 28	GC/MS/MS [par extraction L/L]	0,001 µg/l
	PCB 52	GC/MS/MS [par extraction L/L]	0,001 µg/l
	PCB 101	GC/MS/MS [par extraction L/L]	0,001 µg/l
	PCB 118	GC/MS/MS [par extraction L/L]	0,005 µg/l
	PCB 138	GC/MS/MS [par extraction L/L]	0,001 µg/l
	PCB 153	GC/MS/MS [par extraction L/L]	0,001 µg/l
	PCB 180	GC/MS/MS [par extraction L/L]	0,001 µg/l

TBM environnement

Siège social :

ZA Kénéah Nord, 5/7 Rue de l'Europe,

56400 Plougoumelen

Tél. : 02.97.56.27.76

contact@tbm-environnement.com

TBM environnement (tbm-environnement.com)

