



## Eoliennes Offshore des Hautes Falaises

### SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU, DES HABITATS ET PEUPELEMENTS BENTHIQUES

Date : Juin 2021



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Matériel et méthodes pour les prélèvements d'eau</b>	<b>7</b>
2.1	Echantillonnage	7
2.2	Analyses	9
2.2.1	Mesure de la « matière en suspension » MES	9
2.2.2	Mesures avec la sonde multiparamètres	10
<b>3</b>	<b>Matériel et méthodes pour les prélèvements benthiques</b>	<b>12</b>
3.1	Outils et techniques mis en œuvre	12
3.1.1	Moyens nautiques	12
3.1.2	Engins de prélèvements	12
3.2	Plan d'échantillonnage	13
3.3	Analyses sédimentaires et biologiques	16
3.3.1	Granulométrie	16
3.3.2	Tri et détermination	17
3.3.3	Traitements des données	18
3.3.4	Typologie des habitats	22
<b>4</b>	<b>Résultats pour les prélèvements d'eau</b>	<b>23</b>
4.1	Matière en suspension	23
4.2	Profils à la sonde multiparamètres	24
4.2.1	Période de mortes eaux	24
4.2.2	Période de vives eaux	26
<b>5</b>	<b>Résultats pour les prélèvements benthiques</b>	<b>30</b>
5.1	Caractéristiques granulométriques des stations	30
5.2	Caractéristiques faunistiques des stations	36
5.2.1	Richesse spécifique	36
5.2.2	Abondance	41
5.2.3	Groupes taxonomiques	45
5.2.4	Assemblages faunistiques	49
5.2.5	Groupes écologiques et AMBI	56
<b>6</b>	<b>Peuplements et habitats</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>Discussion</b>	<b>68</b>
7.1	Suivi eau	68
7.2	Granulométrie et Habitats	68

7.3	Richesse spécifique .....	70
7.4	Abondance .....	71
7.5	Espèces patrimoniales .....	72
<b>8</b>	<b>Conclusion</b> .....	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>Glossaire</b> .....	<b>77</b>
<b>10</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>78</b>

## 1 Introduction

La société Eoliennes Offshore des Hautes-Falaises (EOHF) s'est vu, suite au premier appel d'offres éolien en mer, attribuer le site au large de Fécamp pour le développement et l'exploitation d'un parc éolien en mer de 71 éoliennes pour une puissance de 497MW (Figure 1). Elle bénéficie depuis le 5 avril 2016 d'un arrêté autorisant, au titre de l'article L214-3 du code de l'environnement, l'aménagement et l'exploitation d'un parc éolien en mer au large de Fécamp. L'article 9 de cet arrêté décrit les suivis des effets du projet sur l'environnement. Ces suivis concernent plusieurs compartiments et doivent être réalisés selon le principe BACI avant et pendant les travaux d'installation du projet éolien, puis pendant la phase d'exploitation du projet.

Dans le cadre de ce projet, le bureau d'étude TBM environnement s'est vu confier la réalisation d'un suivi de la qualité de l'eau et des sédiments, des habitats et des peuplements benthiques sur le site du parc éolien.

Ces suivis sont décomposés comme suit :

- ✓ « Tranche Ferme 1 » (année 1 - état de référence 2018/2019) pour le suivi biosédimentaire avant les travaux (art. 9.2.4 et fiche MSu1 de l'arrêté préfectoral) ainsi que pour le suivi de la qualité de l'eau avant les travaux (art. 9.2.3 et fiche MSu9 de l'arrêté préfectoral),
- ✓ « Tranche Ferme 2 » (année 2 – état de référence 2019/2020) pour le suivi biosédimentaire avant les travaux (art. 9.2.4 et fiche MSu1 de l'arrêté préfectoral). Ce suivi a été décalé à l'année 2021 à cause de la crise sanitaire due à la COVID.



Le présent rapport détaille les méthodes et moyens mis en œuvre pour permettre de dresser une cartographie détaillée des habitats et espèces peuplant la zone d'étude et avoir des données quantitatives pour assurer un suivi des effets du projet tels que décrits dans l'étude d'impact environnementale.

Cette étude vise également à vérifier l'absence de pollution de l'eau et des sédiments.

L'objectif de cette étude est bien d'établir, une situation de référence :

- Des biocénoses marines (habitats et peuplements benthiques) dans les secteurs d'étude et sur des zones témoins en 2019 et en 2021.
- De la qualité de l'eau et des sédiments.

Cet « état de référence » servira de base pour l'évaluation des effets et impacts du parc par comparaison avec le suivi durant la phase d'exploitation du parc. Ainsi, un état de santé sera précisé.

## 2 Matériel et méthodes pour les prélèvements d'eau

### 2.1 Echantillonnage

Les opérations en mer se sont déroulées les 13 et 14 février 2019 pour les mesures en mortes eaux (42 de coefficient de marée) et les 19 et 20 février 2019 pour les mesures en vives eaux (99 de coefficient de marée) à bord du navire « Le Bar'ouf » (Figure 2). Doté d'instruments de dernière génération et d'un espace suffisant pour accueillir l'ensemble du matériel et des équipes, ce 6,50m au faible tirant d'eau s'avère idéal pour mener à bien les investigations de terrain.



Figure 2 : Bar'ouf, le navire de TBM environnement

L'objectif était d'échantillonner 5 stations (Figure 3) à l'aide d'une bouteille Niskin pour mesurer les matières en suspension (MES) et les paramètres environnementaux à l'aide d'une sonde multiparamètres. Les stations numérotées 1 à 4 se situent dans la zone du parc éolien et la station 5 correspond à une station témoin. Ces mesures devaient être réalisées en période de mortes eaux et en périodes de vives eaux avec une marée ascendante et une marée descendante pour chaque période. La météo a permis la réalisation des missions dans de bonnes conditions. Cependant, des difficultés avec la sonde multiparamètres n'ont pas permis de réaliser les mesures sondes en marée ascendante pour la période de mortes eaux (Tableau 1).

**STATIONS DE PRÉLÈVEMENT D'EAU (TURBIDITÉ) (MSU9)**  
Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments, des habitats et peuplements benthiques  
- Eoliennes Offshore des Hautes Falaises

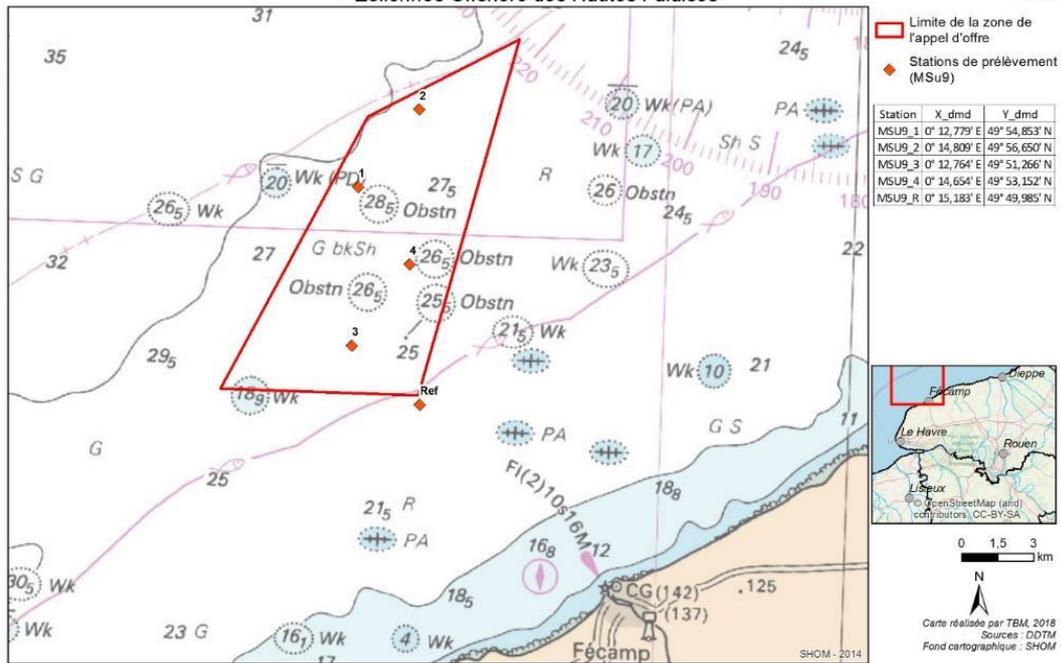


Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage.

Tableau 1 : Résumé des mesures et échantillons réalisées pour les 5 stations

Période	Marée	Date	Sonde	Prélèvements eau
<b>Mortes eaux</b>	Ascendante	13 et 14 février 2019	0/5	15/15
	Descendante		5/5	15/15
<b>Vives eaux</b>	Ascendante	19 et 20 février 2019	5/5	15/15
	Descendante		5/5	15/15

## 2.2 Analyses

### 2.2.1 Mesure de la « matière en suspension » MES

Pour établir la charge en MES, trois prélèvements de 2 litres sont réalisés dans la colonne d'eau à l'aide d'une bouteille Niskin (Figure 4) :

- À quelques mètres du fond,
- À mi- profondeur,
- Et un dernier à 1 m sous la surface.



Figure 4 : Bouteille Niskin utilisée pour les prélèvements d'eau et la mesure du MES

L'eau a été conservée dans un flacon plastic puis mis au froid et à l'abri de la lumière dans une glacière. La filtration a été effectuée de retour au laboratoire (Figure 5).



Figure 5 : Conservation des prélèvements d'eau en glacière jusqu'au laboratoire.

Une fois au laboratoire, le protocole de filtration du réseau SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral) est appliqué<sup>1</sup>. La détermination de la charge solide est obtenue après filtration de 2 litres d'eau de mer sur des filtres GF/F (porosité de 0,7  $\mu\text{m}$ ) (Figure 6) préalablement calcinés, séchés et pesés. Les filtres sont ensuite mis à sécher à l'étuve à 45°C. La différence entre la masse du filtre (mg) avant et après la filtration est divisée par le volume d'eau filtrée V pour donner la charge en MES de l'échantillon en  $\text{mg. L}^{-1}$ .



Figure 6 : Filtration des échantillons d'eau au laboratoire.

### 2.2.2 Mesures avec la sonde multiparamètres

Pour les relevés « sonde », une sonde YSI Exo 3 a été utilisée (Figure 8) équipée de capteur YSI, salinité, température, profondeur, oxygène (capteur optique), Chlorophylle  $\alpha$  et turbidité.

Cette sonde a été calibrée avant utilisation. La fréquence de mesure est calée à 4 mesures par seconde. La sonde a été lestée avec un plomb situé en dessous. A chaque station, la sonde est descendue puis remontée lentement afin de réaliser les profils.

---

<sup>1</sup> [http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/IMG/pdf/protocole\\_national\\_MES.pdf](http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/IMG/pdf/protocole_national_MES.pdf)



*Figure 7 : Sonde YSI Exo 3 utilisée pour la réalisation des profils*

### 3 Matériel et méthodes pour les prélèvements benthiques

#### 3.1 Outils et techniques mis en œuvre

Deux campagnes d'échantillonnage ont eu lieu les 26 et 27 février 2019 (compte-rendu de mission en Annexe 1) et le 24 mars 2021 (compte rendu de mission en Annexe 2).

##### 3.1.1 Moyens nautiques

Les sorties ont été réalisées depuis le port de Dieppe, à bord du navire de pêche « le Colbert » en 2019 et depuis le port de Fécamp à bord du navire de pêche « Ailly » en 2021.

##### 3.1.2 Engins de prélèvements

Pour les prélèvements biosédimentaires, une drague Rallier du Baty (Figure 8) a été utilisée. Cet engin trainant permet d'échantillonner sur une large variété de substrats. Il a été utilisé comme engin de prélèvements par Cabioch (1968), Glémarec (1969), Gentil (1976) ou Retière (1979) pour la cartographie et l'étude des peuplements en Manche-Atlantique. Il est parfaitement adapté aux spécificités du site d'étude pour lequel la majorité des stations à échantillonner renferme une fraction importante de galets (Ruellet et Talleux, 2011 ; Foveau et Ruellet, 2013). C'est le seul engin de prélèvement à pouvoir être employé en routine sur un nombre important de stations. Cette drague est constituée d'un cylindre métallique robuste de 45 cm de diamètre sur lequel est placé un filet qui permet la récolte du sédiment tout en permettant l'évacuation de l'eau. Le cylindre est relié par un axe central à un anneau métallique sur lequel est fixé le gréement.

Ainsi, trois traits ont été réalisés sur chaque station :

- un volume de 10 litres a été échantillonné trois fois pour déterminer et caractériser la faune benthique,
- un petit volume de sédiment a été récupéré pour l'analyse granulométrique.

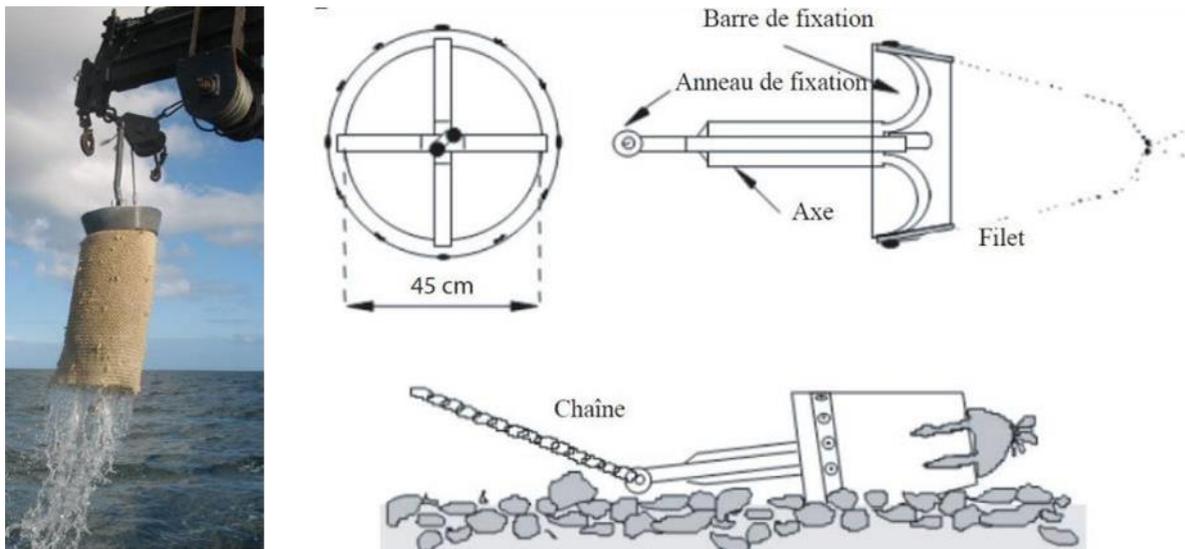


Figure 8 : Drague Rallier du Baty et schéma descriptif de son mécanisme de fonctionnement (Trigui, 2009)

Chaque réplikat, destiné à l'analyse de la macrofaune, a été passé sur un tamis de maille carrée de 1 mm puis conditionné dans un flacon plastique étiqueté. La fixation s'est faite dans une solution formolée (solution d'eau de mer à 6-8 % de formol). Chaque échantillon, destiné à la caractérisation du sédiment est conditionné dans des glacières.

### 3.2 Plan d'échantillonnage

Pour le positionnement des stations d'échantillonnage, plusieurs facteurs sont à considérer. En effet, pour l'étude des peuplements benthiques, les stations doivent être choisies d'après la nature de la couverture sédimentaire superficielle des fonds. Plusieurs résultats préalables ont été utilisés comme les travaux de Larssonneur *et al.* (1979), la campagne de géophysique réalisée par id-Scope et CERES (2011), Ruellet et Talleux (2011) ou encore Foveau et Ruellet (2013). Ces études confirment que la couverture sédimentaire est globalement homogène. Elle est constituée de cailloutis ou de graviers.

Ainsi, sur la superficie totale de la zone d'emprise du projet, qui est d'environ 65 kilomètres carrés, 18 stations sont positionnées dont 8 stations à l'extérieur de la zone d'emprise du projet serviront de stations témoins (Figure 9).

Leur positionnement exact a été validé par le comité de suivi du projet suite aux recommandations du comité scientifique. Il tient compte :

- Des stations échantillonnées lors de l'état initial et des habitats identifiés ;
- Des informations disponibles sur la présence éventuelle d'épaves et de câbles sous-marins ;
- De la campagne de géophysique (id-Scope et CERES, 2011), de sorte que les stations ne se trouvent pas à la limite entre deux faciès, ce qui rendrait l'interprétation des résultats plus délicate ;
- De l'étude courantologique réalisée par BRL ingénierie (2011) de façon à tenir compte de la zone d'extension du panache turbide bien que les analyses disponibles jusqu'à présent montrent que ces fonds sont pauvres en fines et qu'ils ne devraient donc a priori pas poser de problème de panache turbide.

**POSITION DES STATIONS DE PRÉLÈVEMENTS (MSU1)**  
Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments, des habitats et peuplements benthiques  
- Eoliennes Offshore des Hautes Falaises

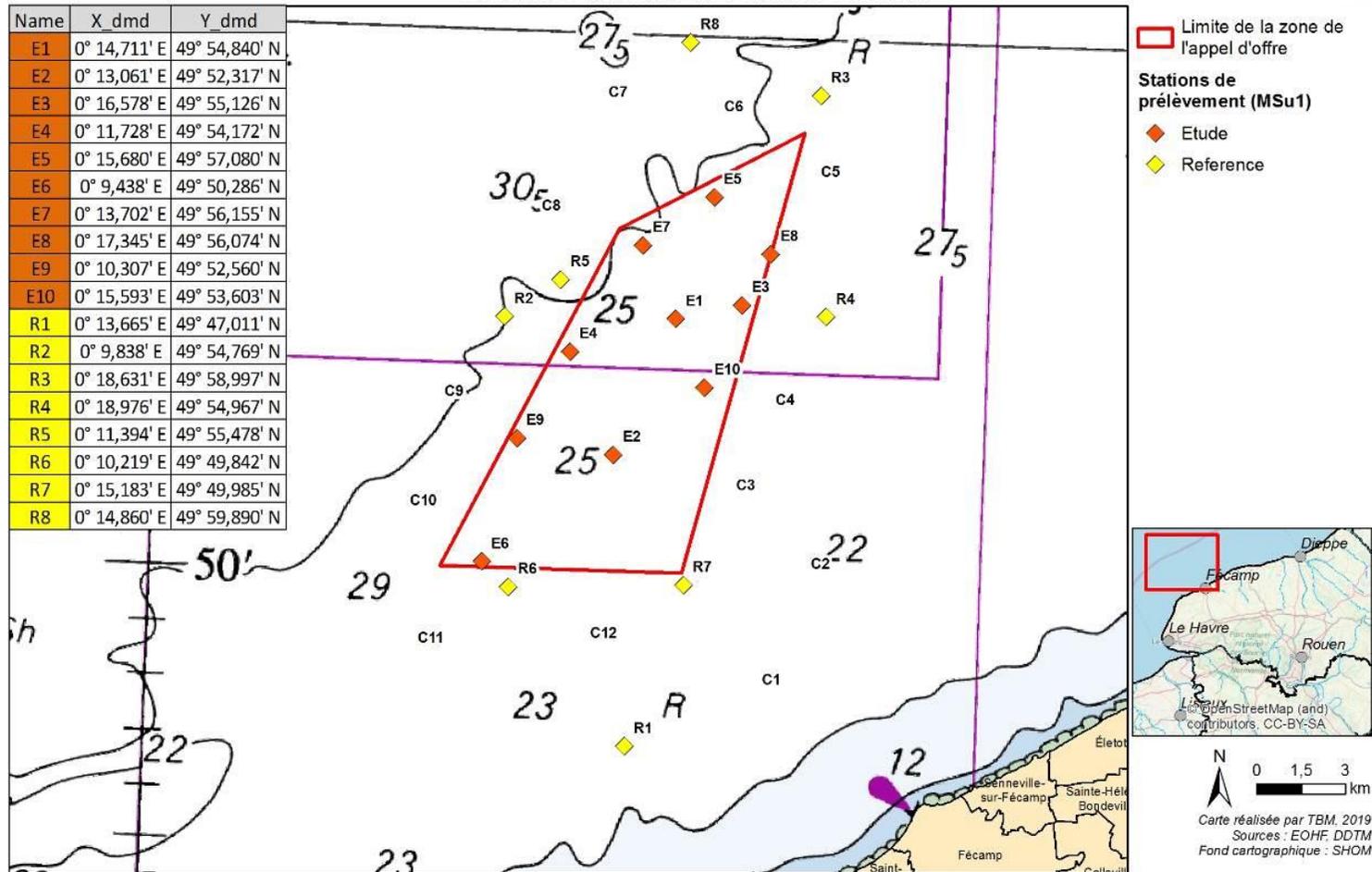


Figure 9 : Plan d'échantillonnage (drague Rallier du Baty)

### 3.3 Analyses sédimentaires et biologiques

#### 3.3.1 Granulométrie

L'analyse granulométrique a été réalisée par tamisage à sec (tamiseuse électrique). 15 tamis de maille carrée (Norme AFNOR) ont été utilisés (Figure 10) : 64 mm, 10 mm, 6,3 mm, 5 mm, 3,15 mm, 2 mm, 1 mm, 710  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , 355  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 180  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$  et 63  $\mu\text{m}$ .



Figure 10 : Colonne de tamis

Le protocole appliqué suit plusieurs étapes standardisées et bien distinctes :

(1) homogénéisation du prélèvement,

(2) séchage du sédiment (environ 300 g) : l'échantillon est mis à sécher dans une étuve à 60°C pendant 48h (Figure 11),



Figure 11 : Echantillons granulométriques à l'étuve

(3) rinçage et tamisage du sédiment sur un tamis de 63  $\mu\text{m}$  : le sédiment, pesé à la sortie de l'étuve, est passé sur un tamis de 63  $\mu\text{m}$ . Cette étape permet l'élimination de la fraction pélitique et du sel,

(4) séchage du sédiment : l'échantillon est laissé dans une étuve à 60°C pendant 48h,

(5) tamisage du sédiment : le sédiment, pesé à la sortie de l'étuve, est passé sur une tamiseuse électrique (Retsch AS200 basic, 15-20 minutes à 60%) comportant une série de 15 tamis aux normes AFNOR, couvrant une gamme comprise entre 0,063 et 64 mm de vide de maille carrée.

Les données brutes correspondant aux proportions des différentes classes granulométriques nous ont permis de calculer les pourcentages des cinq fractions granulométriques majeures, à savoir les galets, cailloutis et graviers (i.e.  $\geq 2$  mm), les sables grossiers ([500  $\mu\text{m}$  à 2 mm ]), les sables moyens ([250-500  $\mu\text{m}$  ]), les sables fins ([63-250  $\mu\text{m}$  ]) et les vases (i.e.  $< 63$   $\mu\text{m}$ ).

### 3.3.2 Tri et détermination

Au laboratoire, les échantillons, conditionnés au cours de la campagne en mer, ont été triés et analysés selon un protocole standardisé.

Préalablement à l'étape du tri, chaque échantillon a été placé sur un tamis de maille carrée de 1 mm et rincé à l'eau pendant au moins 12 heures pour en extraire le formol. L'échantillon rincé est alors mis dans une cuvette, puis minutieusement trié à la pince fine afin de prélever tous les organismes de la macrofaune ( $>1$  mm) qu'il contient. Ces organismes sont placés en pilulier avec de l'alcool à 70° en attendant l'étape de détermination. Les graviers et cailloutis porteurs d'épifaune sessile ont été de nouveau stockés dans des bidons et conservés dans l'alcool dans le but de réaliser ensuite l'analyse de l'épifaune sessile.

La détermination taxonomique de chaque individu est réalisée à l'aide d'une loupe binoculaire et/ou d'un microscope jusqu'au niveau de l'espèce dans la majorité des cas et tant que l'état des individus le permet. Seuls les némertes, les plathelminthes et les oligochètes ne sont mentionnés qu'au niveau de l'embranchement ou groupe taxonomique. Le référentiel taxonomique utilisé est l'European Register of Marine

Species (ERMS) (Costello et *al.*, 2001) ainsi que le World Register of Marine Species (WORMS).

Ainsi, pour chaque prélèvement, le nombre d'espèces ainsi que le nombre exact d'individus par espèce pour l'endofaune et pour l'épifaune vagile ont été comptabilisés. La détermination de l'épibiose sessile (épifaune et épiflore) a été réalisée jusqu'au niveau taxonomique le plus élevé possible (généralement spécifique). Les espèces arrachées des galets ont également été prises en compte. Pour les espèces facilement dénombrables, les individus (ou les colonies dans le cas des *Alcyonium*) ont été dénombrés. Pour les espèces d'épibiose sessile difficilement dénombrables, seule leur présence a été notée.

### 3.3.3 Traitements des données

Pour chacune des stations, l'analyse des prélèvements permet de mesurer plusieurs paramètres. Il est important de retenir que les données sont rapportées par unité de volume et sont donc plus difficiles à interpréter et doivent être considérées comme semi-quantitatives. L'objectif de ces analyses est de caractériser les habitats mais également leur état de conservation au travers d'indices tels que :

- la **richesse spécifique, S** (nombre total ou moyen d'espèces recensées par unité de surface),
- **ES (50)** : Afin de pouvoir comparer la diversité des prélèvements effectués à la drague Rallier du Baty, les valeurs d'ES (50), abréviation de « Expected number of species among 50 individuals » (c'est-à-dire « nombre d'espèces attendues parmi 50 individus ») ont été calculées. C'est un indicateur de diversité basé sur la méthode de raréfaction qui se calcule selon la formule suivante faisant appel à des factoriels :

$$ES(50) = \sum \left[ \frac{((N - n_i)! (N - 50)!)}{((N - n_i - 50)! N!)} \right]$$

avec  $n_i$  l'abondance du taxon  $i$  et  $N$  l'abondance totale dans la station considérée. Les valeurs d'ES(50) sont également calculées au niveau de chaque station. Seules les espèces dénombrables peuvent être prises en compte dans ce calcul.

- **La constance d'une espèce** : c'est le rapport, en pourcentage, entre le nombre de stations ( $P_i$ ) où l'espèce  $i$  est présente et le nombre total de stations ( $P_t$ ) de l'unité biocénotique considérée (Dajoz, 1975). Elle s'exprime par la formule suivante :

$$C_i = \frac{P_i}{P_t} \times 100$$

Il en résulte quatre catégories :

- Espèce rare,  $C < 12,5\%$ ,
  - Espèce occasionnelle,  $12,5 \leq C < 25\%$ ,
  - Espèce commune,  $25 \leq C < 50\%$ ,
  - Espèce constante  $C \geq 50\%$ .
- **L'abondance totale et moyenne, A** (nombre d'individus pour une espèce donnée),
  - **Diagramme Rang Fréquence (DRF)** : il est établi pour chaque communauté ou faciès. Il ne comporte que les espèces dont la fréquence dépasse le seuil de 1 %. Les espèces principales seront sélectionnées à partir de ces DRF.
  - Les **groupes taxonomiques** recensés,
  - L'indice **biotique (AMBI)**.

L'objectif du calcul de ce type d'indice est d'estimer l'état de santé du milieu et ses modifications éventuelles grâce à des groupes d'espèces dont la présence / absence et l'abondance relative témoignent de déséquilibres au sein des peuplements (Alzieu, 2003).

L'indice de qualité du milieu se fonde sur la distinction, au sein de la macrofaune benthique, de cinq groupes écologiques regroupant des espèces ayant en commun une sensibilité similaire vis-à-vis de la matière organique en excès et face au déficit éventuel d'oxygène résultant de sa dégradation. Cinq groupes écologiques de polluto-sensibilités différentes ont été identifiés par Hily (1984) et complétés par de nombreux auteurs (Grall et Glémarec, 1997, Borja et al., 2000, etc.). 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 dépositores, proliférant dans les sédiments réduits.

La Figure 12 illustre l'évolution des groupes écologiques en fonction d'une perturbation croissante liée à un enrichissement en matière organique.

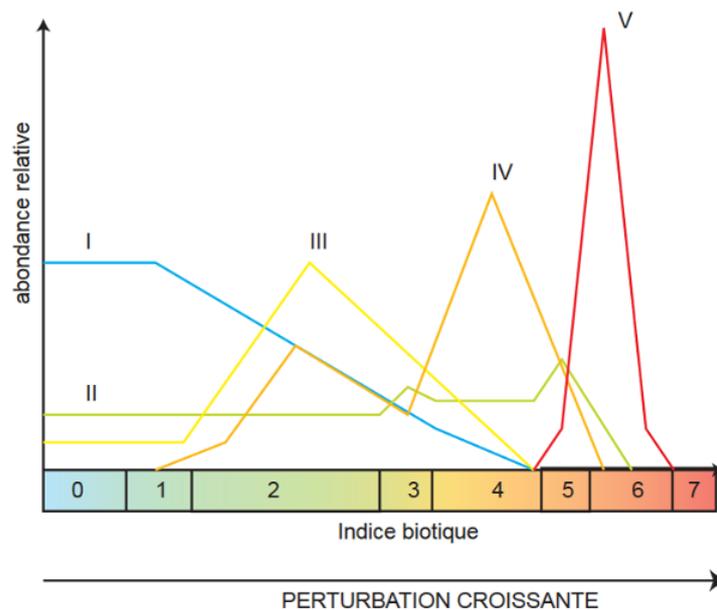


Figure 12 : Modèle des indices biotiques (groupes écologiques notés en chiffres romains) (D'après Grall et Coïc, 2006).

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 :

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

Cette formule a l'avantage de transformer l'indice en variable continue, permettant 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 2 indique les correspondances entre les valeurs de l'indice AMBI et l'état de santé des communautés benthiques.

Tableau 2 : Valeurs d'AMBI et état de santé des communautés benthiques (selon Borja et al, 2000)

AMBI	Groupe Ecologique dominant	Classification de la pollution	État de santé
0,0 < AMBI ≤ 1,2	I	Normal	Très bon
1,2 < AMBI ≤ 3,3	III	Légèrement pollué, état transitoire	Bon
3,3 < AMBI ≤ 4,3		Modérément pollué	Moyen
4,3 < AMBI ≤ 5,5	IV-V	Gravement pollué	Médiocre
5,5 < AMBI ≤ 7	V	Azoïque	Mauvais

- **Analyses multivariées**

Des analyses multivariées ont été utilisées sur les données faunistiques qualitatives et quantitatives. Une méthode d'analyse et de représentation de la structure des peuplements à partir d'une matrice « espèces-stations » a été mise en œuvre pour identifier des assemblages faunistiques correspondant respectivement à des groupements de stations « biologiquement homogènes » à un certain degré de similarité. Au préalable, nous avons transformé nos données. Les espèces ont subi une transformation  $\log(x+1)$  pour diminuer le poids des espèces fortement représentées.

Une méthode de groupement hiérarchique, la Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H.), a été utilisée pour visualiser les regroupements de nature similaire. Les regroupements sont interprétés selon les caractéristiques de ces peuplements et les paramètres environnementaux connus dans les différentes stations. Les C.A.H. sont

réalisées en prenant la distance euclidienne pour les données environnementales et l'indice de similarité de Bray-Curtis pour les données faunistiques. Le logiciel utilisé est PRIMER<sup>®</sup> (version 6).

### 3.3.4 Typologie des habitats

Plusieurs typologies existent comme les cahiers d'Habitats Natura 2000 (2004), la typologie du MNHN (Michez *et al.*, 2015) ou la classification EUNIS. Cette dernière est la seule typologie couvrant les eaux marines européennes et qui est utilisée notamment dans les programmes européens comme MESH et UK SeaMap. C'est donc ce référentiel qui est retenu.

## 4 Résultats pour les prélèvements d'eau

### 4.1 Matière en suspension

Les concentrations de MES mesurées aux 5 stations sont présentées dans le Tableau 3. Il n'y a pas de différence notable entre les stations, ni entre les marées. L'ensemble des valeurs varient entre 0,5 et 6,65 mg. L<sup>-1</sup> à l'exception du prélèvement réalisé à mi-profondeur de la station 1 qui présente une concentration de 19,45 mg. L<sup>-1</sup>. En période de mortes eaux la concentration moyenne des échantillons est de 2,93 ± 1,78 mg. L<sup>-1</sup> contre 2,98 ± 3,27 mg. L<sup>-1</sup> pour les échantillons prélevés en périodes de vives eaux.

Tableau 3 : Matières en suspension (mg. L<sup>-1</sup>) mesurées aux 5 stations pour 3 profondeurs (fond, milieu, surface)

Station					
	1	2	3	4	5 - ref
<b>Données obtenues en période de Mortes Eaux</b>					
<b>Marée Montante</b>					
Subsurface	3,35	2,30	6,00	2,50	1,15
Mi-profondeur	2,50	3,40	0,95	0,65	1,55
Fond	2,05	5,40	0,50	2,95	3,70
<b>Marée Descendante</b>					
Subsurface	1,70	4,05	1,85	2,00	1,20
Mi-profondeur	5,80	6,10	3,55	6,65	1,40
Fond	2,25	2,50	4,55	4,65	0,70
<b>Données obtenues en période de Vives Eaux</b>					
<b>Marée Montante</b>					
Subsurface	1.75	3.95	2.4	1.9	2.25
Mi-profondeur	4.95	2.2	2.4	1.55	2.2
Fond	4.6	1.05	2.25	2.95	1.65
<b>Marée Descendante</b>					
Subsurface	1,15	3,50	3,20	1,85	1,85
Mi-profondeur	19,45	3,55	0,65	2,20	1,80
Fond	1,55	1,95	1,75	3,15	3,60

## 4.2 Profils à la sonde multiparamètres

### 4.2.1 Période de mortes eaux

Comme indiqué précédemment des profils à la sonde multi-paramètres n'ont pu être réalisés qu'à marée descendante à cause d'un dysfonctionnement de la sonde. Les graphiques suivants (Figure 13) représentent l'évolution de la température, la salinité, la concentration en oxygène, la chlorophylle *a* et la turbidité relevée lors de profils à la sonde, le 14 février 2019 en mortes eaux. Le Tableau 4 donne également les principales caractéristiques de chaque station.

D'un point de vue globale, les 5 stations sont assez homogènes avec une température comprise entre 7,6°C (station 5) et 8,2°C (station 1) ; des concentrations en chlorophylle *a* et en oxygène avoisinant 0,2 µg. L<sup>-1</sup> et 9,7 mg. L<sup>-1</sup>, respectivement. La turbidité est globalement inférieure à 3 FNU ce qui rejoint les faibles concentrations en MES mesurées.

Seule la salinité présente un léger gradient côte-large. En effet, la station témoin – station 5 est la plus proche de la côte et présente la salinité la plus faible (32,8). Puis les stations 3 et 4 s'éloignent vers le large et présentent des salinités intermédiaires avec 33,5 et 33,7. Enfin les stations 1 et 2 sont les plus au large avec une salinité de 34,3.

Tableau 4 : Principales caractéristiques (moyennes ± écart type) des 5 stations échantillonnées avec la sonde multiparamètres pendant les mortes eaux du 14 février 2019

Stations					
	1	2	3	4	5
<b>Mortes eaux</b>					
<b>Marée descendante</b>					
Température (°C)	8,17 ± 0,13	8,03 ± 0,29	7,82 ± 0,30	7,94 ± 0,13	7,59 ± 0,11
Salinité(PSU)	34,3 ± 0,11	34,3 ± 0,28	33,5 ± 0,24	33,7 ± 0,15	32,8 ± 0,09
Chlorophylle <i>a</i> (µg. L <sup>-1</sup> )	0,18 ± 0,21	0,20 ± 0,07	0,22 ± 0,15	0,18 ± 0,09	0,21 ± 0,10
Oxygène dissous (mg.L <sup>-1</sup> )	9,56 ± 0,18	9,86 ± 0,35	9,71 ± 0,25	9,67 ± 0,19	9,80 ± 0,22
Turbidité (FNU)	1,71 ± 0,64	1,83 ± 0,94	2,62 ± 3,76	1,77 ± 0,51	2,62 ± 1,25
Profondeur (m)	0-32,3	0-19,4	0-30,3	0-30,6	0-28,2

Suivi de la qualité de l'eau, des habitats et des peuplements benthiques  
TBM environnement

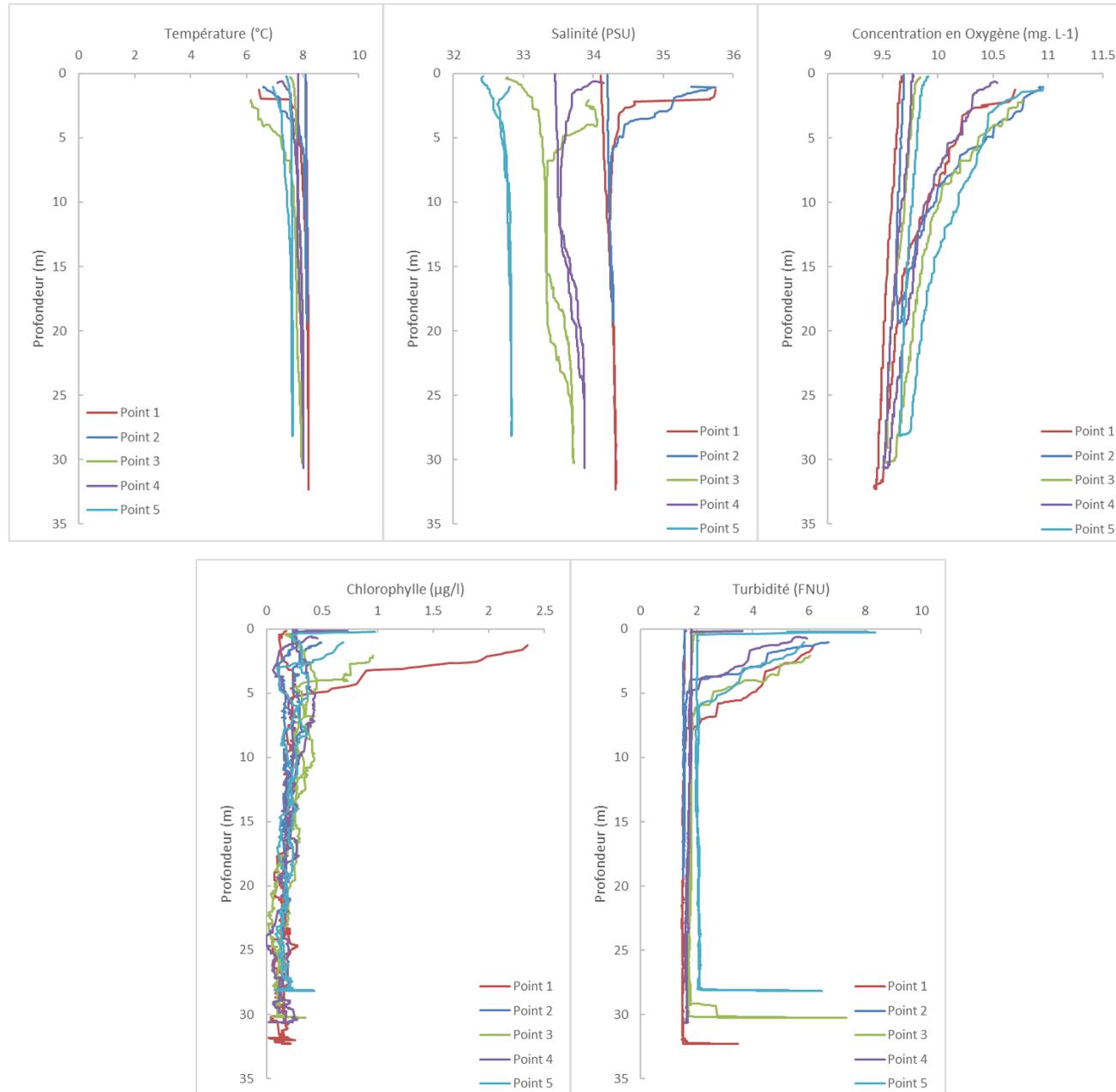


Figure 13 : Evolution de la température, de la salinité, de l'oxygène, de la chlorophylle a, de la turbidité mesurée le 14 février 2019 en mortes eaux sur les 5 stations.

#### 4.2.2 Période de vives eaux

Les graphiques suivants représentent l'évolution de la température, la salinité, la concentration en oxygène, la chlorophylle *a* et la turbidité relevée lors de profils à la sonde en vives eaux. Ils ont été réalisés le 19 février 2019 pour la marée descendante (Figure 14) et le 20 février 2019 pour la marée montante (Figure 15). Le Tableau 5 donne également les principales caractéristiques de chaque station.

D'un point de vue général, les stations 1 à 5 sont homogènes en périodes de vives eaux que ce soit à marée montante ou descendante avec une température moyenne de  $8,1 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ , une concentration en oxygène dissous de  $9,7 \pm 0,1 \text{ mg. L}^{-1}$  et une turbidité avoisinant les 3 FNU.

Comme observé en période de mortes eaux, la salinité présente toujours un léger gradient de la côte (station 5) vers le large (stations 1-2).

Enfin la concentration en chlorophylle *a* est homogène parmi les 5 stations. Il est à noter cependant qu'elle est plus forte en période de marée descendante ( $0,52 \pm 0,07 \mu\text{g. L}^{-1}$ ) qu'en marée montante ( $0,21 \pm 0,03 \mu\text{g. L}^{-1}$ ).

Tableau 5 : Principales caractéristiques (moyennes  $\pm$  écart type) des 5 stations échantillonnées avec la sonde multiparamètres pendant les vives eaux du 19 et 20 février 2019

Stations					
	1	2	3	4	5
Vives eaux					
Marée montante					
Température (°C)	8,15 $\pm$ 0,14	8,31 $\pm$ 0,07	7,87 $\pm$ 0,25	7,97 $\pm$ 0,24	7,75 $\pm$ 0,12
Salinité(PSU)	34,1 $\pm$ 0,14	34,4 $\pm$ 0,07	33,5 $\pm$ 0,24	33,8 $\pm$ 0,23	33 $\pm$ 0,10
Chlorophylle <i>a</i> ( $\mu\text{g. L}^{-1}$ )	0,19 $\pm$ 0,11	0,22 $\pm$ 0,08	0,17 $\pm$ 0,13	0,20 $\pm$ 0,24	0,26 $\pm$ 0,17
Oxygène dissous (mg.L <sup>-1</sup> )	9,66 $\pm$ 0,12	9,65 $\pm$ 0,09	9,80 $\pm$ 0,20	9,73 $\pm$ 0,19	9,87 $\pm$ 0,18
Turbidité (FNU)	2,8 $\pm$ 1,15	2,74 $\pm$ 1,09	3,31 $\pm$ 1,59	3,10 $\pm$ 1,56	4,19 $\pm$ 2,53
Profondeur (m)	0-34,2	0-37,8	0-32,5	0-33,4	0-29,3
Marée descendante					
Température (°C)	8,40 $\pm$ 0,13	8,30 $\pm$ 0,05	8,29 $\pm$ 0,14	8,46 $\pm$ 0,13	7,59 $\pm$ 0,11
Salinité(PSU)	34,3 $\pm$ 0,13	34,2 $\pm$ 0,05	34,1 $\pm$ 0,13	34,4 $\pm$ 0,12	33,7 $\pm$ 0,03
Chlorophylle <i>a</i> ( $\mu\text{g. L}^{-1}$ )	0,50 $\pm$ 0,20	0,41 $\pm$ 0,15	0,57 $\pm$ 0,32	0,55 $\pm$ 0,34	0,58 $\pm$ 0,15
Oxygène dissous (mg.L <sup>-1</sup> )	9,60 $\pm$ 0,11	9,56 $\pm$ 0,10	9,55 $\pm$ 0,14	9,53 $\pm$ 0,13	9,62 $\pm$ 0,09
Turbidité (FNU)	2,46 $\pm$ 1,58	2,39 $\pm$ 1,23	3,67 $\pm$ 2,43	3,02 $\pm$ 1,96	3,51 $\pm$ 1,84
Profondeur (m)	0-33,0	0-40	0-33,5	0-34	0-30,7

Suivi de la qualité de l'eau, des habitats et des peuplements benthiques  
TBM environnement

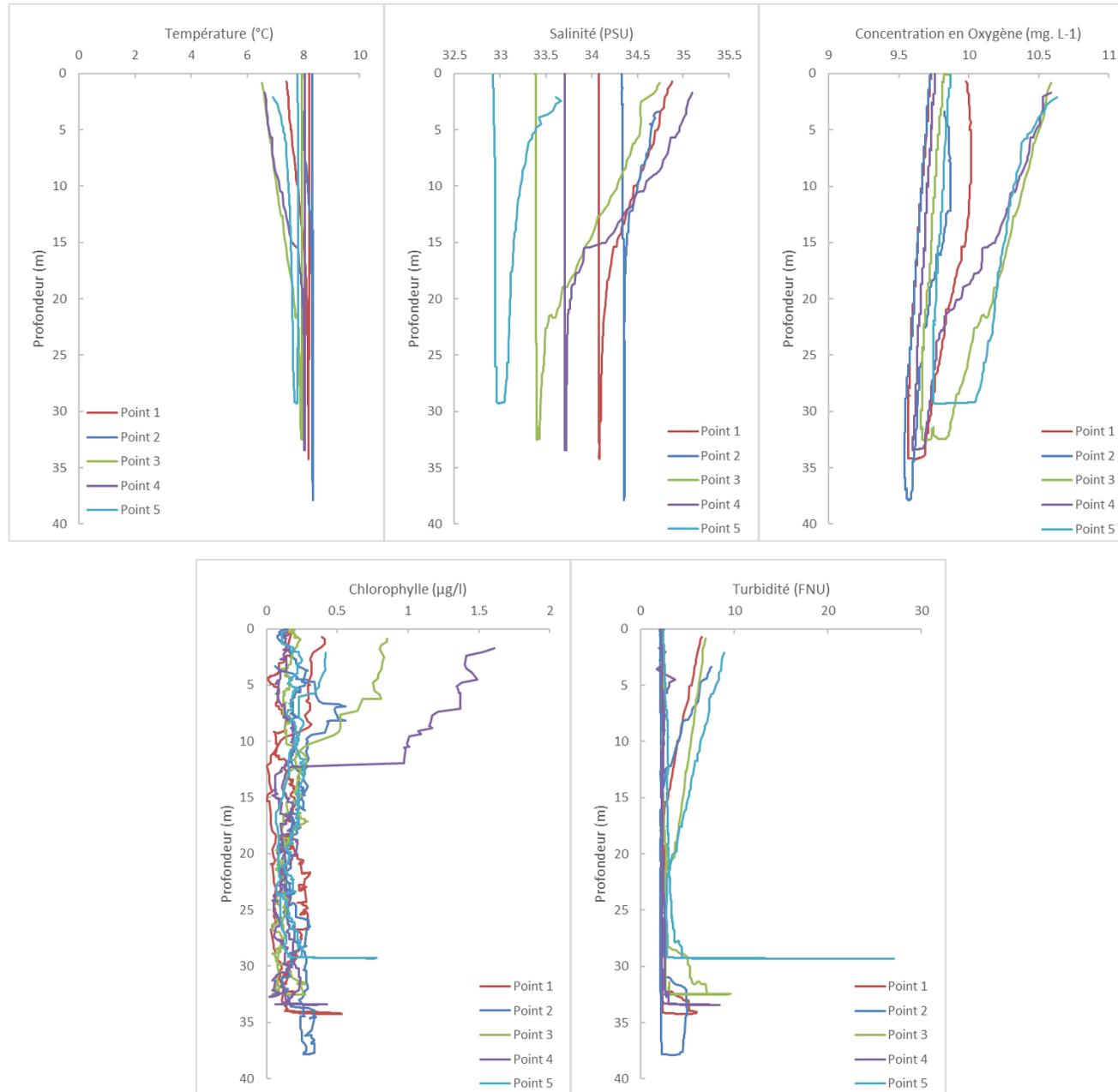


Figure 14 : Evolution de la température, de la salinité, de l'oxygène, de la chlorophylle a, de la turbidité mesurée le 19 février 2019 en vives eaux à marée descendante sur les 5 stations.

Suivi de la qualité de l'eau, des habitats et des peuplements benthiques  
TBM environnement

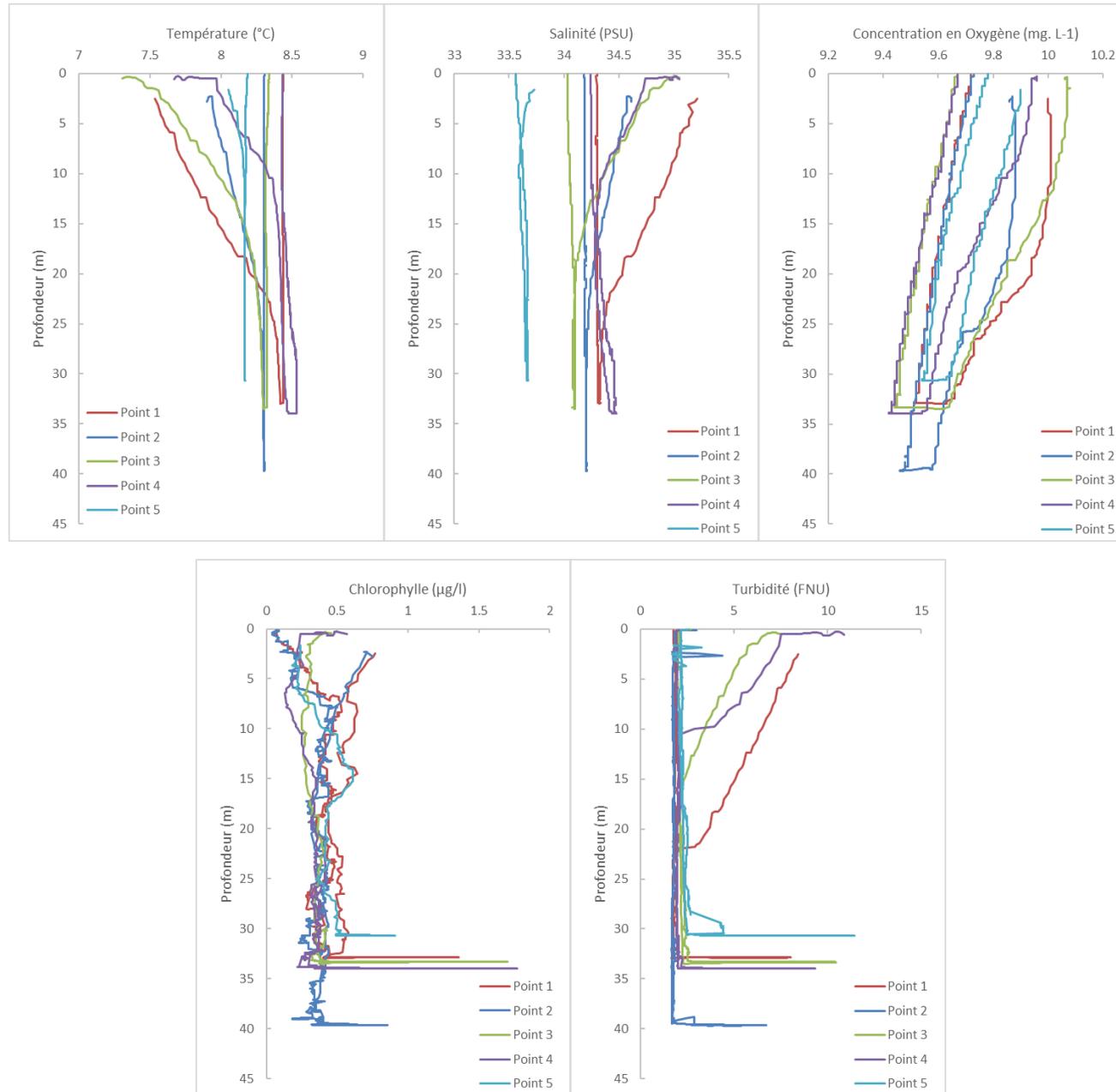


Figure 15 : Evolution de la température, de la salinité, de l'oxygène, de la chlorophylle a, de la turbidité mesurée le 20 février 2019 en vives eaux à marée montante sur les 5 stations.

## 5 Résultats pour les prélèvements benthiques

### 5.1 Caractéristiques granulométriques des stations

16 analyses granulométriques ont été réalisées en 2019 car les R01 et R07 étaient uniquement constituées de galets. Les photographies de tous ces points sont consultables en Annexe 2. La Figure 16 illustre une homogénéité pour les stations. Un seul ensemble sédimentaire est mis en évidence : les galets et graviers plus ou moins ensablés. Les pourcentages de sédiments fins à très fins sont très faibles (pourcentages < 1 %). La Figure 17 indique leur répartition spatiale.

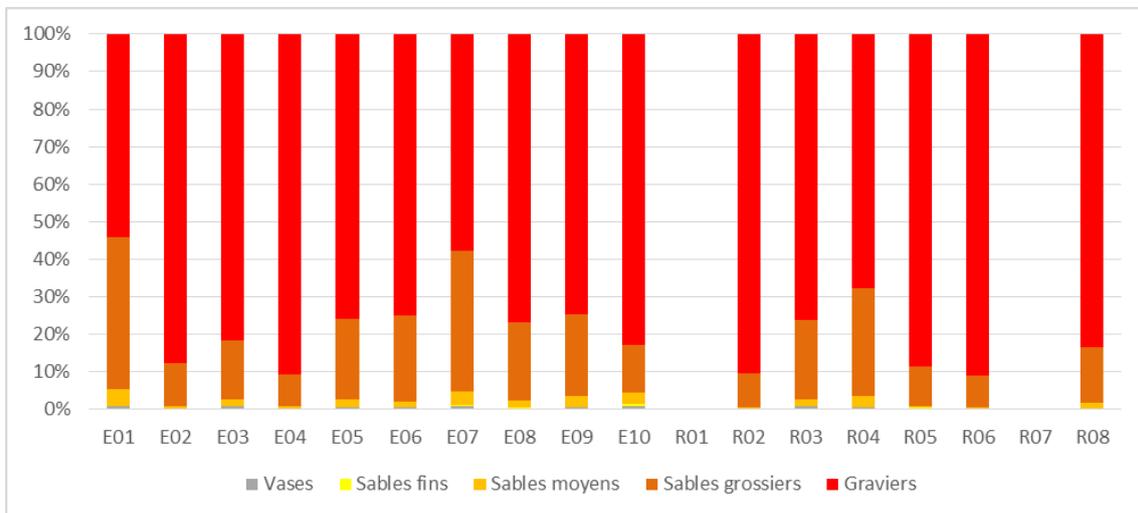


Figure 16 : Pourcentages des fractions granulométriques pour les 15 stations

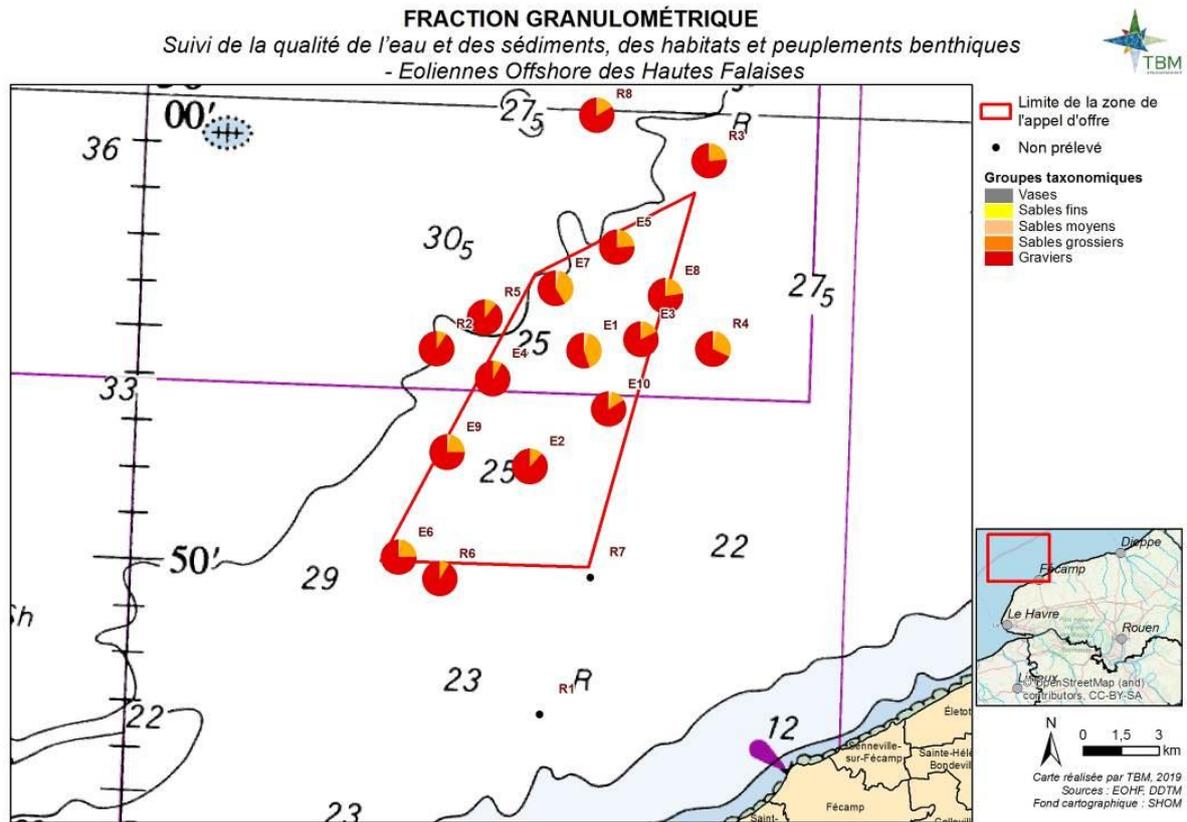


Figure 17 : Pourcentages des fractions granulométriques aux différentes stations échantillonnées

Des analyses multivariées ont été réalisées d'après la matrice des distances euclidiennes (Figure 18 et Figure 19). Les proportions des fractions de vases, sables fins, sables moyens, sables grossiers sont illustrées. L'indice de stress (i.e. 0,02) du MDS indique une très bonne qualité de l'ordination des sites. Ces graphiques illustrent bien la présence d'une unité sédimentaire : les graviers plus ou moins ensablés. Une légère disparité est observée en lien avec le pourcentage de sables grossiers.

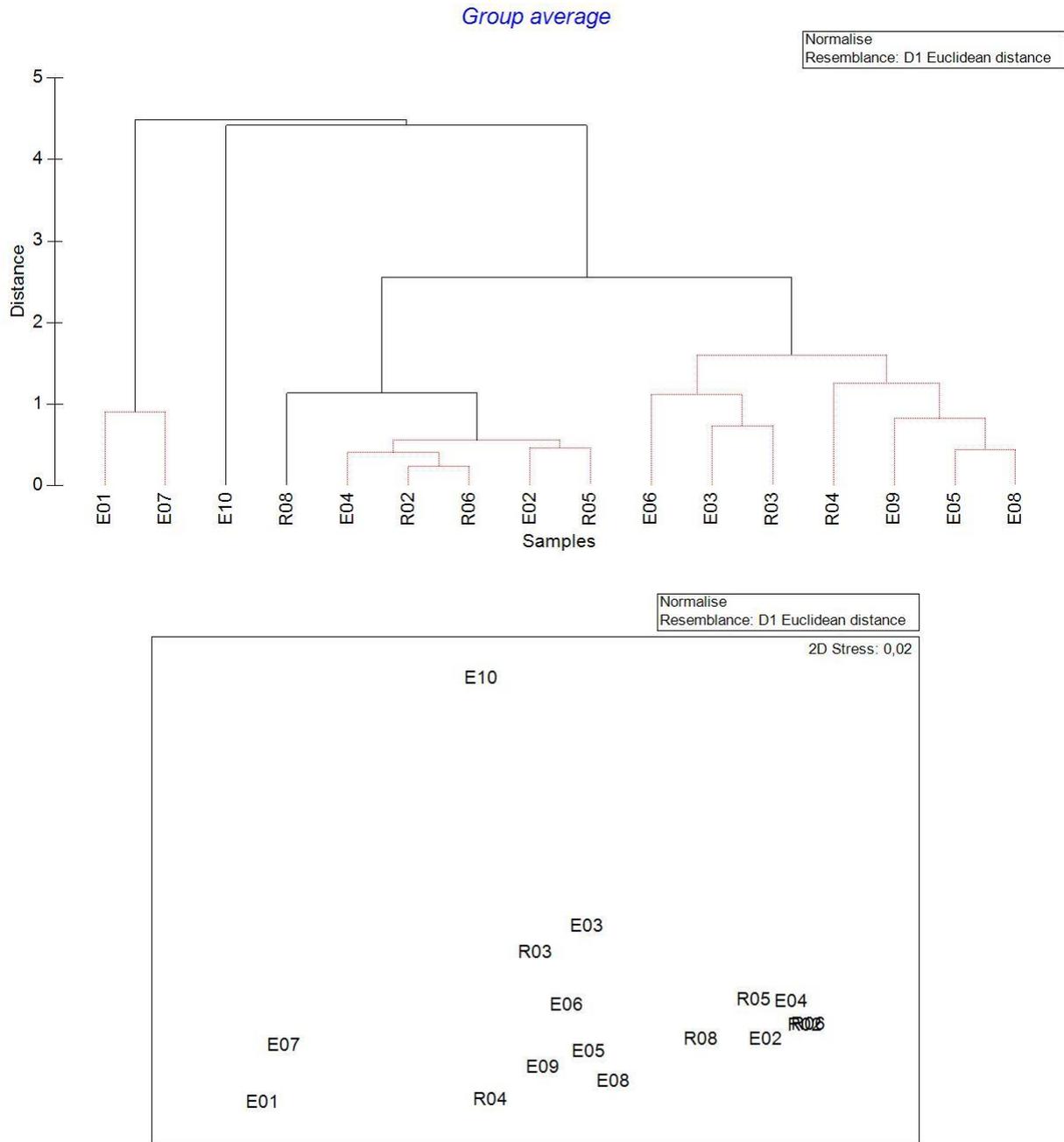


Figure 18 : CAH et MDS effectuée à partir de la matrice des distances euclidiennes, calculée d'après les données granulométriques.

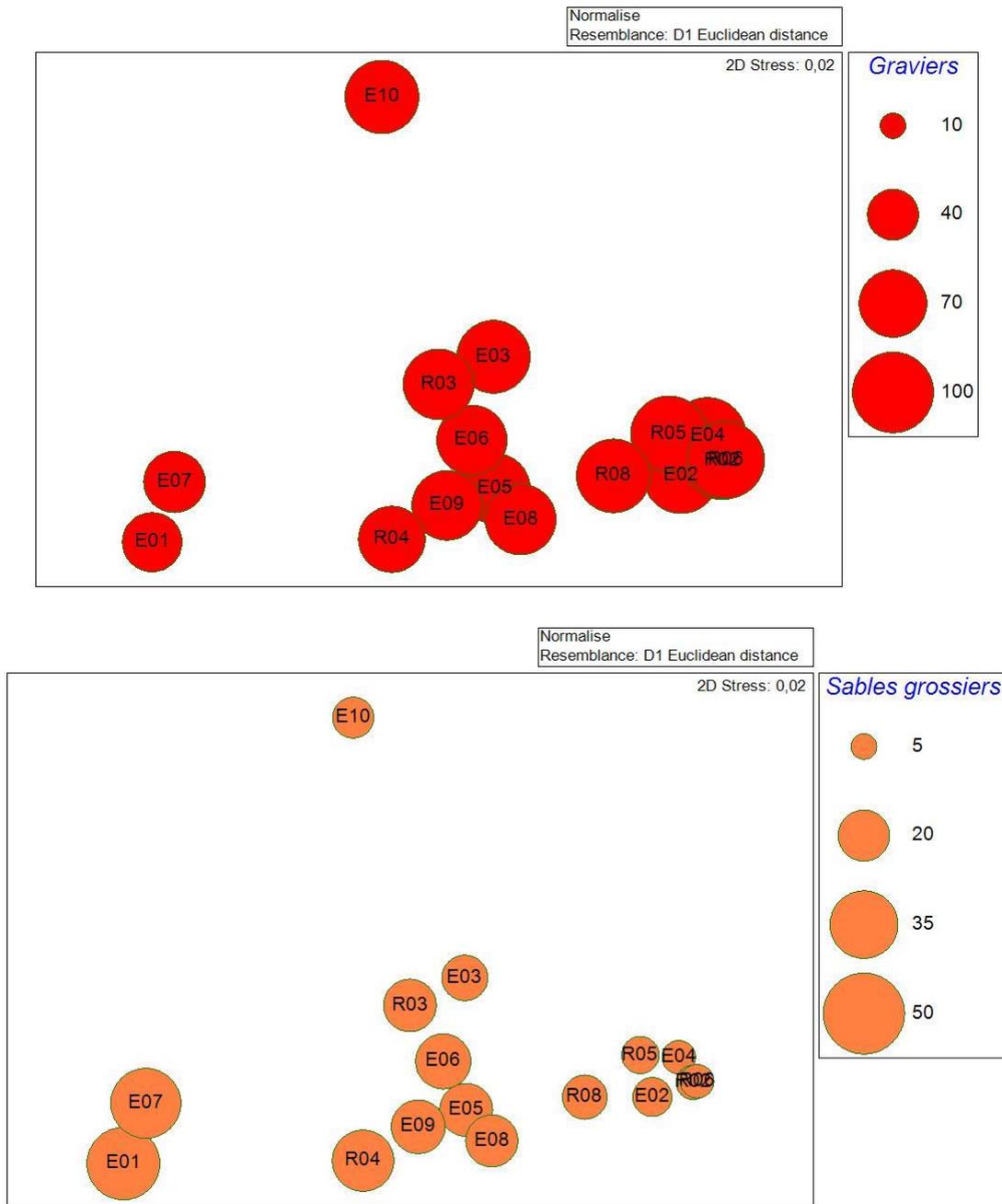


Figure 19 : MDS effectuées à partir de la matrice des distances euclidiennes, calculée d'après les données granulométriques.

En 2021, 18 analyses granulométriques ont été réalisées. Les photographies de tous ces points sont consultables en Annexe 3. La Figure 20 illustre également une homogénéité pour les stations. Un seul ensemble sédimentaire est mis en évidence comme en 2019 : les galets et graviers plus ou moins ensablés. Les pourcentages de sédiments fins à très fins sont très faibles (pourcentages < 1 %). La Figure 21 indique leur répartition spatiale.

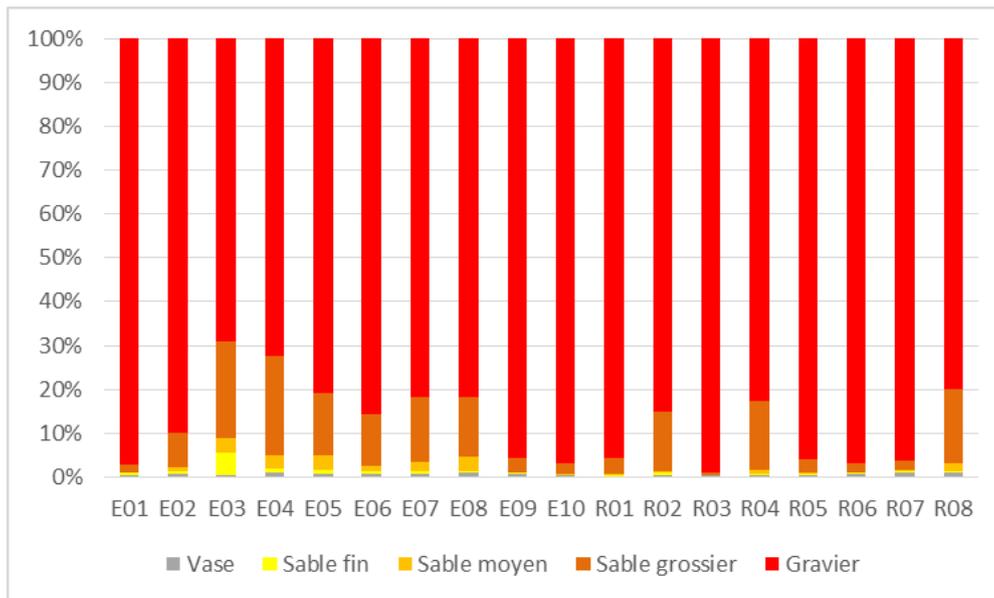


Figure 20 : Pourcentages des fractions granulométriques pour les 18 stations en 2021

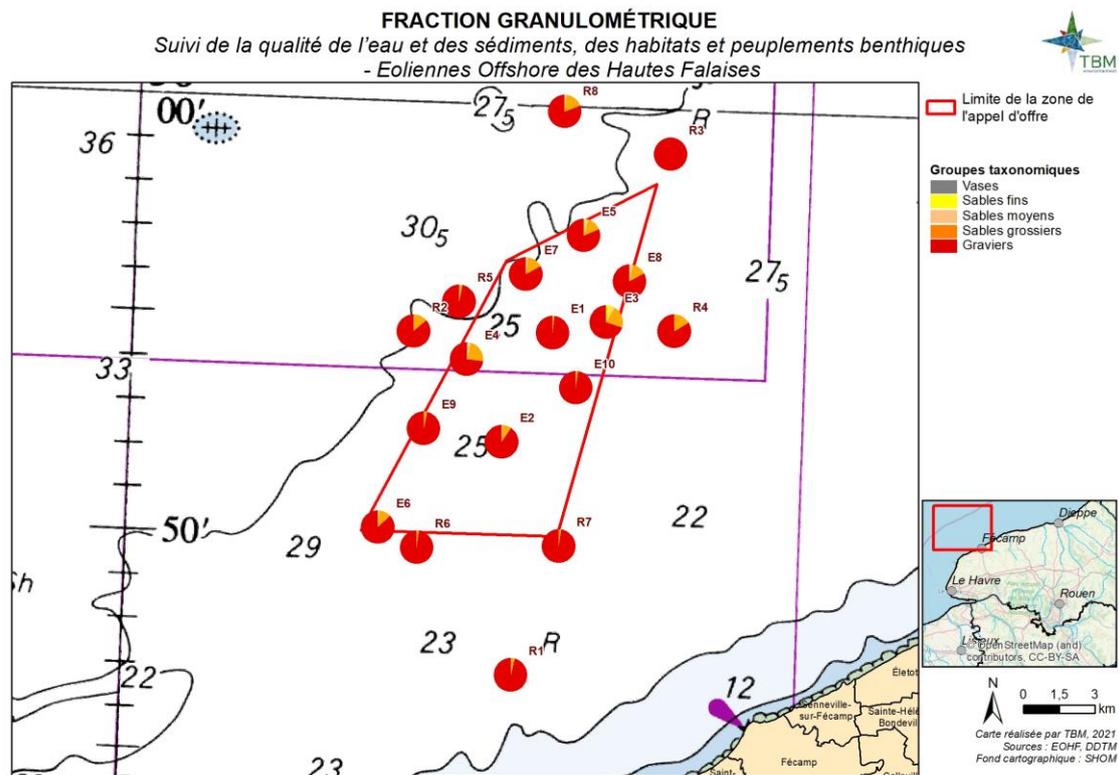


Figure 21 : Pourcentages des fractions granulométriques aux différentes stations échantillonnées en 2021

**En conclusion, les résultats granulométriques indiquent une homogénéité de la zone d'étude en 2019 et 2021. Les stations échantillonnées sont associées à un type de fond sédimentaire : les galets et graviers plus ou moins ensablés.**

La Figure 22 illustre quelques photographies des stations échantillonnées.



Figure 22 : Illustrations de quatre stations

## 5.2 Caractéristiques faunistiques des stations

Un total de 18 stations semi-quantitatives a été échantillonné à la drague Rallier du Baty en 2019 et 2021. Sur l'ensemble des échantillons analysés, 21 381 individus et 23 838 individus ont été dénombrés respectivement en 2019 et 2021. Sur l'ensemble des échantillons 334 taxons ont été identifiés. L'annexe 4 présente les données faunistiques brutes.

### 5.2.1 Richesse spécifique

Les richesses spécifiques moyennes sont comprises entre 41 et 92 espèces en 2019 et entre 32 et 68 espèces en 2021 (Figure 23, Figure 24, Figure 25).

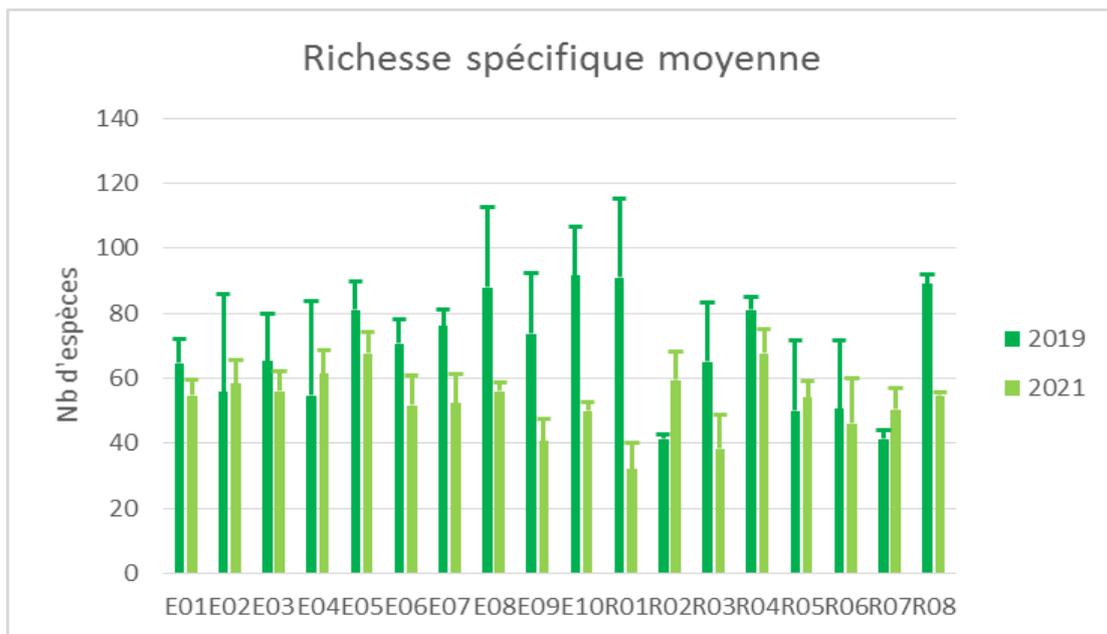


Figure 23 : richesse spécifique moyenne

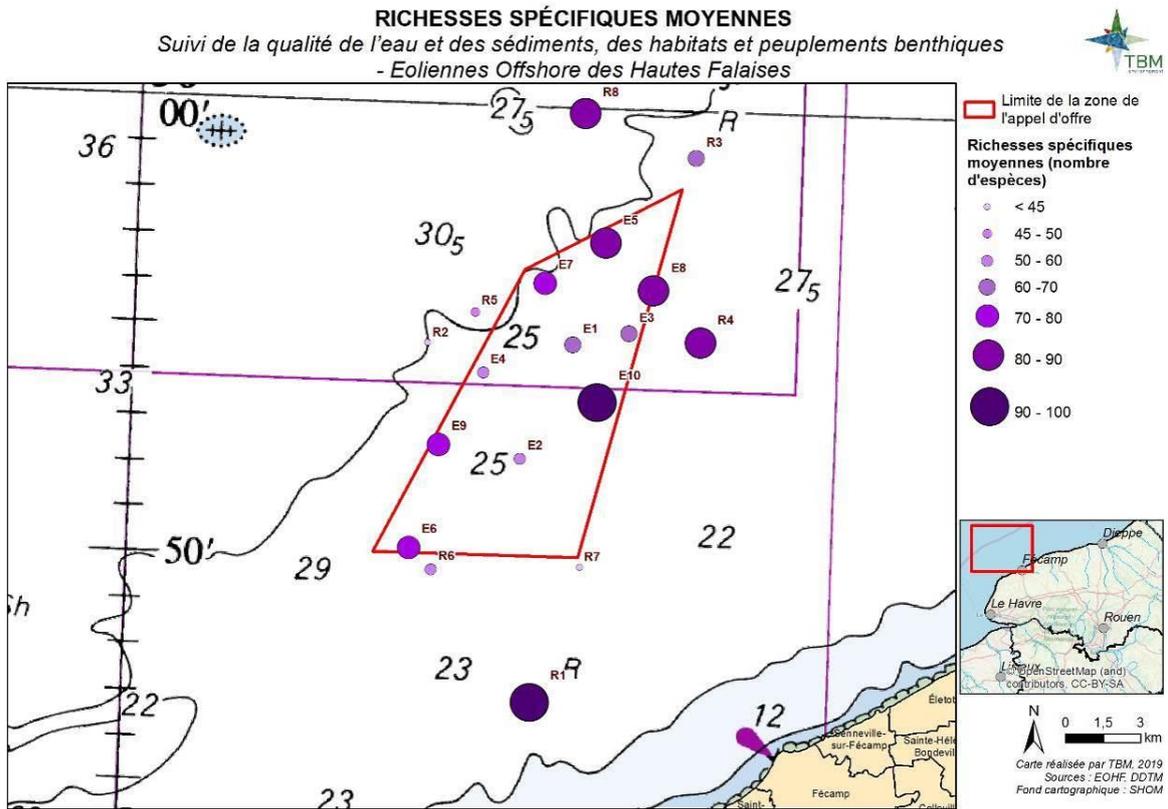


Figure 24 : Cartographie de la richesse spécifique en 2019

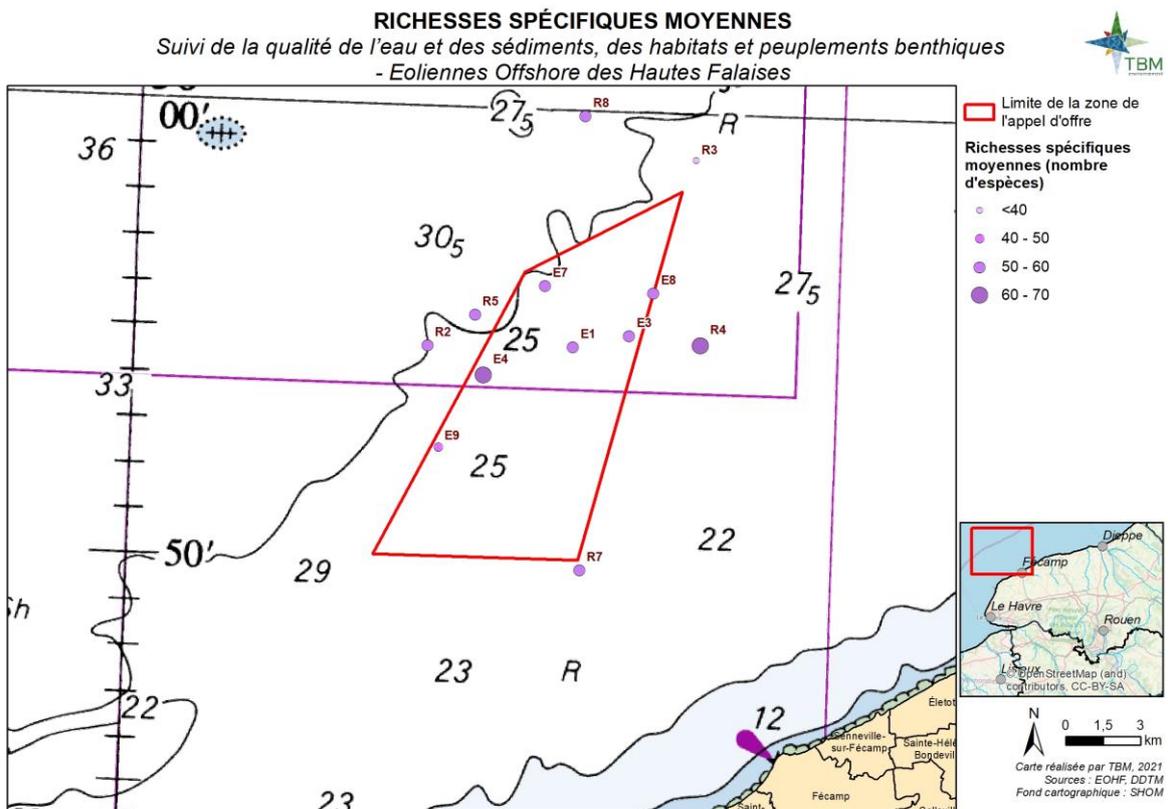


Figure 25 : Cartographie de la richesse spécifique en 2021

Les richesses spécifiques totales varient de 71 espèces à 155 espèces en 2019 et entre 59 et 116 espèces en 2021 (Figure 26, Figure 27, Figure 28).

Ainsi, des variabilités entre les stations et entre les années sont observées. Les valeurs minimales sont observées sur les stations R02 et R07 en 2019 et sur R01 et R03 en 2021. Les valeurs maximales sont mises en évidence sur les stations E08, E10, R01 et R08 en 2019 et sur les stations E05 et R04 en 2021. Les valeurs sont légèrement plus élevées en 2019 qu'en 2021. Les différences annuelles les plus marquées sont mises en évidence sur les E08 à E10 et R01.



Figure 26 : Richesse spécifique totale

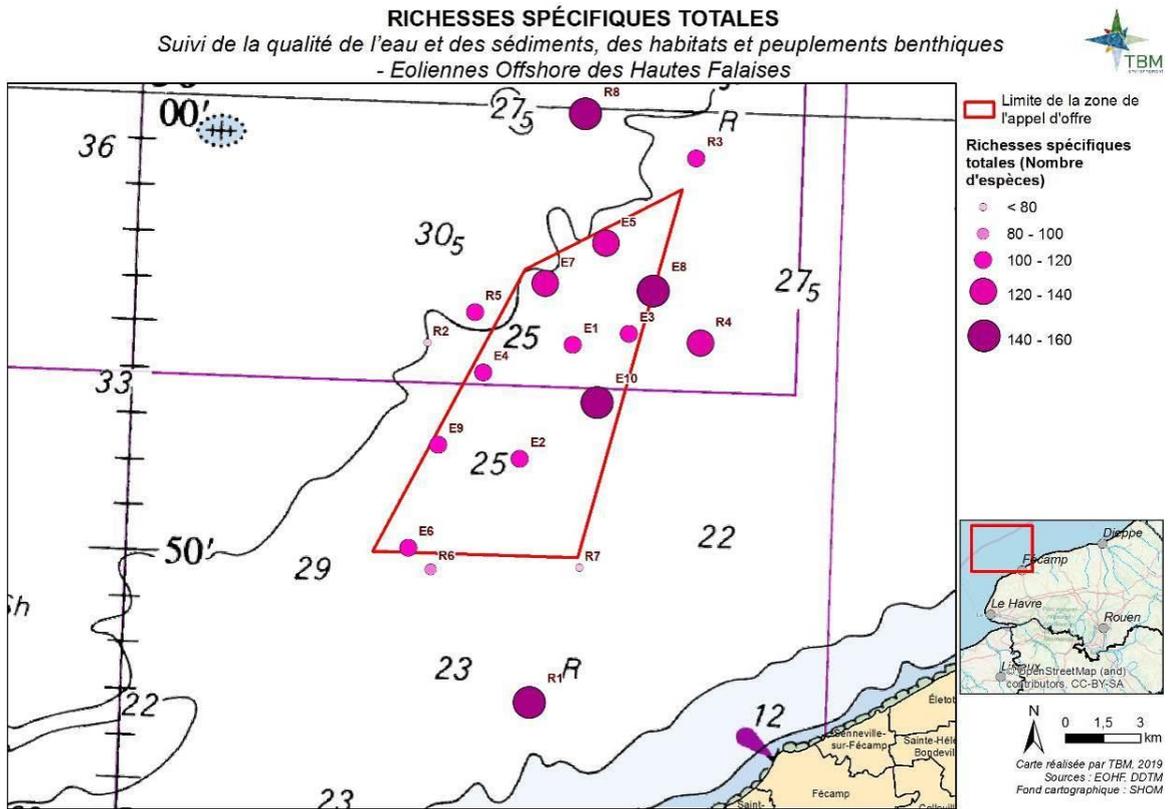


Figure 27 : Cartographie de la richesse spécifique totale en 2019

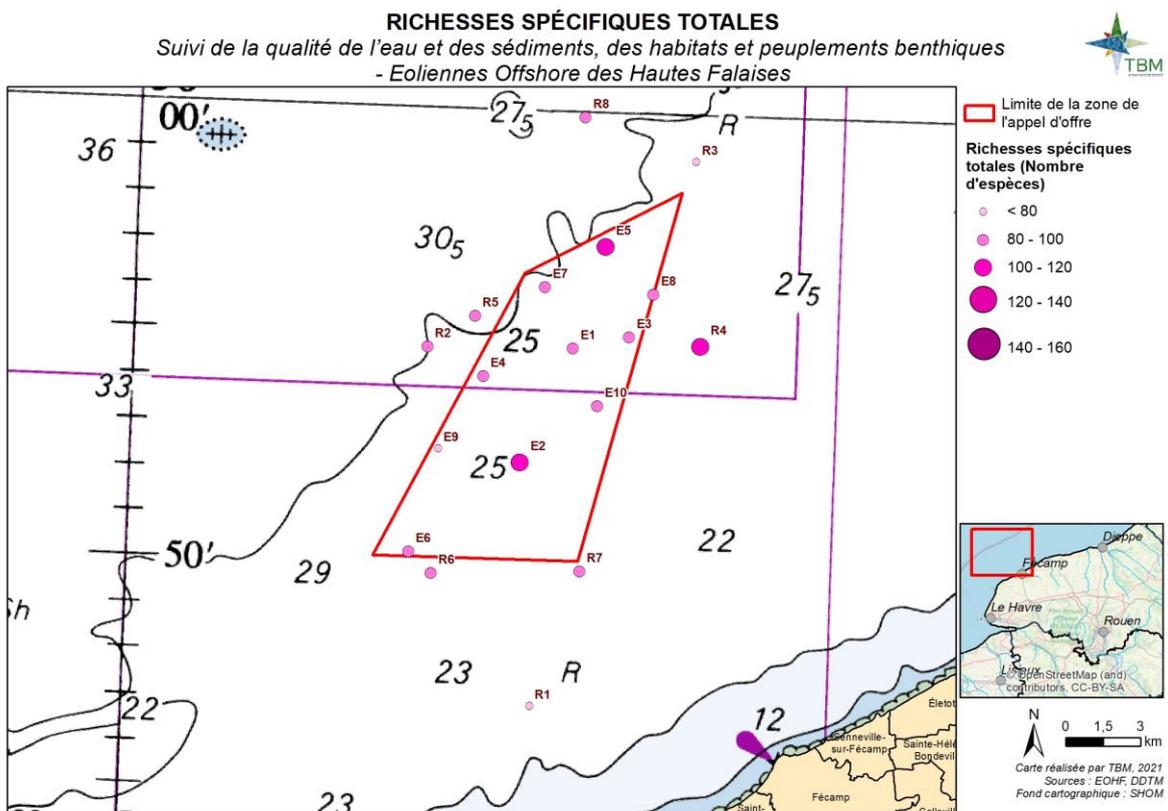


Figure 28 : Cartographie de la richesse spécifique totale en 2021

Les Tableau 6 et Tableau 7 indiquent les richesses spécifiques totales en fonction des espèces de l'endofaune, de l'épifaune vagile (RSv), et de celles de l'épifaune sessile (RSs). Il apparaît clairement que les taxa sessiles représentent une part non négligeable du peuplement. Les pourcentages sont compris entre 16 et 32% des taxa déterminés en 2019 et entre 15 et 34% en 2021.

*Tableau 6 : Richesse spécifique (RS) rencontrée sur la zone du projet en 2019. RSt = RS totale, RSv = RS de l'endofaune et de l'épifaune vagile, RSs =RS de l'épifaune sessile*

Stations	RSt	RSv	RSs	%RSs
<b>E01</b>	112	91	21	19%
<b>E02</b>	111	93	18	16%
<b>E03</b>	115	96	19	17%
<b>E04</b>	104	87	17	16%
<b>E05</b>	142	118	24	17%
<b>E06</b>	118	96	22	19%
<b>E07</b>	129	108	21	16%
<b>E08</b>	147	123	24	16%
<b>E09</b>	119	96	23	19%
<b>E10</b>	150	122	28	19%
<b>R01</b>	156	131	25	16%
<b>R02</b>	73	53	20	27%
<b>R03</b>	116	91	25	22%
<b>R04</b>	137	114	23	17%
<b>R05</b>	103	83	20	19%
<b>R06</b>	97	73	24	25%
<b>R07</b>	77	52	25	32%
<b>R08</b>	148	118	30	20%

Tableau 7 : Richesse spécifique (RS) rencontrée sur la zone du projet en 2021. RSt = RS totale, RSv = RS de l'endofaune et de l'épifaune vagile, RSs =RS de l'épifaune sessile

Stations	RSt	RSv	RSs	%RSs
<b>E01</b>	88	71	17	19%
<b>E02</b>	107	91	16	15%
<b>E03</b>	94	72	22	23%
<b>E04</b>	97	79	18	19%
<b>E05</b>	104	86	18	17%
<b>E06</b>	94	73	21	22%
<b>E07</b>	94	78	16	17%
<b>E08</b>	100	79	21	21%
<b>E09</b>	74	53	21	28%
<b>E10</b>	87	69	18	21%
<b>R01</b>	59	39	20	34%
<b>R02</b>	100	78	22	22%
<b>R03</b>	71	47	24	34%
<b>R04</b>	116	93	23	20%
<b>R05</b>	98	73	25	26%
<b>R06</b>	89	65	24	27%
<b>R07</b>	85	64	21	25%
<b>R08</b>	95	76	19	20%

### 5.2.2 Abondance

Les abondances moyennes varient de 206 individus à 663 individus en moyenne dans 10 litres de sédiment en 2019 et entre 151 et 700 individus en 2021 (Figure 29, Figure 30, Figure 31). Les abondances totales (ind/30 litres) sont comprises entre 618 et 1 990 individus en 2019 et entre 452 et 2 100 individus en 2021 (Figure 29, Figure 32, Figure 33). Ainsi, des variabilités entre les stations et entre les années sont observées. Les valeurs minimales sont observées sur la station R07 en 2019 et sur la station R03 en 2021. Les valeurs maximales sont mises en évidence sur la station E01 en 2019 et sur la station E08 en 2021.

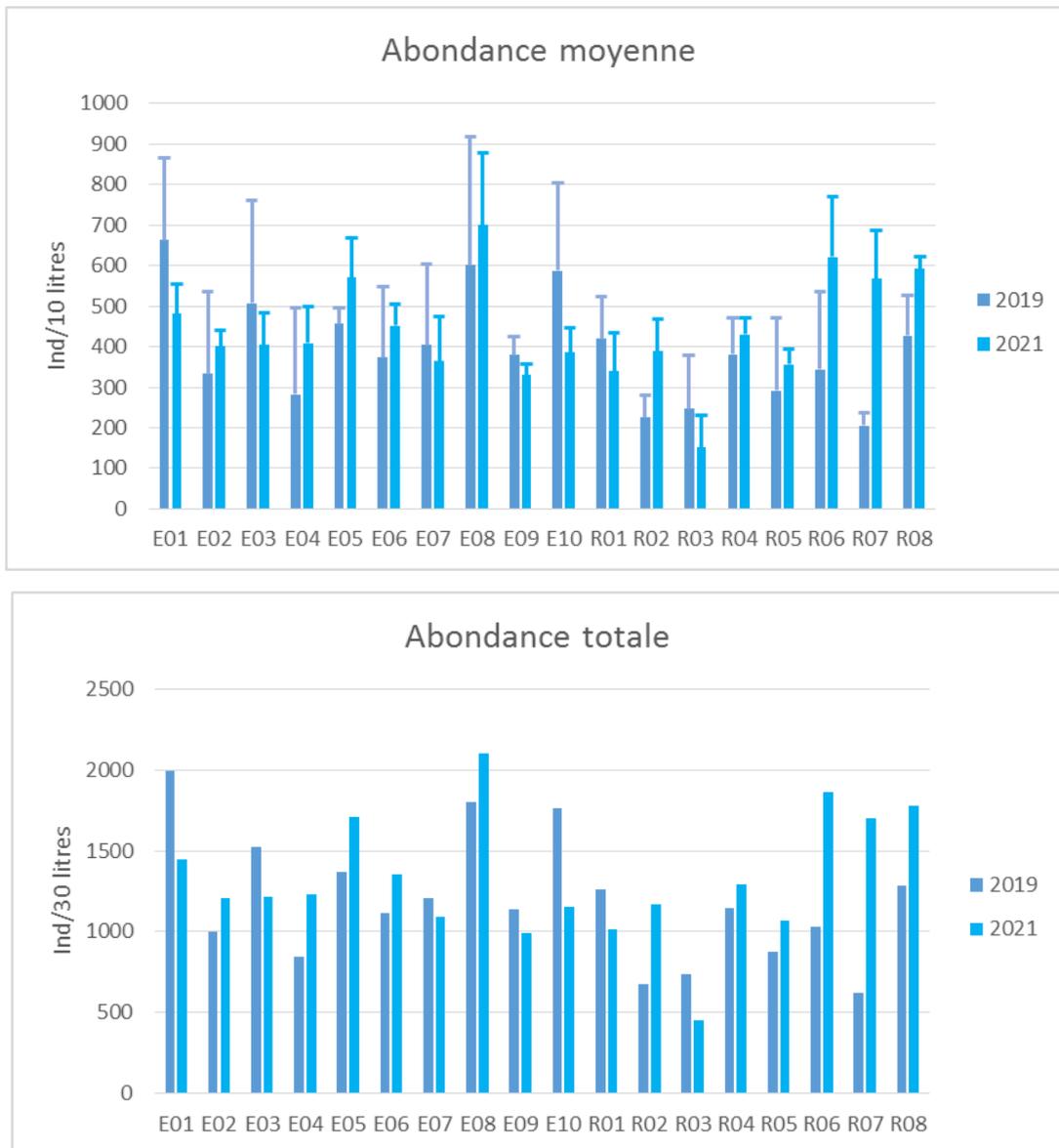


Figure 29 : Abondances moyennes et totales

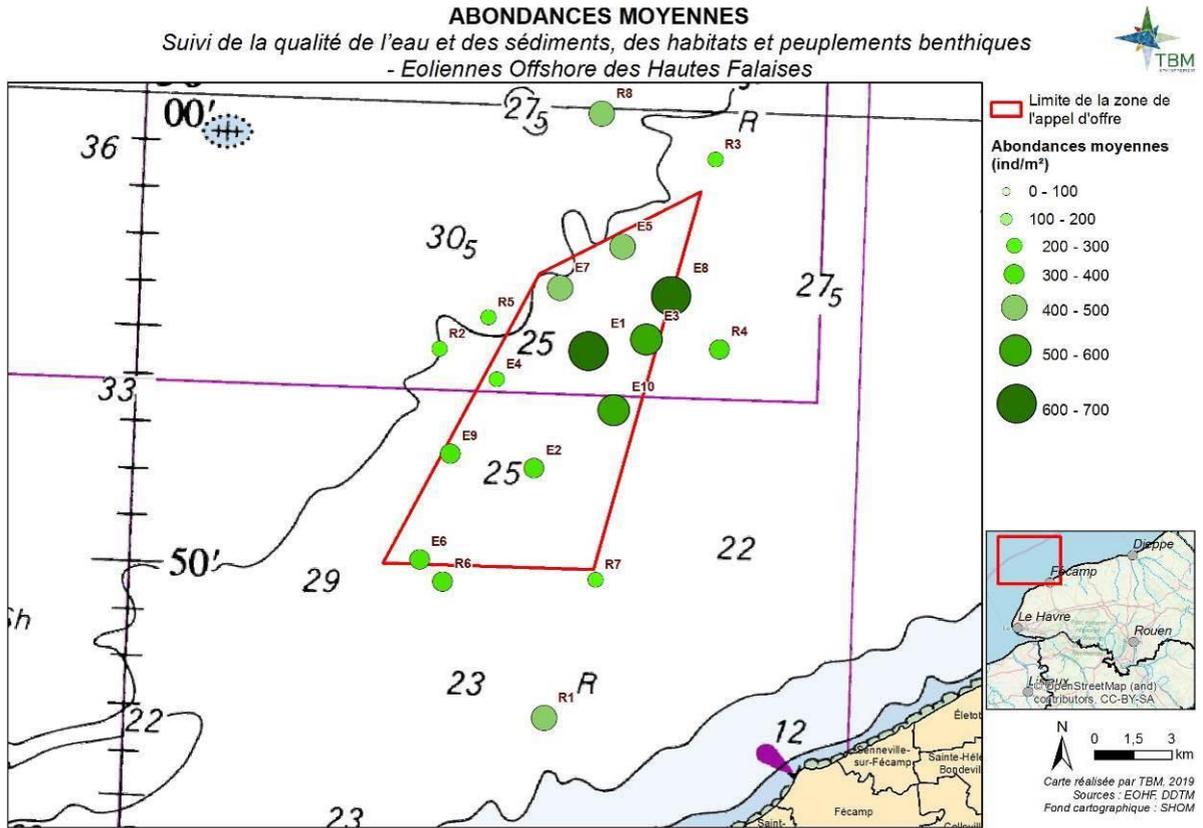


Figure 30 : Abondances moyennes en 2019

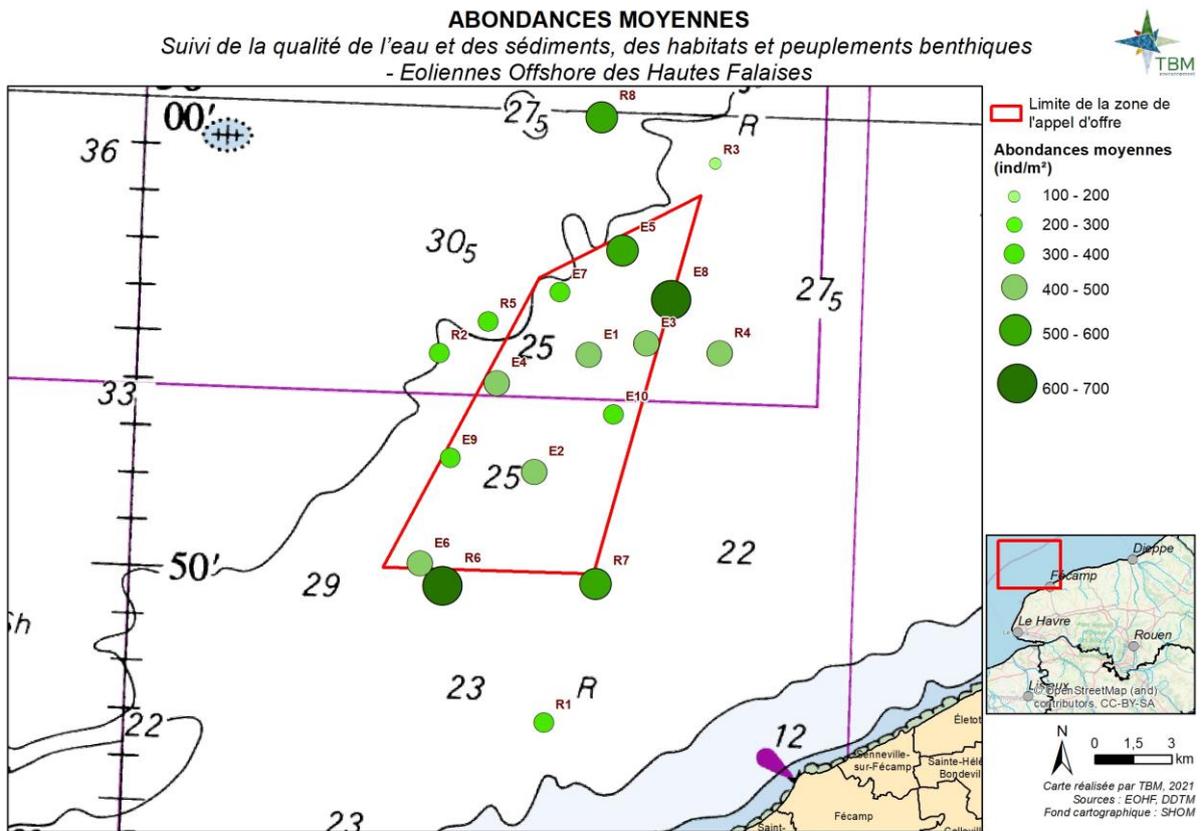


Figure 31 : Abondances moyennes en 2021

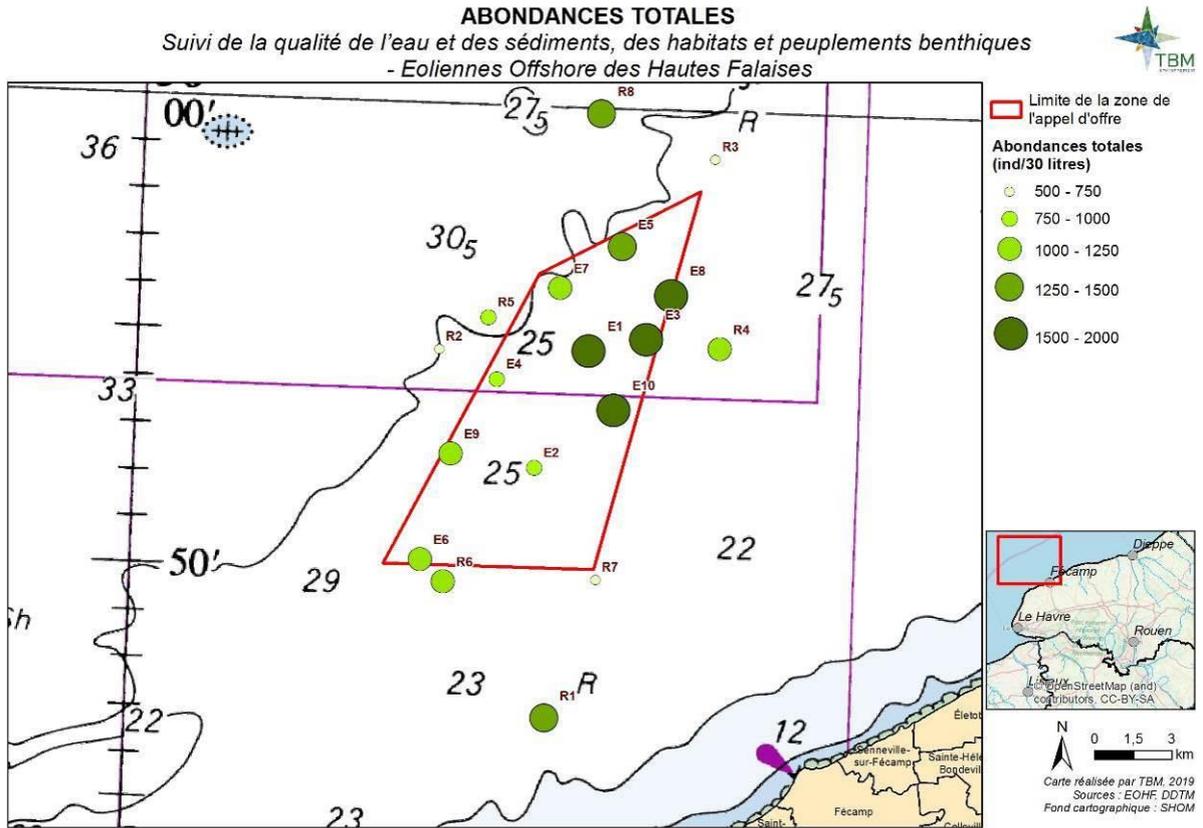


Figure 32 : Abondances totales en 2019

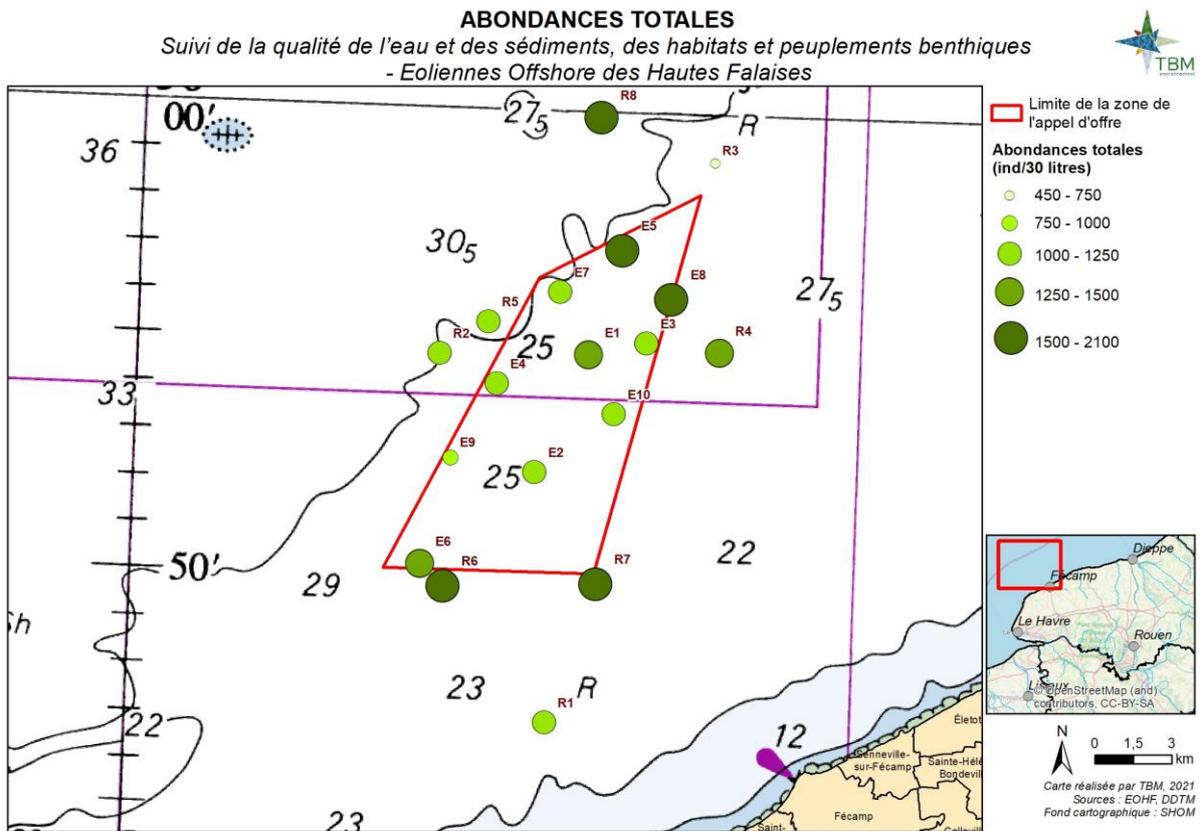


Figure 33 : Abondances totales en 2021

### 5.2.3 Groupes taxonomiques

L'analyse des groupes taxonomiques en termes d'abondance (Figure 34, Figure 36, Figure 37) révèle une composition taxonomique assez homogène en fonction des stations à la fois en 2019 et en 2021. De légères différences sont observées pour le taxon des échinodermes en lien avec la présence de l'ophiure *Ophiothrix fragilis*. Les stations sont majoritairement dominées par les crustacés et les polychètes.

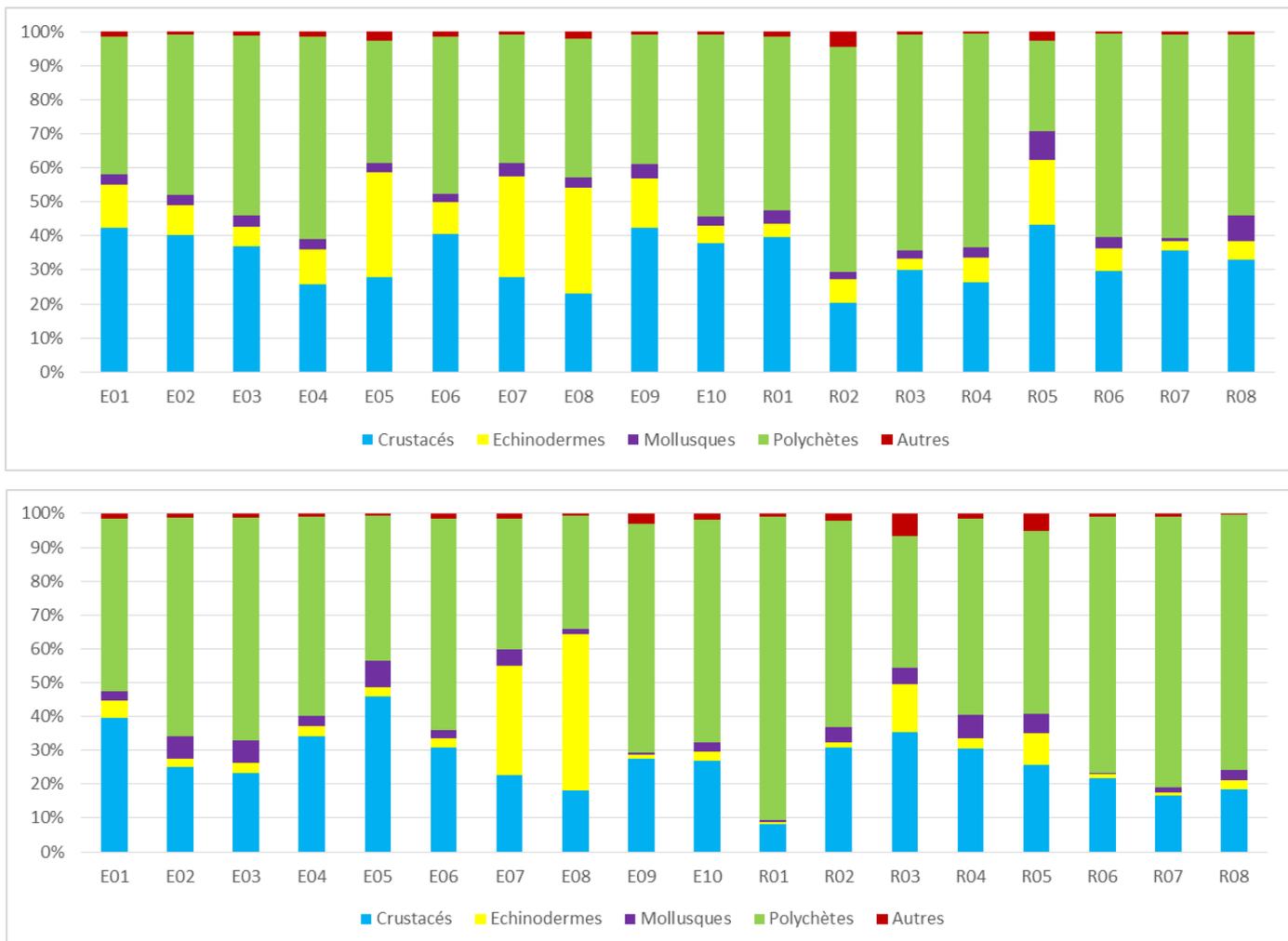


Figure 34 : Proportions des différents groupes taxonomiques en termes d'abondance en 2019 (en haut) et en 2021 (en bas)

Les proportions des différents groupes zoologiques en termes de richesse spécifique illustrent une composition assez semblable pour l'ensemble des stations en 2019 et en 2021. La plus grande diversité est observée pour les polychètes (Figure 35, Figure 38,

Figure 39) par rapport aux autres groupes comme les crustacés. Il faut souligner la part non négligeable des espèces de l'épifaune sessile.



Figure 35 : Proportions des différents groupes taxonomiques en termes de richesse spécifique en 2019 (en haut) et en 2021 (en bas)

**POURCENTAGES DES DIFFÉRENTS GROUPES TAXONOMIQUES EN TERMES D'ABONDANCE**  
Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments, des habitats et peuplements benthiques  
- Eoliennes Offshore des Hautes Falaises

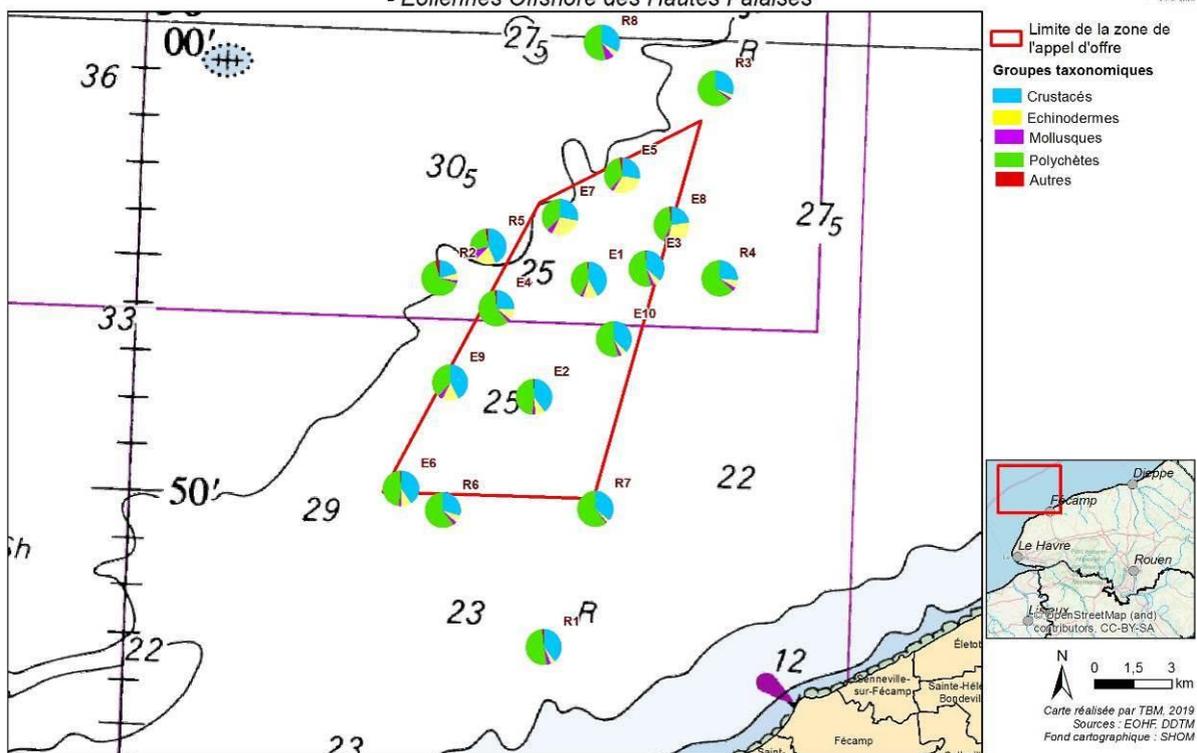


Figure 36 : Pourcentage des différents groupes taxonomiques en termes d'abondances en 2019

**POURCENTAGES DES DIFFÉRENTS GROUPES TAXONOMIQUES EN TERMES D'ABONDANCE**  
Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments, des habitats et peuplements benthiques  
- Eoliennes Offshore des Hautes Falaises

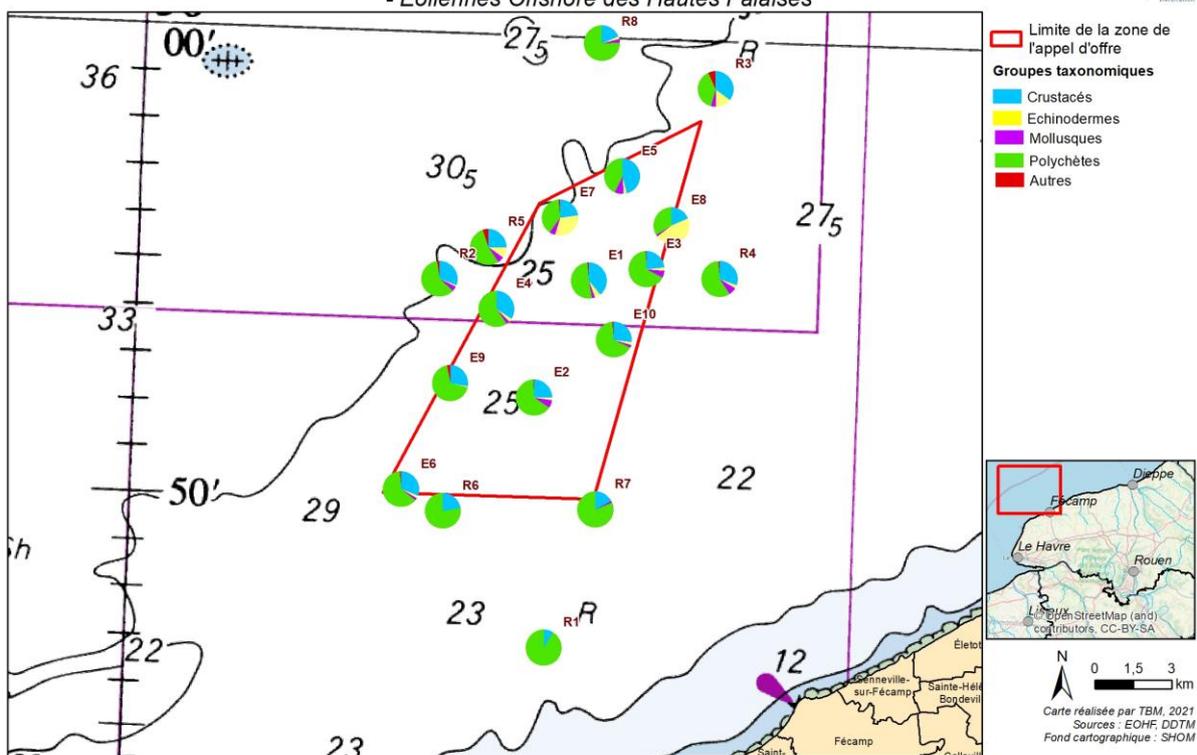


Figure 37 : Pourcentage des différents groupes taxonomiques en termes d'abondances en 2021

**POURCENTAGES DES DIFFÉRENTS GROUPES TAXONOMIQUES EN TERMES DE RICHESSE SPÉCIFIQUE**  
Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments, des habitats et peuplements benthiques  
- Eoliennes Offshore des Hautes Falaises

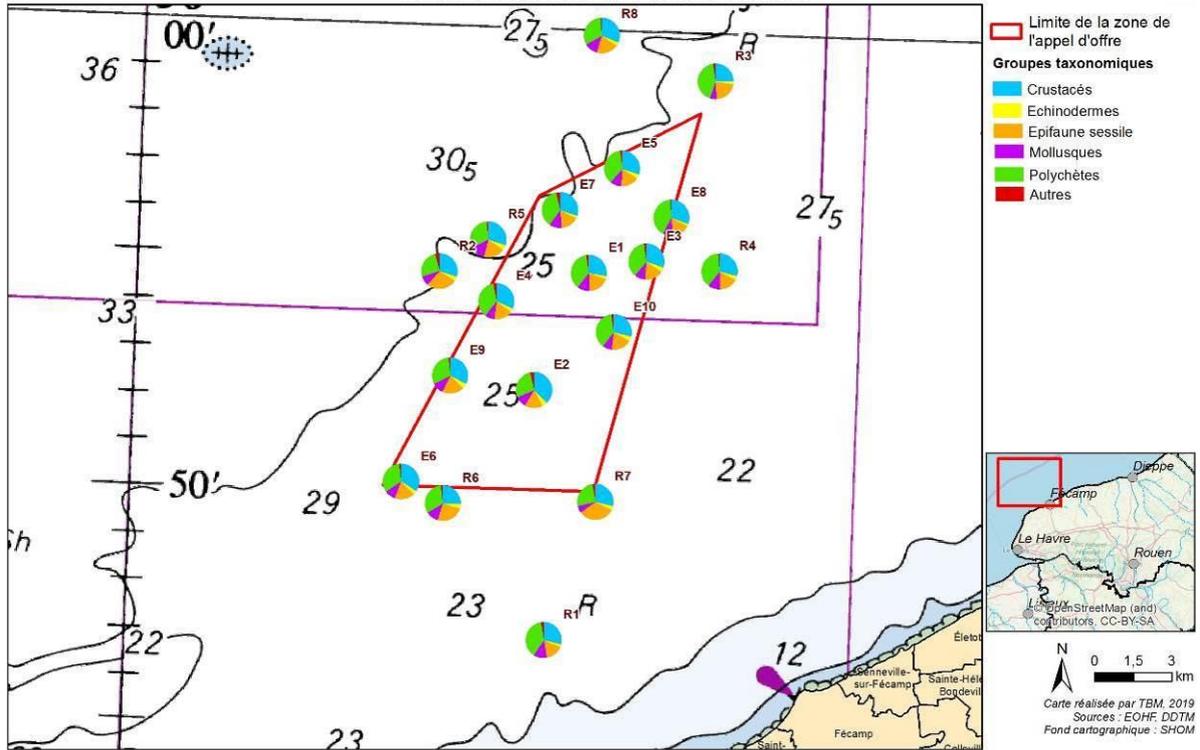


Figure 38 : Proportions des différents groupes taxonomiques en termes de richesse en 2019

**POURCENTAGES DES DIFFÉRENTS GROUPES TAXONOMIQUES EN TERMES DE RICHESSE SPÉCIFIQUE**  
Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments, des habitats et peuplements benthiques  
- Eoliennes Offshore des Hautes Falaises

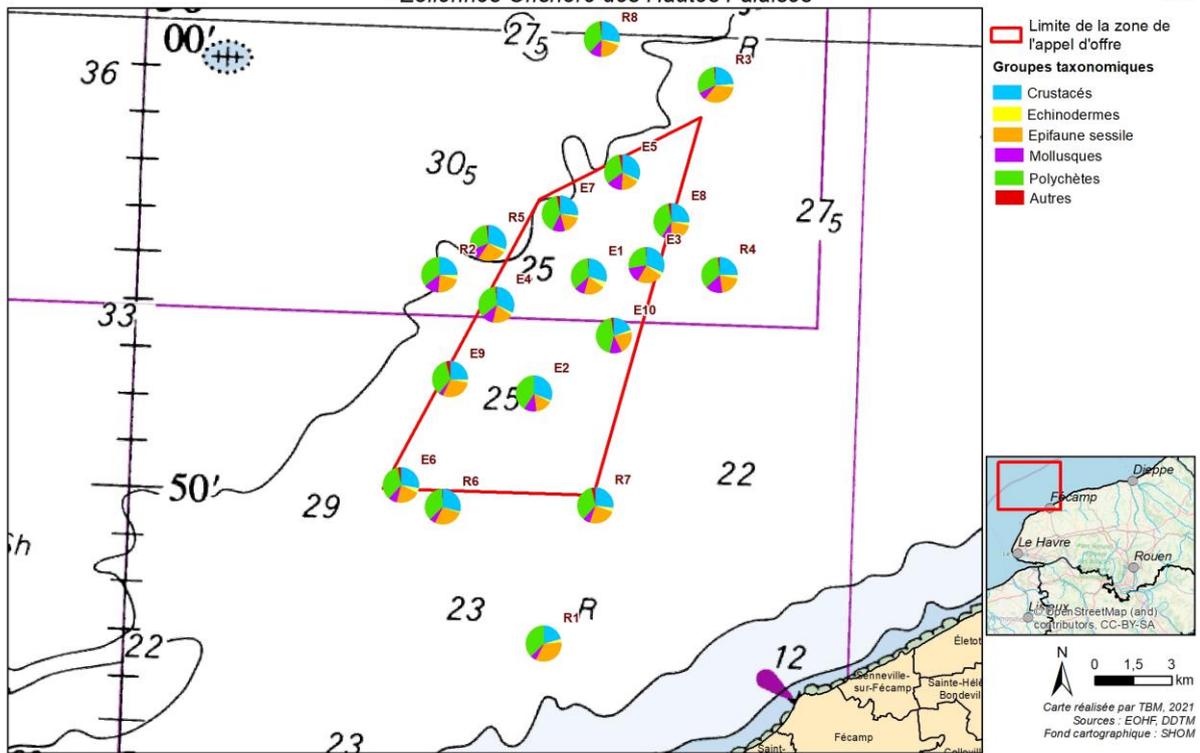


Figure 39 : Proportions des différents groupes taxonomiques en termes de richesse en 2021

#### 5.2.4 Assemblages faunistiques

À l'aide de la CAH et de la MDS (Figure 40), il est possible d'illustrer les regroupements entre les stations. Ces analyses ont été réalisées en considérant la totalité des espèces échantillonnées. De plus, les abondances totales (ind/30 litres) ont subi une transformation  $\log(x+1)$ , permettant de pondérer les fortes densités de certaines espèces.

Il en ressort que toutes les stations sont assez similaires entre elles (similarité à plus de 60 % en 2019, Figure 40 et en 2021, Figure 41). Il est toutefois à noter que les stations R02 et R07 ressortent du groupe des autres stations en 2019 et les stations R01 et R03 en 2021 car elles sont représentées par de plus faibles richesses spécifiques et de plus faibles abondances. Ces analyses appuient le fait que l'ensemble des stations forment un assemblage faunistique homogène.

Suivi de la qualité de l'eau, des habitats et des peuplements benthiques  
TBM environnement

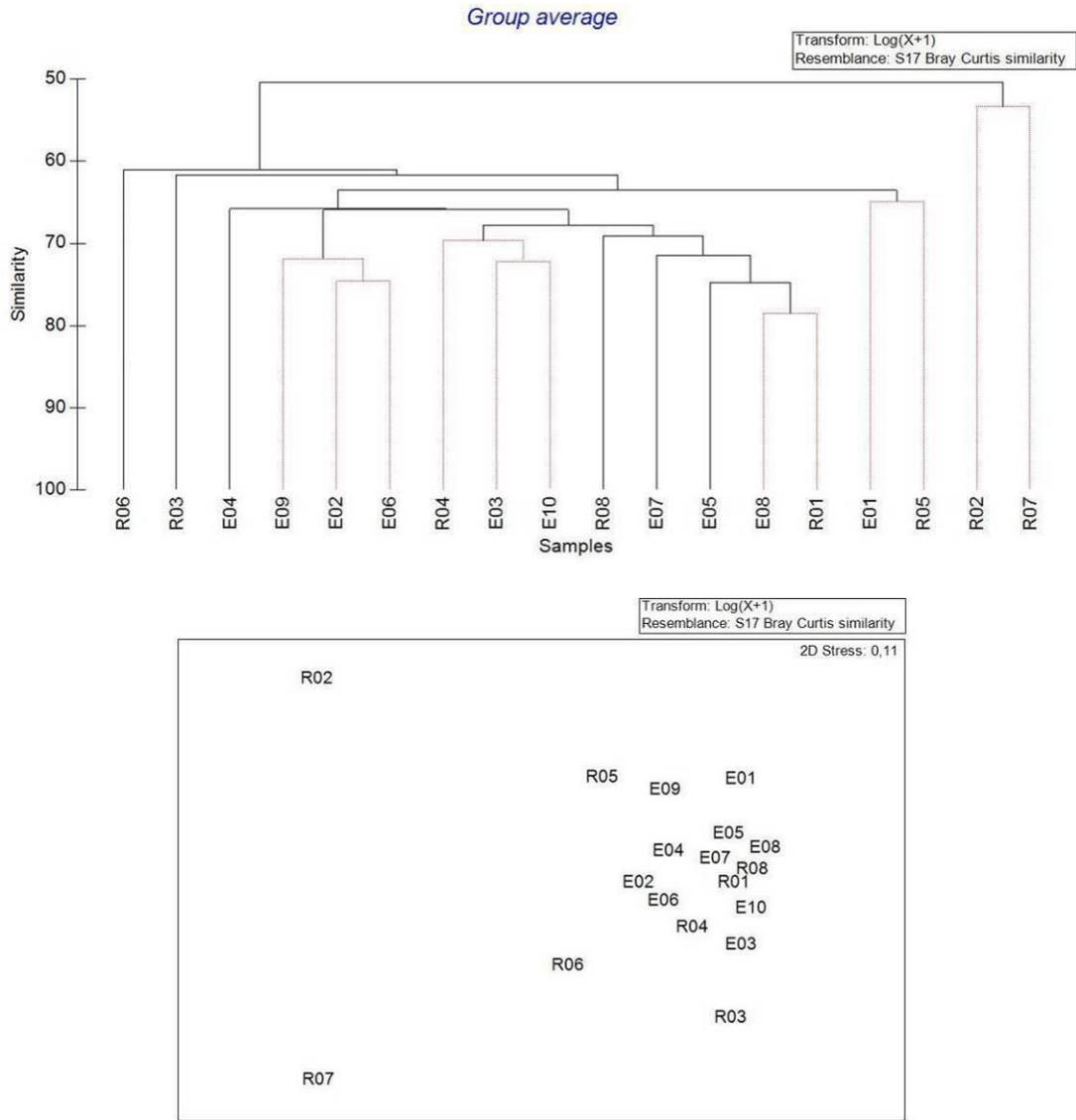


Figure 40 : CAH et MDS sur les abondances totales (ind/30 litres) transformées en log(x+1) en 2019

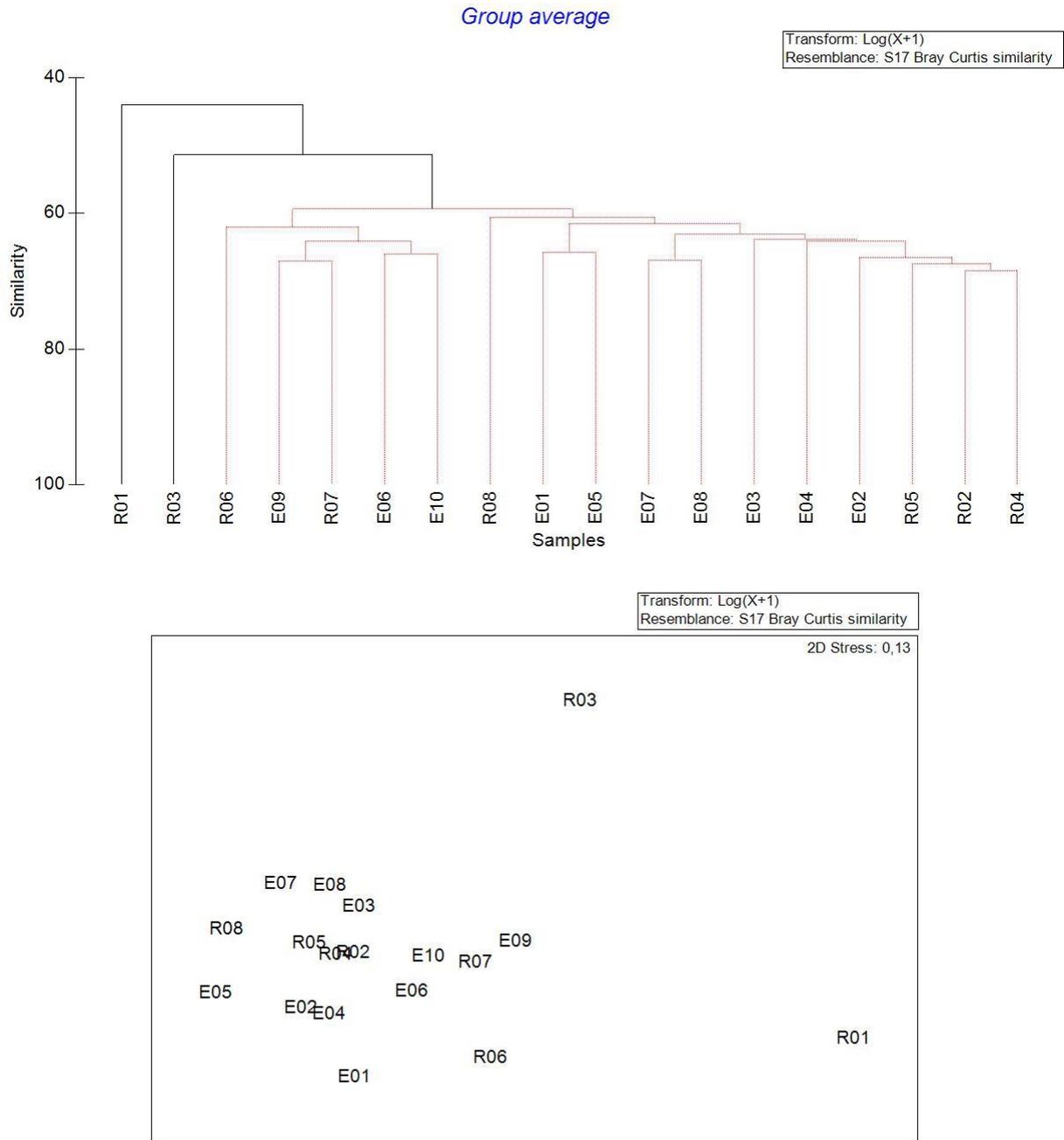


Figure 41 : CAH et MDS sur les abondances totales (ind/30 litres) transformées en  $\log(x+1)$  en 2021

Pour identifier les espèces caractéristiques, des diagrammes Rang-Fréquence unique ont été réalisés pour l'ensemble des stations et sont présentés à la Figure 47 et Figure 48. Il comprend les taxa de la faune dénombrable représentant plus de 1 % de l'abondance totale (exprimée en ind / 30 L), soit 12 taxa sur les 284 identifiés en 2019 et 15 sur les 253 recensés en 2021. L'ensemble de la zone du projet est dominé en 2019 et en 2021 par très peu d'espèces et principalement par les polychètes du genre *Spirobranchus* (Figure 42, Figure 49, Figure 50), les crustacés *Pisidia longicornis* (Figure 43, Figure 51,

Figure 52) et *Galathea intermedia*, et par l'échinoderme *Ophiothrix fragilis* (Figure 44). L'ensemble de ces espèces dominantes sont typiques des sédiments sablo-graveleux de la Manche. Quelques espèces sont illustrées ci-dessous.



Figure 42 : Photographie de *Spirobranchus*



Figure 43 : photographie de *Pisidia longicornis*



Figure 44 : Photographie d'*Ophiothrix fragilis*



Figure 45 : Photographie de *Psammechinus miliaris*



Figure 46 : Photographie de *Lepidonotus squamatus*

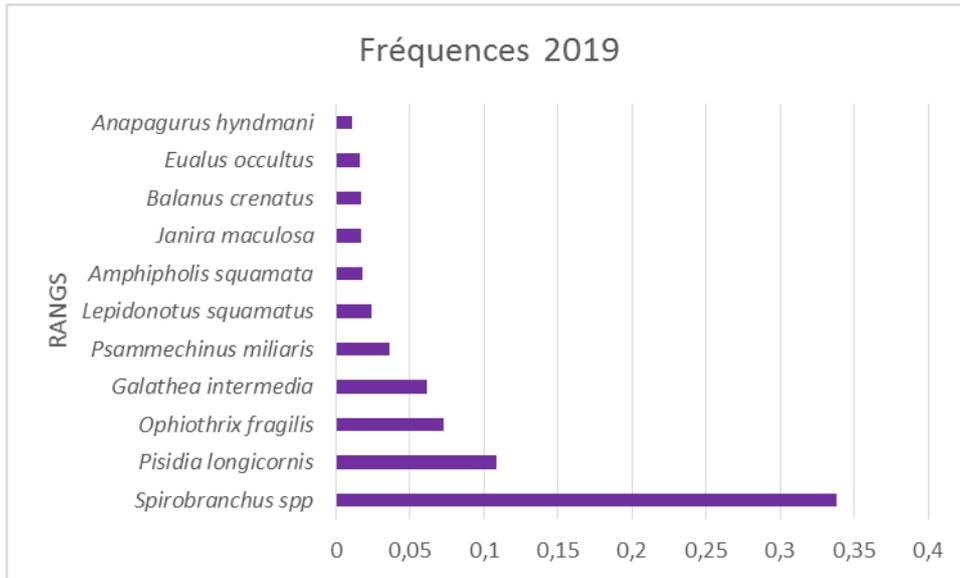


Figure 47 : Diagramme Rang-Fréquence de l'ensemble de la zone du projet en 2019.

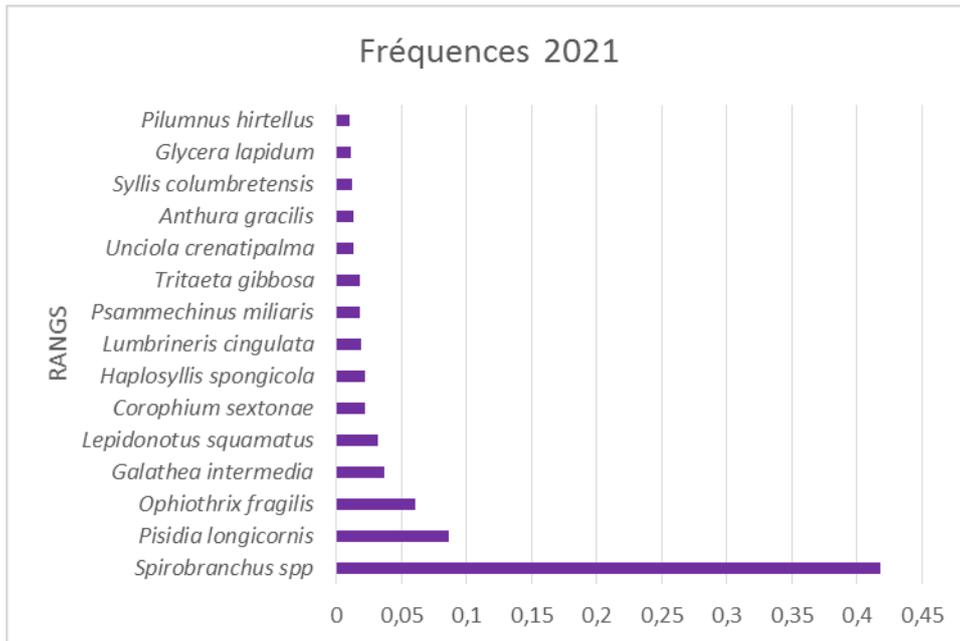


Figure 48 : Diagramme Rang-Fréquence de l'ensemble de la zone du projet en 2021.

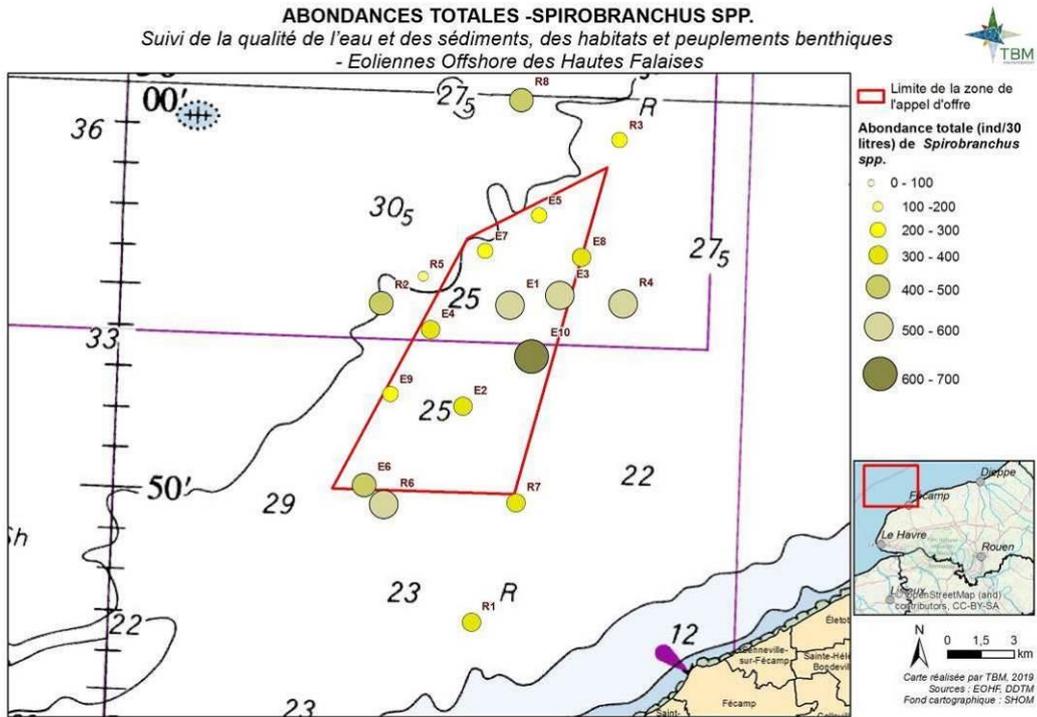


Figure 49 : Localisation de Spirobranchus spp en 2019

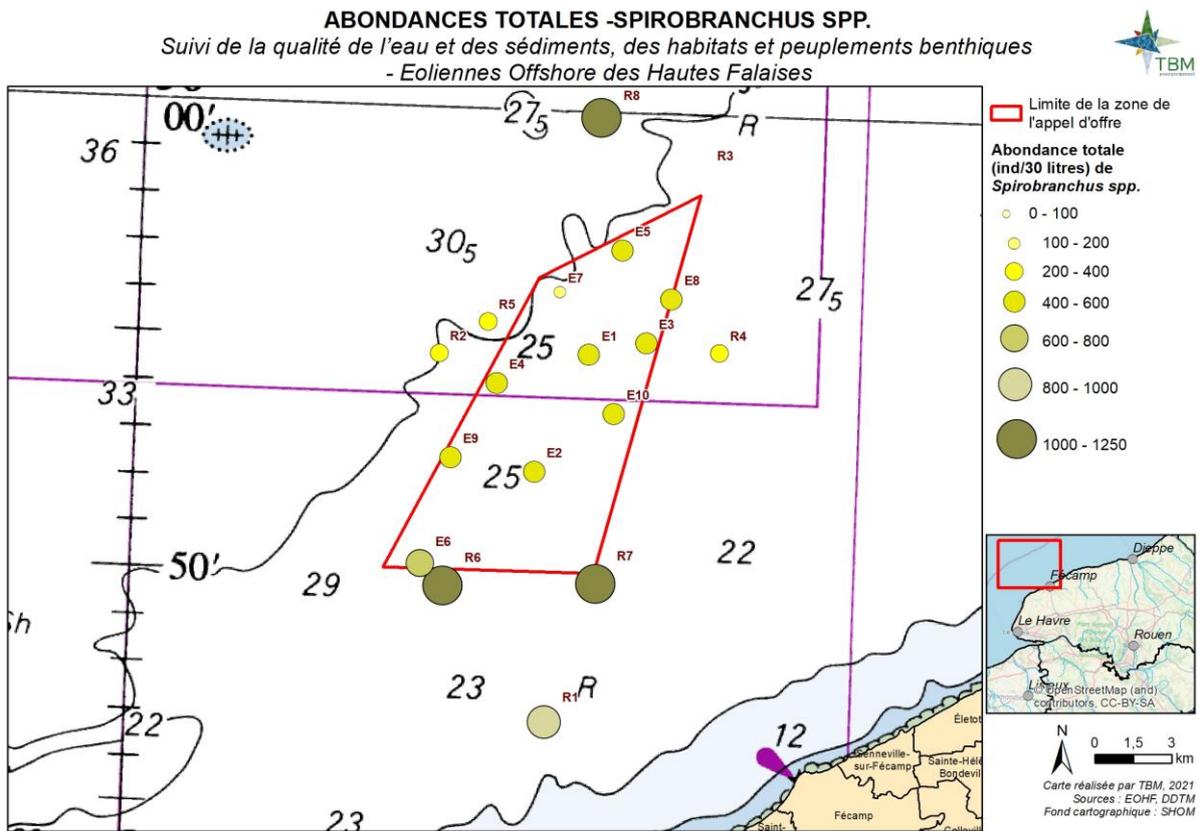


Figure 50 : Localisation de Spirobranchus spp en 2021

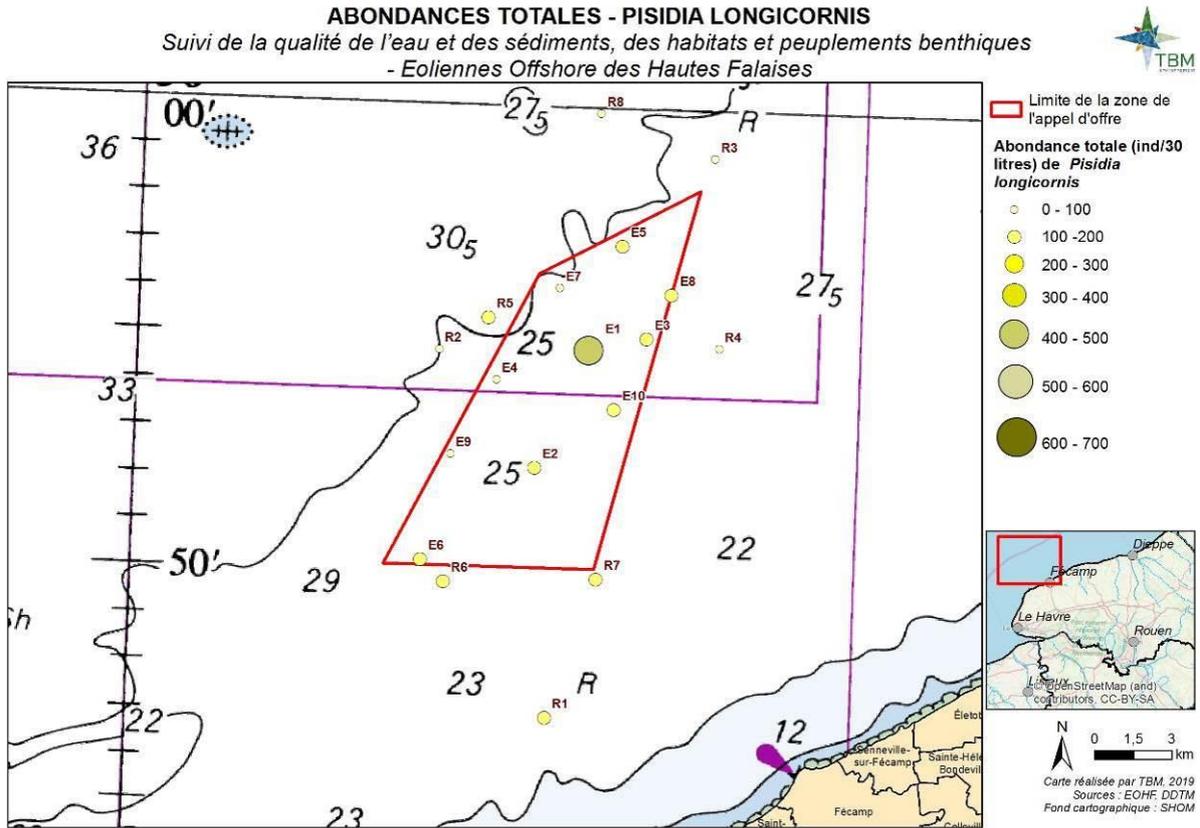


Figure 51 : Localisation de *Pisidia longicornis* en 2019

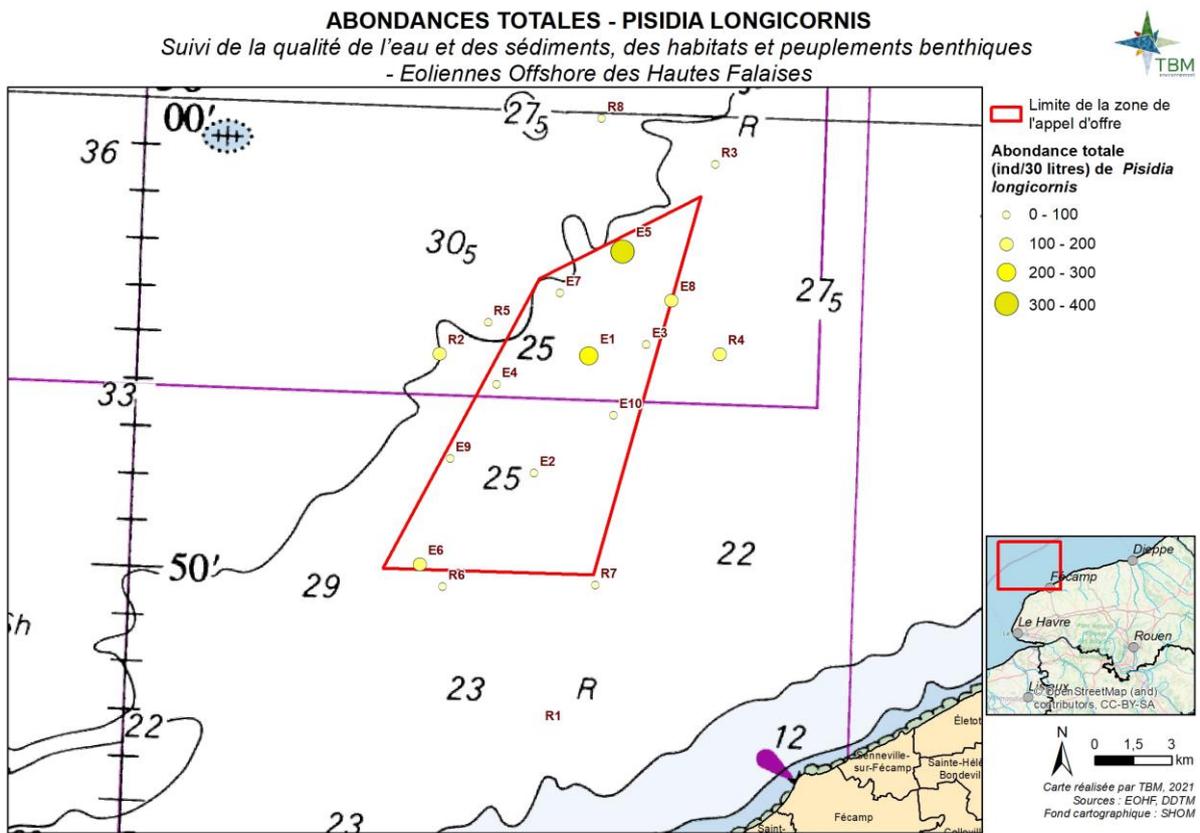


Figure 52 : Localisation de *Pisidia longicornis* en 2021

Nous avons calculé les valeurs de constance de chaque espèce de l'ensemble de la zone du projet par rapport aux échantillons prélevés dans le cadre de cette étude. Le Tableau 8 illustre les résultats de 2019 et de 2021. Parmi les 284 taxa de la zone en 2019, 111 taxa sont constants (c'est-à-dire présents dans plus de 50 % des 18 stations), alors que 50 sont communes, 41 sont occasionnelles et enfin 82 sont qualifiées de rares. En 2021, à peu près les mêmes répartitions ont été observées.

Tableau 8 : Nombre de taxa (dénombrables et indénombrables) dans la zone du projet en fonction de leur classement en constance en 2019 et 2021.

Constance	Nombre d'espèces 2019	Nombre d'espèces 2021
Espèce rare, $C < 12,5\%$ ,	82	88
Espèce occasionnelle, $12,5 \leq C < 25\%$ ,	41	38
Espèce commune, $25 \leq C < 50\%$ ,	50	50
Espèce constante $C \geq 50\%$ .	111	77

### 5.2.5 Groupes écologiques et AMBI

La Figure 53 et la

Figure 54 détaillent les pourcentages des groupes écologiques en 2019 et la Figure 55 et la Figure 56 pour ceux de 2021. Les stations sont dominées par des espèces des groupes écologiques I et II. La présence d'espèces des trois autres groupes écologiques est faible. La présence du groupe écologique IV est due à l'échantillonnage de polychètes cirratulidés *Chaetozone gibber*, *Caulleriella* spp., ou encore d'autres polychètes comme *Polycirrus* spp., *Pholoe inornata* et *Polydora ciliata*. Les valeurs pour l'AMBI sont comprises entre 0,48 et 1,17 en 2019 et entre 0,53 et 1,50 en 2021. Ceci illustre la présence **d'un état de santé « très bon » pour l'ensemble des stations en 2019 et pour la majorité des stations en 2021** (Tableau 9). Les stations E09, E10, R01, R06 et R07 possèdent un état de santé « bon ». **L'ensemble du site étudié est en excellent état écologique.**

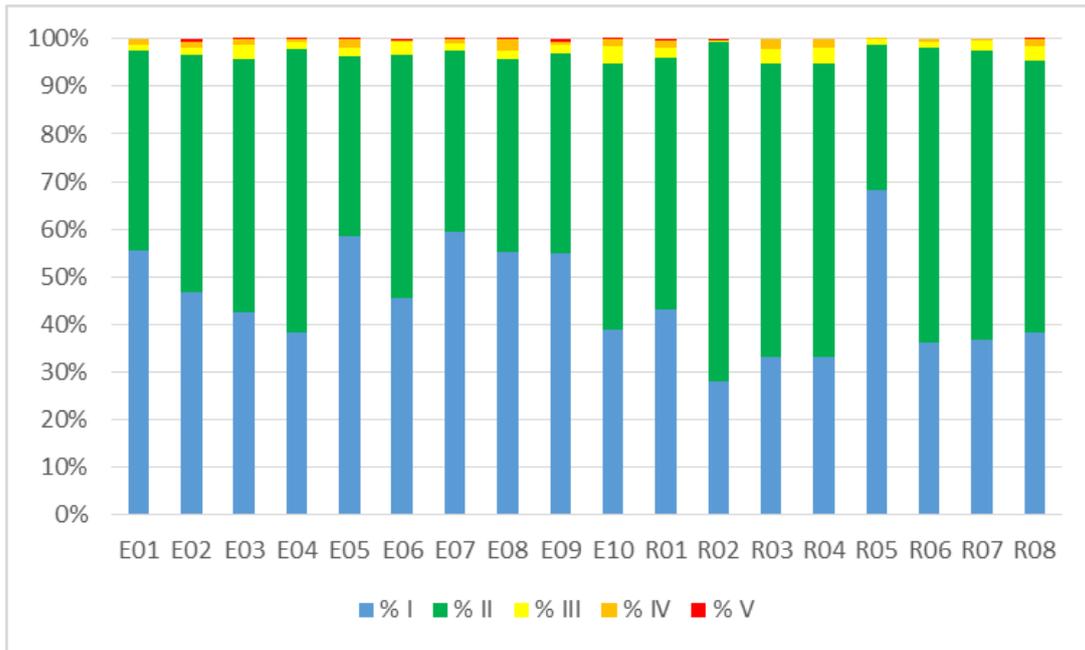


Figure 53 : Pourcentages des groupes écologiques en 2019

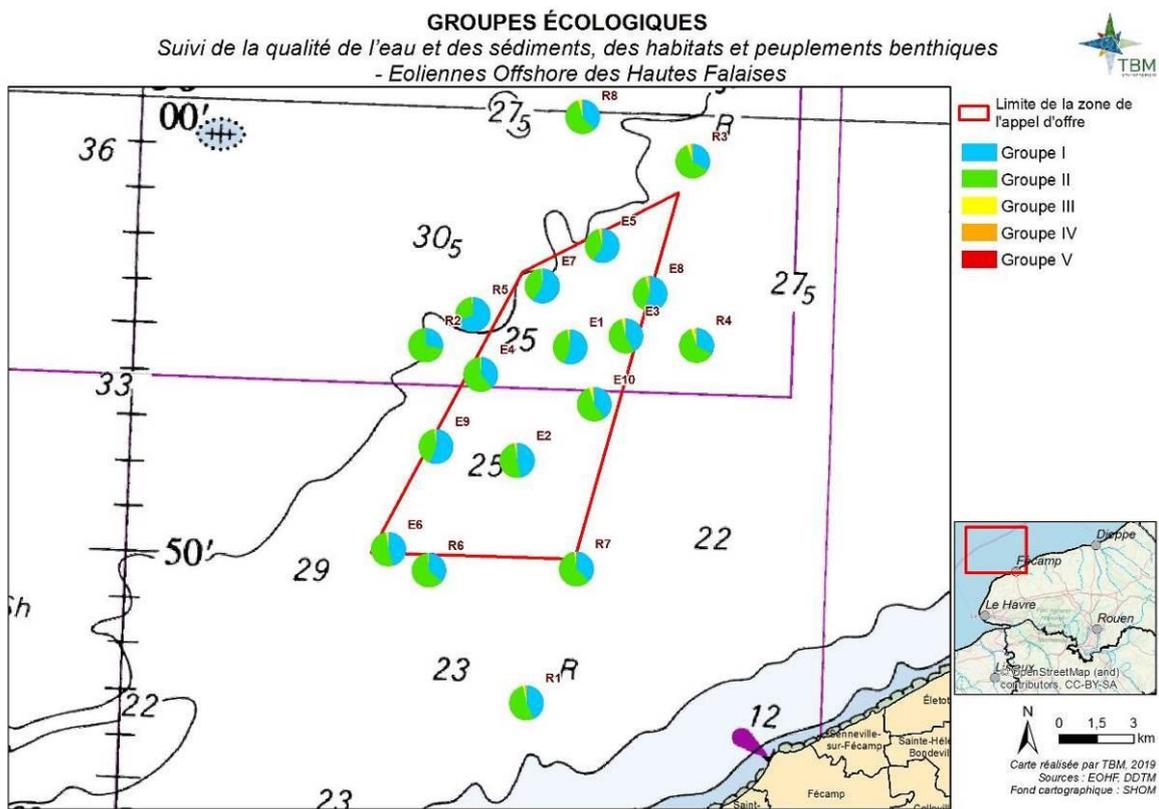


Figure 54 : Groupes écologiques en 2019

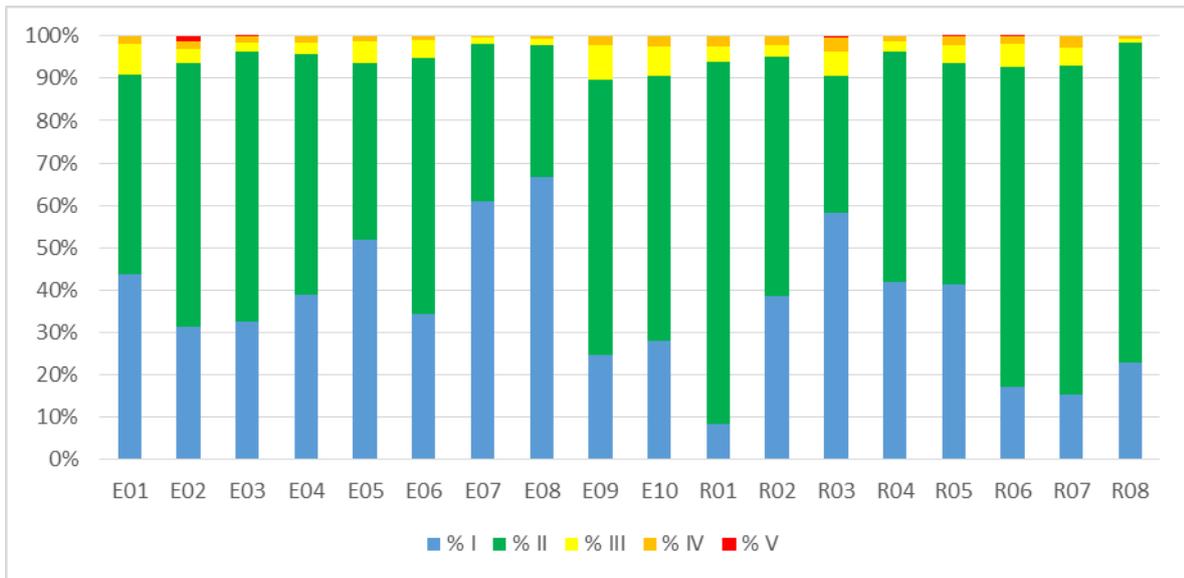


Figure 55 : Pourcentages des groupes écologiques en 2021

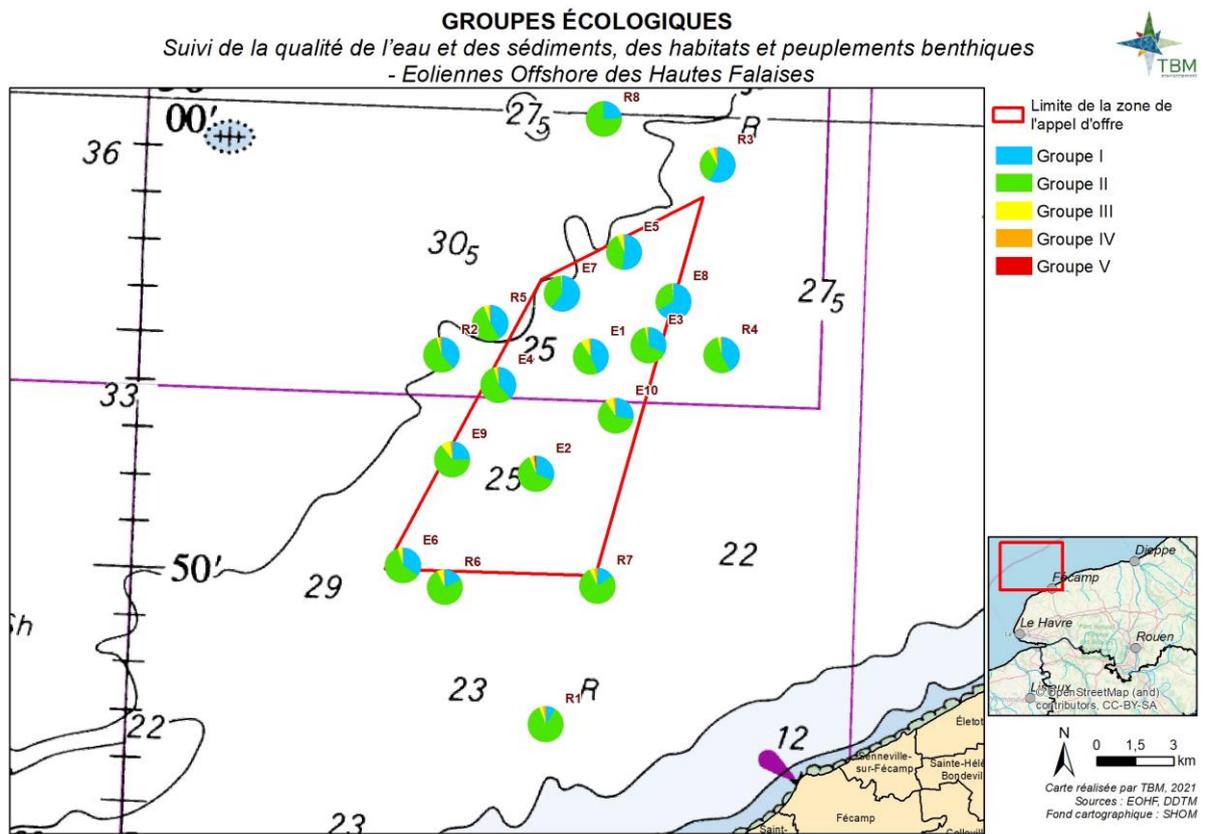


Figure 56 : Groupes écologiques en 2021

Tableau 9 : Valeurs de l'AMBI pour l'ensemble des stations en 2019 et 2021

Stations	AMBI 2019	AMBI 2021
E01	0,72	1,00
E02	0,91	1,19
E03	0,94	1,08
E04	0,86	1,02
E05	0,7	0,83
E06	0,87	1,09
E07	0,72	0,66
E08	0,78	0,53
E09	0,75	1,31
E10	1,01	1,27
R01	0,92	1,50
R02	1,11	1,03
R03	1,17	0,88
R04	1,09	0,95
R05	0,48	1,01
R06	1,01	1,38
R07	0,98	1,43
R08	0,99	1,19

## 6 Peuplements et habitats

Les résultats des analyses morpho-sédimentaires et biologiques ont permis de caractériser deux entités de substrats meubles en 2019 et en 2021 (Figure 57, Figure 58) :

1/ l'habitat A5.141 *Spirobranchus triqueter*, balanes et bryozoaires encroûtants sur galets et cailloutis instables circalittoraux (Typologie EUNIS) ;

2/ l'habitat A5.445 - Bancs d'ophiures *Ophiothrix fragilis* et/ou *Ophiocolina nigra* sur sédiment hétérogène subtidal (Typologie EUNIS)

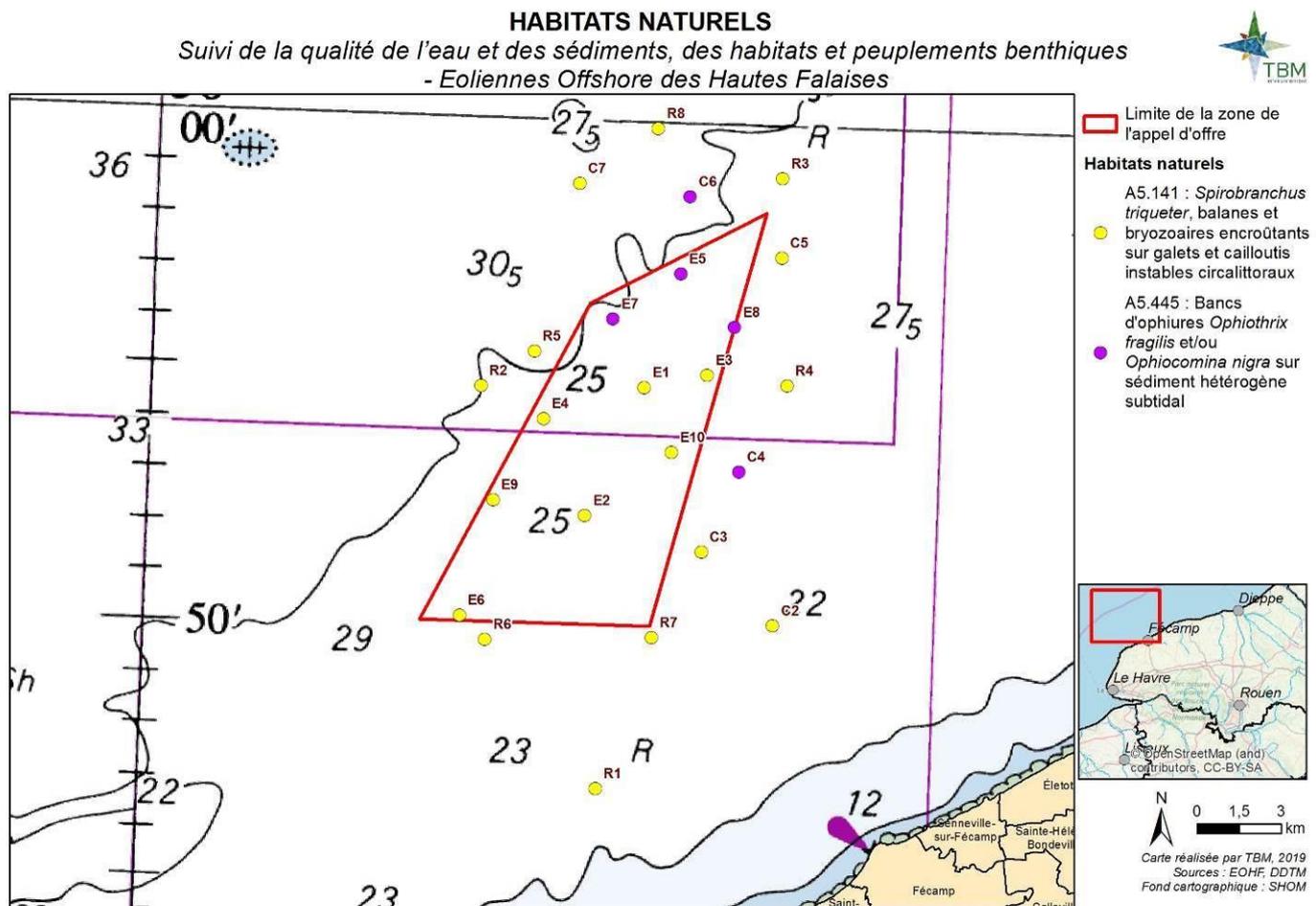


Figure 57 : Habitats benthiques en 2019

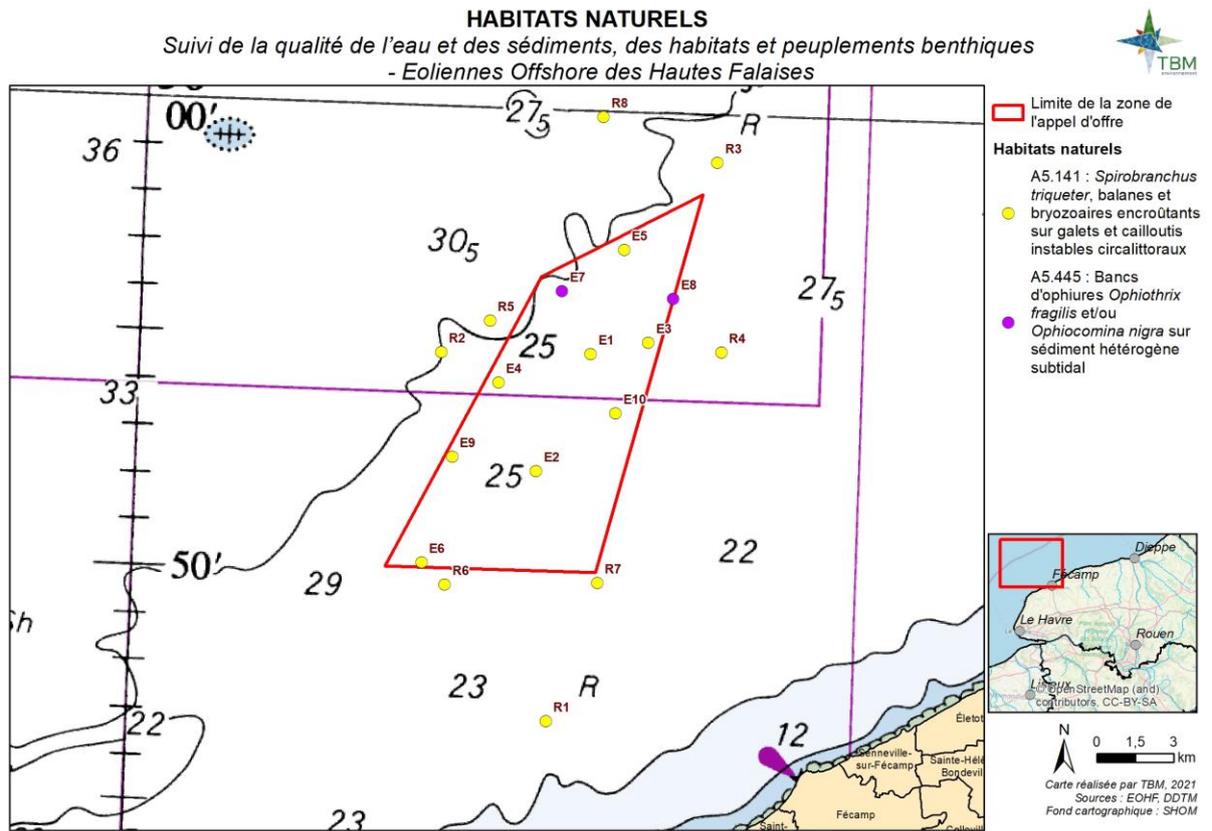


Figure 58 : Habitats benthiques en 2021

Le premier habitat, A5.141 *Spirobranchus triqueter*, balanes et bryozoaires encroûtants sur galets et cailloutis instables circalittoraux (Typologie EUNIS : European Nature Information System) concerne la majorité des stations. En effet, nous avons un type sédimentaire caractérisé par des galets et graviers plus ou moins ensablés et une composition faunistique caractéristique avec une forte présence de l'annélide *Spirobranchus* spp, présence de balanes, et d'épifaune sessiles comme les bryozoaires, les hydraires et les éponges (Figure 59).



Figure 59 : Habitat A5.141 *Spirobranchus triqueter*, balanes et bryozoaires encroûtants sur galets et cailloutis instables circalittoraux

La définition de cet habitat est (Connor et al., 2004) :

*“Ce biotope est caractérisé pas un petit nombre d’espèces ubiquistes, robustes et/ou à cycles de vie courts, qui sont capable de coloniser les cailloutis, les pierres fréquemment bougées par l’action des vagues et des courants. Les principaux organismes couvrants ont tendance à être limités aux vers à tubes calcaires tels que les Pomatoceros triqueter (ou P.*

*lamarcki*), aux petites balanes comme *Balanus crenatus* et *Balanus balanus*, et à quelques bryozoaires et encroutements de corallinacées. L'action abrasive du substrat mobile empêche la colonisation par des espèces plus fragiles. Parfois, dans des conditions de balancement des marées, des touffes d'hydroides tels que *Sertularia argentea* et *Hydrallmania falcata* sont présentes. Ce biotope est souvent classé en A5.444, qui est caractérisé par une proportion importante des hydroides suscités sur les pierres, également couvertes par les *Pomatoceros* et des balanes. La principale différence est que l'habitat A5.444 semble de développer sur des cailloutis et des pierres plus stables, sur des sédiments grossiers consolidés ou pris dans les sédiments et dans des conditions de marée modérées. Ces sédiments peuvent être remués l'hiver. En conséquence, des espèces fragiles ou à cycles de vie longs ne sont pas rencontrées. Situation : Ce biotope se trouve sur les côtes exposées, tout comme à l'entrée des criques marines”.

Le second habitat, A5.445 - Bancs d'ophiures *Ophiothrix fragilis* et/ou *Ophiocomina nigra* sur sédiment hétérogène subtidal (Typologie EUNIS), est minoritaire et concerne 3 stations dans notre étude (E05, E07 et E08) (Figure 60) et deux stations témoins (C04, C06) en 2019 et uniquement les stations E07 et E08 en 2021 (Figure 61). Cet habitat abrite la même grande variété de communautés animales que le précédent habitat. Le type sédimentaire est également similaire. Des débris coquilliers peuvent aussi être observés ainsi que des cailloutis. Cependant, sur ces stations, nous avons observé l'ophiure *Ophiothrix fragilis* en grand nombre (Figure 62).

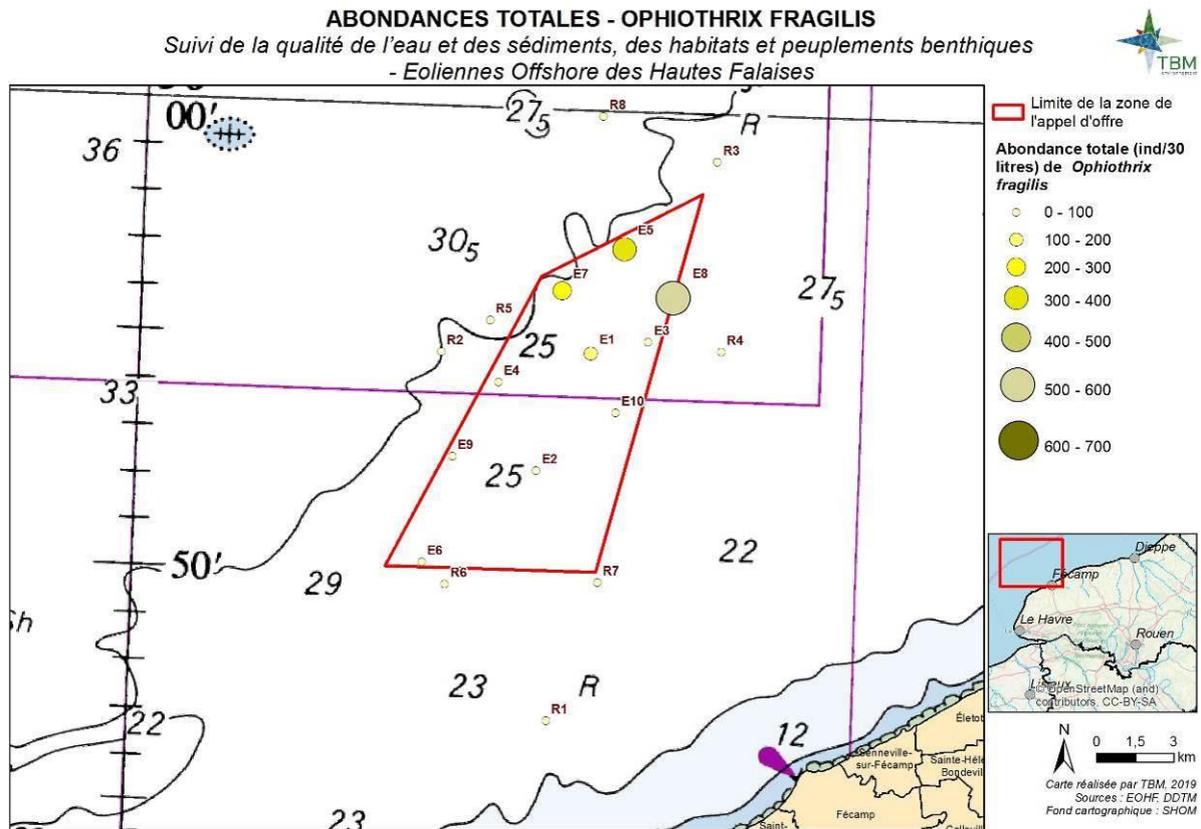


Figure 60 : Localisation de l'Habitat A5.445 - Bancs d'ophiures *Ophiothrix fragilis* et/ou *Ophiocomina nigra* sur sédiment hétérogène subtidal en 2019

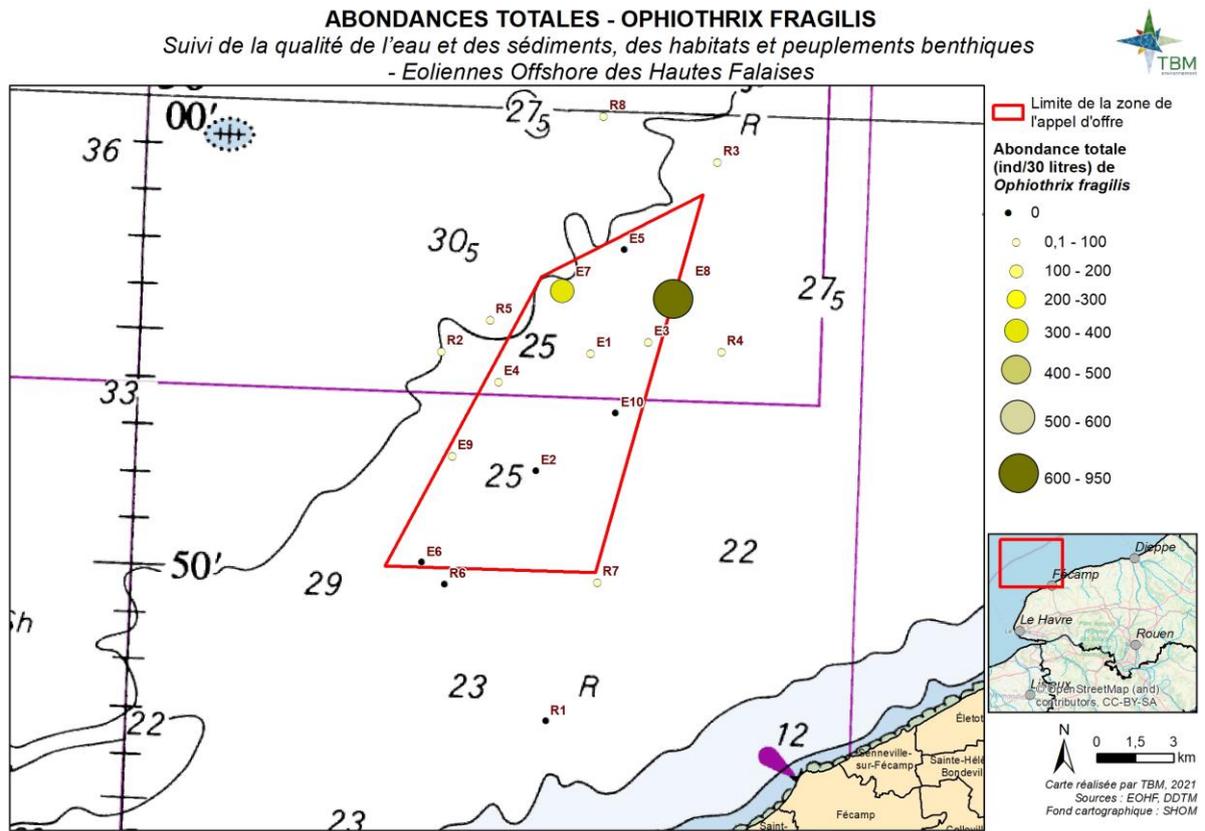


Figure 61 : Localisation de l'Habitat A5.445 - Bancs d'ophiures *Ophiothrix fragilis* et/ou *Ophiocomina nigra* sur sédiment hétérogène subtidal en 2021



Figure 62 : Habitat A5.445 - Bancs d'ophiures *Ophiothrix fragilis* et/ou *Ophiocomina nigra* sur sédiment hétérogène subtidal dans l'échantillon E07 et sur des sédiments hétérogènes (hors de la zone d'étude)

La définition de cet habitat est (Connor et al., 2004) :

*“Les sédiments circalittoraux dominés par les ophiures (des centaines ou des milliers au m<sup>2</sup>), formant des bancs denses, vivant en épifaune sur des rochers, des graviers ou d'autres sédiments. *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra* sont les principales espèces ingénieuses, avec quelques rares exemples formés par *Ophiopholis aculeata*. Les bancs d'ophiures varient en taille, les plus larges s'étendant sur des centaines de m<sup>2</sup> du fond marin et contenant des millions d'individus. Ils comportent souvent une structure interne*

*en patch, avec de fortes concentrations en animaux localisées. Ophiothrix fragilis ou Ophiocomina nigra peuvent dominer indépendamment ou une population mixte des deux espèces peut être rencontrée. Les bancs d'Ophiothrix sont constitués d'adultes et de juvéniles, très petits et nouvellement installés, avec des animaux de taille intermédiaire vivant à proximité des fonds rocheux et parmi l'épifaune sessile. Contrairement aux bancs établis sur des roches, le sédiment de base des bancs peut contenir une faune associée riche (Warner, 1971; Allain, 1974; Davoult & Gounin, 1995). De grands suspensivores, tels que l'octocoralliaire Alcyonium digitatum, l'anémone Metridium senile et l'hydraire Nemertesia antennina sont présents, principalement sur les affleurements des rochers saillant au-delà du tapis d'ophiures. La grande anémone Urticina felina peut être très commune. Cette espèce vit à moitié enfouie dans le substrat mais n'est pas étouffée par les ophiures, étant souvent entourée par un 'halo' d'espace net (Brun, 1969; Warner, 1971). De grands animaux mobiles sont communément trouvées dans les bancs d'Ophiothrix : les étoiles de mer Asterias rubens, Crossaster papposus et Luidia ciliaris, les oursins Echinus esculentus et Psammechinus miliaris, le tourteau Cancer pagurus, les crabes nageurs Necora puber, Liocarcinus spp. et les pagures Pagurus bernhardus. Les sédiments sous-jacents contiennent aussi une faune diversifiée incluant le bivalve Abra alba. Warner (1971) a montré que le nombre et la biomasse des animaux endogés n'étaient pas réduit de façon significative sous ces patches denses d'ophiures".*

## 7 Discussion

### 7.1 Suivi eau

Deux campagnes de mesures ont été réalisées en hiver, en mortes eaux et en vives eaux, afin de mesurer i) les matières en suspension et ii) les paramètres physico-chimiques dans la colonne d'eau sur 5 stations (4 dans la zone du futur parc et 1 à l'extérieur comme station témoin).

Ces campagnes ont permis de montrer que les teneurs en MES sont faibles en hiver, confirmées par des mesures faibles en turbidité, et ce quelques soient les conditions hydrographiques. Les 5 stations présentent des conditions physico-chimiques assez homogènes avec des paramètres constants dans la colonne d'eau et au cours d'un cycle de marée (température, turbidité, concentration en oxygène dissous).

Seul un gradient de salinité a pu être observé allant de la station 5 la plus proche de la côte, avec une salinité faible, à la station 2, la plus éloignée et présentant la salinité la plus élevée.

Enfin, la concentration en chlorophylle *a* est globalement homogène entre les 5 stations et dans la colonne d'eau. Elle présente cependant des variations suivant le cycle de marées en périodes de vives eaux avec des concentrations plus fortes à marées descendantes qu'à marées montantes.

### 7.2 Granulométrie et Habitats

Les résultats granulométriques indiquent que l'ensemble des stations échantillonnées en 2019 et 2021 sont associées à un seul type de fonds sédimentaires : les graviers sableux avec présence plus ou moins forte de galets - cailloutis. Ainsi, les sédiments rencontrés et leurs biocénoses associées sont typiques des fonds marins locaux et régionaux à savoir l'habitat A5.141 *Spirobranchus triqueter*, balanes et bryozoaires encroûtants sur galets et cailloutis instables circa-littoraux.

La nature des fonds sédimentaires est peu variable au sein de la zone d'étude entre les deux années de l'étude. De plus, peu d'évolutions sont observées entre l'état initial

effectué en 2011 (Ruellet et Talleux, 2011) et la présente étude. Ainsi, le secteur d'étude semble stable, ce qui n'est pas forcément le cas dans d'autres secteurs de la Manche. En effet, il apparaît qu'entre les années 1970 et 2000, la répartition des types sédimentaires présente des variations notables (Augris et al., 2004 ; Foveau, 2009). Ces évolutions sont attribuables à diverses causes comme des variations méthodologiques entre les deux périodes d'études, des événements tempétueux et surtout en lien avec la dynamique naturelle de la masse d'eau de la zone d'étude (Augris et al., 2004).

Un deuxième habitat est observé, A5.445 - Bancs d'ophiures *Ophiothrix fragilis* et/ou *Ophiocolina nigra* sur sédiment hétérogène subtidal, mais uniquement sur quelques stations comme les travaux de Foveau et Ruellet (2013) le suggéraient. Le type sédimentaire reste le même que celui de l'habitat majoritaire. Ainsi, la présence de ces patches d'*Ophiothrix fragilis* ne sera pas forcément stable dans l'espace et dans le temps. La présence de fortes densités de l'ophiure *Ophiothrix fragilis*, espèce mobile, ne sera a priori représentative que d'une zone à une période donnée. Néanmoins, de fortes densités sont observées entre 2011 et 2021 sur la station E08 ce qui peut suggérer l'existence de patches stables dans le temps.

Les granulométries et les habitats recensés dans cette étude sont en accord avec les résultats précédents (Coggan et Diesing, 2011 ; Ruellet et Talleux, 2011 ; Foveau et Ruellet, 2013, Gaudin, 2017) qui ont permis l'établissement de carte des habitats avec la typologie EUNIS à un niveau 4 pour la Manche. Le périmètre du parc éolien et des zones de références sont bien compris dans une zone définie précédemment au niveau A5.14. En effet, les fonds de Manche Est sont recouverts en grande partie par des graviers et cailloutis et par des sédiments gravello-sableux. Les sédiments vaseux seront rencontrés uniquement dans les baies et les estuaires. Ainsi, des gradients s'organisent d'Ouest en Est mais également de la côte vers le large (Blanchard, 2008 ; Blanpain, 2009). La présence des patches d'*Ophiothrix fragilis* est plus difficilement cartographiable car ils sont souvent localisés.

### 7.3 Richesse spécifique

D'un point de vue qualitatif, la zone d'étude est riche en espèces : 334 taxons ont été récoltés. La diversité des peuplements macrobenthiques observés est liée à la diversité des combinaisons de facteurs écologiques présents sur la zone d'étude, notamment la nature du fond (variabilité des pourcentages de galets, de graviers et de sables grossiers) et les conditions hydrodynamiques. Dans le secteur d'étude, des courants de marée forts sont observés induisant la présence de sédiments gravelo-sableux dominants.

Les valeurs de richesse spécifique moyenne sont comprises entre 32 et 92 espèces et les valeurs de richesse spécifique totale sont comprises entre 59 et 155 espèces. Ces résultats sont du même ordre de grandeur que celles trouvées dans des sédiments similaires dans le bassin oriental de la Manche (de 38 à 165 taxa, Foveau et al., 2013).

Dans le but de pouvoir comparer les stations entre elles, il est possible de calculer une autre mesure de la richesse spécifique : les ES (50). Les valeurs d'ES (50) ne sont calculées qu'à partir de la faune dénombrable (Tableau 10). Rapportée à une même unité (50 individus), la richesse en espèces se situe entre 9,85 espèces pour la station R01 et 24,52 pour la station R03. Ces résultats sont comparables avec ceux obtenus en 2011, la valeur minimale observée est de 14,26 espèces pour la station R07 et la valeur maximale de 28,52 pour la station R08. Ces valeurs sont également du même ordre de grandeur que celles trouvées dans les mêmes types sédimentaires dans le bassin oriental de la Manche.

Tableau 10 : Valeurs des ES (50) calculées à partir de la faune dénombrable en 2011, 2019 et 2021

Stations	ES(50)_2011	ES(50)_2019	ES(50)_2021
E01	14,61	17,19	19,43
E02	18,79	20,55	22,89
E03	21,51	22,22	19,88
E04	27,53	21,48	22,58
E05	20,92	21,05	20,31
E06	20,22	20,95	17,47
E07	17,1	20,79	19,65
E08	26,13	20,31	13,9
E09	18,49	22,7	16,71
E10	20,52	22,21	19,23
R01	22,97	23,49	9,85
R02	23,63	13,88	20,08
R03	24,01	24,52	22,2
R04	20,21	22,69	22,72
R05		20,37	22,3
R06	18,96	15,53	12,36
R07	14,26	14,72	13,93
R08	28,52	22,8	15,24
<b>Moyenne</b>	21,08	20,41	18,37

## 7.4 Abondance

La zone du projet peut être considérée comme riche et diversifiée, mais de petits effectifs sont observés. En effet, seul le polychète *Spirobranchus triqueter*, le crustacé *Pisidia longicornis*, et sur quelques stations, l'ophiure *Ophiothrix fragilis*, ont de forts effectifs. Pour les autres espèces, aucune n'est très abondante.

Les valeurs d'abondance observées sont du même ordre de grandeur que celles constatées en 2011. Ces résultats illustrent des variabilités naturelles interannuelles.

Tableau 11 : Abondances totales (Ind/30 litres) calculées à partir de la faune dénombrable en 2011, 2019 et 2021

Stations	2011	2019	2021
<b>E01</b>	2255	1990	1444
<b>E02</b>	1441	998	1204
<b>E03</b>	2053	1522	1214
<b>E04</b>	935	846	1228
<b>E05</b>	1525	1369	1712
<b>E06</b>	1298	1118	1354
<b>E07</b>	1218	1211	1092
<b>E08</b>	707	1803	2100
<b>E09</b>	1254	1139	992
<b>E10</b>	2001	1761	1156
<b>R01</b>	965	1259	1018
<b>R02</b>	1363	675	1166
<b>R03</b>	1043	741	452
<b>R04</b>	1409	1144	1290
<b>R05</b>		874	1068
<b>R06</b>	1374	1031	1866
<b>R07</b>	2815	618	1704
<b>R08</b>	847	1282	1778
<b>Moyenne</b>	1441,35	1187,83	1324,33

## 7.5 Espèces patrimoniales

Dans la zone du projet, la présence d'une espèce inscrite sur la convention OSPAR, *Sabellaria spinulosa* est à noter sur 7 stations en 2019 et sur 6 stations en 2021 mais avec des densités très faibles (un à quatre individus) (Figure 63, Figure 64). En 2011, cette espèce a été observée sur 20 stations avec des densités comprises entre 1 à 8 individus.

Sur le site d'étude, aucun récif n'est observé. L'espèce est présente sous forme de faible placage. Seuls quelques tubes isolés sur les cailloux sont échantillonnés. Ils sont insérés dans la matrice formée par les tubes de l'annélide *Spirobranchus triqueter*, bien plus nombreux.

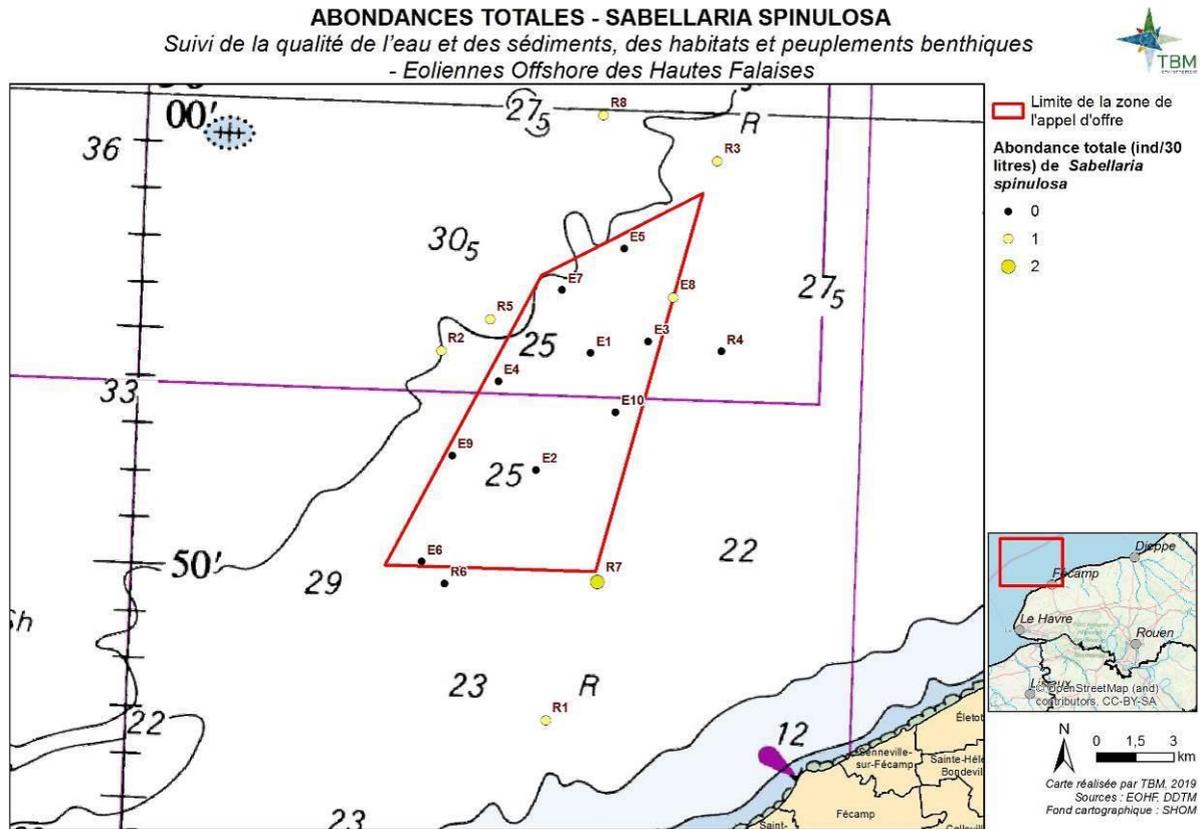


Figure 63 : Localisation de *Sabellaria spinulosa* en 2019

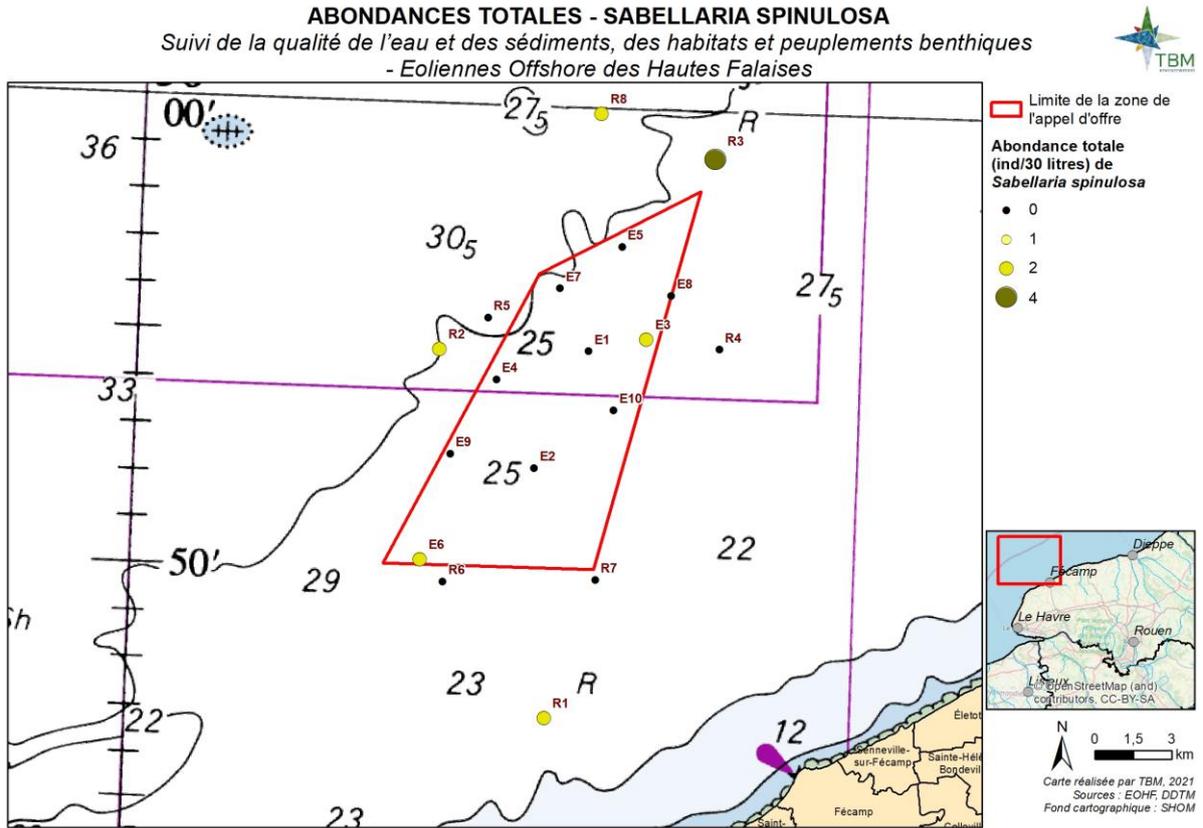


Figure 64 : Localisation de Sabellaria spinulosa en 2021

## 8 Conclusion

Cette étude a permis d'établir un état de référence sur la qualité de l'eau, des peuplements et des habitats benthiques sur le parc éolien en mer au large de Fécamp. Ainsi, l'ensemble de la zone d'étude est constitué de substrat meuble. Les substrats rocheux n'ont pas été observés. Aucune différence majeure n'est observable entre les stations du parc et les stations témoins.

Les conclusions indiquent que :

- Les concentrations en MES sont plutôt faibles sur la zone,
- La macrofaune de la zone forme un ensemble homogène, les stations étant très semblables entre elles ;
- Les stations échantillonnées correspondent à des cailloutis et graviers plus ou moins ensablés (type EUNIS 2007 « A5.141 » et EUNIS 2007 « A5.445 » pour les trois stations avec une plus forte densité d'*Ophiothrix fragilis*) ;
- Le statut écologique de la zone, défini à partir de l'indice biotique AMBI, est excellent ;
- La macrofaune est dominée par les annélides *Spirobranchus* spp et le décapode *Pisidia longicornis*, et dans trois stations par l'ophiure *Ophiothrix fragilis* ;
- Au total, 334 taxa ont été identifiés, ce qui fait de la zone d'étude une zone riche et diversifiée.
- Une espèce, le polychète *Sabellaria spinulosa*, à même de créer des habitats protégés au titre de la Convention OSPAR, a été récoltée mais en très faibles effectifs. Dans la zone d'étude, elle ne construit pas de récifs, habitats protégés.

Les habitats présents sont communs et largement représentés en Manche. Néanmoins, une homogénéité des fonds n'est pas associée avec une faible biodiversité. En effet, en termes d'espèces, la zone d'étude est une zone de transition entre les espèces occidentales dites boréo-océaniques et les espèces orientales dites boréo-arctiques. Le

bassin oriental de la Manche est une zone très riche avec une diversité biologique remarquable (875 taxa récoltés sur 318 stations, Foveau, 2009). Cette biodiversité est en lien avec la présence concomitante d'espèce endogée (vivant dans le sédiment) et épigée (vivant en surface) (Foveau, 2009 ; Foveau et al., 2013). Les espèces appartenant à l'épifaune représente 25% des 875 espèces recensées dans la Manche orientale (Foveau et al., 2013) ce qui est également bien mis en évidence dans cette étude puisque l'épifaune représente entre 15 et 34% des espèces.

## 9 Glossaire

**BACI** : Protocole de suivi Before-After-Control-Intervention. Une mesure est faite avant et après l'intervention, sur le site d'étude ainsi que sur un site témoin (contrôle).

**Biocénose** : Ensemble des êtres vivants qui occupent un milieu donné (le biotope), en interaction les uns avec les autres et avec ce milieu. (La biocénose forme, avec son biotope, un écosystème.)

**Endofaune** : Animaux, bactéries et protozoaires qui vivent enfouis dans la vase, la boue ou le sable. Cette faune enfouie vit à l'intérieur d'un substrat.

**Epifaune** : Faune ou groupe d'organismes du benthos qui vivent à la surface des sédiments. Les uns sont fixés, souvent filtreurs, les autres sont libres, marcheurs ou nageurs. L'épiflore, avec les plantes épiphytes, est son équivalent dans une flore. Dans le cas du benthos, épifaune et épiflore constituent l'épibenthos.

**Epibiose** : Type de comportement utilisé par un ensemble d'organismes qui vivent fixés sur un substrat précis. La relation d'épibiose entre les deux organismes peut être considérée comme neutre. L'un utilise l'hôte uniquement comme substrat.

**Sessile** : Un organisme sessile vit attaché, fixé directement au substrat,

**Vagile** : Un organisme est vagile, d'un point de vue biologique, lorsqu'il a la faculté de se mouvoir, de se déplacer, sur le substrat de son environnement.

## 10 Bibliographie

- Alzieu, C. (coord.), 2003. Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion, IFREMER, 248p.
- Augris, C., Clabaut, P., Costa, S., Gourmelon, F. & Latteux, B. 2004. *Evolution morpho-sédimentaire du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime*: Ifremer, Conseil général de la Seine-Maritime, EDF.
- Blanchard, M., 2008. Cartographie synthétique et analyse des peuplements benthiques sur deux secteurs du littoral français "Manche-Est" et "Loire-Gironde". Rapport IFREMER, 110 pp.
- Blanpain, O., 2009. Dynamique sédimentaire multiclasse : de l'étude des processus à la modélisation en Manche. PhD thesis, Océanographie physique. Université de Rouen, 396 pp.
- Borja, A., Franco, J., Perez, V., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* 40: 1100-1114.
- Cabioch, L., 1968.. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche Occidentale. Université Pierre & Marie Curie, Paris.
- Carlier, A., Vogel, C., Alemany, J. 2019. Synthèse des connaissances sur les impacts des câbles électriques sous-marins : phases de travaux et d'exploitation. 101 pp.
- Coggan, R. A., Diesing, M., 2011. The seabed habitats of the central English Channel: A generation on from Holme and Cabioch, how do their interpretations match up to modern mapping techniques? *Continental Shelf Research* 31 : S132-S150.
- Connor, D.W., Allen, J.H., Golding, N., Howell, K.L. Lieberknecht, L.M., Northen, K.O. & Reker, J.B. 2004. The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland. Version 04.05 (internet version: [www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification](http://www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification)). Joint Nature Conservation Committee, Peterborough (Source)
- Costello, M. J., Emblow, C., White, R., 2001. European Register of Marine Species. A check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides of their identification, 463 pp.
- Dajoz, R., 1975. Précis d'écologie. *Dunod*. 549 p.
- Foveau, A., 2009. Habitats et communautés benthiques du bassin oriental de la Manche : état des lieux au début du XXIème siècle. *Thèse de doctorat, Université Lille1*. 308 p.
- Foveau, A., Desroy, N., Dauvin, J.-C., Dewarumez, J.-M., 2013. Distribution patterns in the benthic diversity of the eastern English Channel. *Marine Ecology Progress Series* 479 : 115-126.

- Foveau, A., et Ruellet, T., 2013 Réalisation de la deuxième tranche de l'état bio-sédimentaire initial pour le projet éolien des Hautes Falaises. *Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux*. 260 p. avec annexes.
- Gaudin, F., 2017. Effets du changement climatique sur la distribution de la macrofaune benthique en Manche. *Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie*. 327 p.
- Gentil, F., 1976. Distribution des peuplements benthiques en baie de Seine. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, Paris.
- Glémarec, M., 1969. Les peuplements benthiques du plateau continental Nord-Gascogne. Thèse de doctorat d'État, Sciences Naturelles, Faculté des sciences de Paris, Brest, 167 pp.
- Grall, J., Coïc, N., 2006. Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier. Editions Ifremer.
- Grall, J., Glémarec, M., 1997. Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the bay of Brest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44(Supplement A), 43-53.
- Hily, C., 1984. Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hypertrophiques de la Rade de Brest. *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bretagne Occidentale, Brest*.
- Larsonneur, C., Vaslet, D., Auffret, J.-P., 1979. Les sédiments superficiels de la Manche 1/500 000. Carte + notice.
- Michez, N., et al., 2015. Typologie des habitats marins benthiques français de Manche, de Mer du Nord et d'Atlantique, Version 2. Rapport SPN2015-45, MNHN.
- OSPAR, 2008.- List of threatened and/or declining species and habitats (2008). Reference number OSPAR 2008-07.
- Retière, C., 1979. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques du golfe Normano-Breton. *Thèse d'Etat, Université Rennes I*. 431 p.
- Ruellet T., Talleux J.-D., 2011. Réalisation de la 1ère tranche de l'état bio-sédimentaire initial pour le projet éolien des Hautes Falaises. Version 2. *Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux*. 78 p.
- Typologie EUNIS version 102004 (European Environment Agency), 2004. 310 pp.

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation du projet éolien en mer de Fécamp.....	5
Figure 2 : Bar'ouf, le navire de TBM environnement .....	7
Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage. ....	8
Figure 4 : Bouteille Niskin utilisée pour les prélèvements d'eau et la mesure du MES.....	9
Figure 5 : Conservation des prélèvements d'eau en glacière jusqu'au laboratoire.....	9
Figure 6 : Filtration des échantillons d'eau au laboratoire. ....	10
Figure 7 : Sonde YSI Exo 3 utilisée pour la réalisation des profils.....	11
Figure 8 : Drague Rallier du Baty et schéma descriptif de son mécanisme de fonctionnement (Trigui, 2009).....	13
Figure 9 : Plan d'échantillonnage (drague Rallier du Baty) .....	15
Figure 10 : Colonne de tamis .....	16
Figure 11 : Echantillons granulométriques à l'étuve .....	16
Figure 12 : Modèle des indices biotiques (groupes écologiques notés en chiffres romains) (D'après Grall et Coïc, 2006).....	20
Figure 13 : Evolution de la température, de la salinité, de l'oxygène, de la chlorophylle a, de la turbidité mesurée le 14 février 2019 en mortes eaux sur les 5 stations. ....	25
Figure 14 : Evolution de la température, de la salinité, de l'oxygène, de la chlorophylle a, de la turbidité mesurée le 19 février 2019 en vives eaux à marée descendante sur les 5 stations.....	28
Figure 15 : Evolution de la température, de la salinité, de l'oxygène, de la chlorophylle a, de la turbidité mesurée le 20 février 2019 en vives eaux à marée montante sur les 5 stations. ....	29
Figure 16 : Pourcentages des fractions granulométriques pour les 15 stations.....	30
Figure 17 : Pourcentages des fractions granulométriques aux différentes stations échantillonnées	31
Figure 18 : CAH et MDS effectuée à partir de la matrice des distances euclidiennes, calculée d'après les données granulométriques. ....	32
Figure 19 : MDS effectuées à partir de la matrice des distances euclidiennes, calculée d'après les données granulométriques.....	33
Figure 20 : Pourcentages des fractions granulométriques pour les 18 stations en 2021.....	34
Figure 21 : Pourcentages des fractions granulométriques aux différentes stations échantillonnées en 2021.....	34
Figure 22 : Illustrations de quatre stations .....	35
Figure 23 : richesse spécifique moyenne .....	36
Figure 24 : Cartographie de la richesse spécifique en 2019 .....	37
Figure 25 : Cartographie de la richesse spécifique en 2021 .....	37
Figure 26 : Richesse spécifique totale .....	38

Figure 27 : Cartographie de la richesse spécifique totale en 2019 .....	39
Figure 28 : Cartographie de la richesse spécifique totale en 2021 .....	39
Figure 29 : Abondances moyennes et totales .....	42
Figure 30 : Abondances moyennes en 2019 .....	43
Figure 31 : Abondances moyennes en 2021 .....	43
Figure 32 : Abondances totales en 2019 .....	44
Figure 33 : Abondances totales en 2021 .....	44
Figure 34 : Proportions des différents groupes taxonomiques en termes d'abondance en 2019 (en haut) et en 2021 (en bas).....	45
Figure 35 : Proportions des différents groupes taxonomiques en termes de richesse spécifique en 2019 (en haut) et en 2021 (en bas).....	46
Figure 36 : Pourcentage des différents groupes taxonomiques en termes d'abondances en 2019 ...	47
Figure 37 : Pourcentage des différents groupes taxonomiques en termes d'abondances en 2021 ...	47
Figure 38 : Proportions des différents groupes taxonomiques en termes de richesse en 2019.....	48
Figure 39 : Proportions des différents groupes taxonomiques en termes de richesse en 2021.....	48
Figure 40 : CAH et MDS sur les abondances totales (ind/30 litres) transformées en log(x+1) en 2019.....	50
Figure 41 : CAH et MDS sur les abondances totales (ind/30 litres) transformées en log(x+1) en 2021.....	51
Figure 42 : Photographie de Spirobranchus .....	52
Figure 43 : photographie de Pisidia longicornis .....	52
Figure 44 : Photographie d'Ophiothrix fragilis .....	52
Figure 45 : Photographie de Psammechinus miliaris.....	52
Figure 46 : Photographie de Lepidonotus squamatus .....	52
Figure 47 : Diagramme Rang-Fréquence de l'ensemble de la zone du projet en 2019.....	53
Figure 48 : Diagramme Rang-Fréquence de l'ensemble de la zone du projet en 2021.....	53
Figure 49 : Localisation de Spirobranchus spp en 2019 .....	54
Figure 50 : Localisation de Spirobranchus spp en 2021 .....	54
Figure 51 : Localisation de Pisidia longicornis en 2019.....	55
Figure 52 : Localisation de Pisidia longicornis en 2021.....	55
Figure 53 : Pourcentages des groupes écologiques en 2019.....	57
Figure 54 : Groupes écologiques en 2019.....	57
Figure 55 : Pourcentages des groupes écologiques en 2021.....	58
Figure 56 : Groupes écologiques en 2021.....	58

Figure 57 : Habitats benthiques en 2019.....	60
Figure 58 : Habitats benthiques en 2021.....	61
Figure 59 : Habitat A5.141 Spirobranchus triqueter, balanes et bryozoaires encroûtants sur galets et cailloutis instables circalittoraux.....	62
Figure 60 : Localisation de l'Habitat A5.445 - Bancs d'ophiures Ophiothrix fragilis et/ou Ophiocomina nigra sur sédiment hétérogène subtidal en 2019 .....	64
Figure 61 : Localisation de l'Habitat A5.445 - Bancs d'ophiures Ophiothrix fragilis et/ou Ophiocomina nigra sur sédiment hétérogène subtidal en 2021 .....	65
Figure 62 : Habitat A5.445 - Bancs d'ophiures Ophiothrix fragilis et/ou Ophiocomina nigra sur sédiment hétérogène subtidal dans l'échantillon E07 et sur des sédiments hétérogènes (hors de la zone d'étude).....	66
Figure 63 : Localisation de Sabellaria spinulosa en 2019.....	73
Figure 64 : Localisation de Sabellaria spinulosa en 2021.....	74

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé des mesures et échantillons réalisées pour les 5 stations .....	8
Tableau 2 : Valeurs d'AMBI et état de santé des communautés benthiques (selon Borja et al, 2000) .....	21
Tableau 3 : Matières en suspension (mg. L <sup>-1</sup> ) mesurées aux 5 stations pour 3 profondeurs (fond, milieu, surface) .....	23
Tableau 4 : Principales caractéristiques (moyennes ± écart type) des 5 stations échantillonnées avec la sonde multiparamètres pendant les mortes eaux du 14 février 2019 .....	24
Tableau 5 : Principales caractéristiques (moyennes ± écart type) des 5 stations échantillonnées avec la sonde multiparamètres pendant les vives eaux du 19 et 20 février 2019.....	27
Tableau 6 : Richesse spécifique (RS) rencontrée sur la zone du projet en 2019. RSt = RS totale, RSv = RS de l'endofaune et de l'épifaune vagile, RSs =RS de l'épifaune sessile .....	40
Tableau 7 : Richesse spécifique (RS) rencontrée sur la zone du projet en 2021. RSt = RS totale, RSv = RS de l'endofaune et de l'épifaune vagile, RSs =RS de l'épifaune sessile .....	41
Tableau 8 : Nombre de taxa (dénombrables et indénombrables) dans la zone du projet en fonction de leur classement en constance en 2019 et 2021.....	56
Tableau 9 : Valeurs de l'AMBI pour l'ensemble des stations en 2019 et 2021 .....	59
Tableau 10 : Valeurs des ES (50) calculées à partir de la faune dénombrable en 2011, 2019 et 2021 .....	71
Tableau 11 : Abondances totales (Ind/30 litres) calculées à partir de la faune dénombrable en 2011, 2019 et 2021 .....	72