



Étude du compartiment suprabenthique de deux habitats sédimentaires du futur parc éolien de Dieppe-Le Tréport.

Tatiana Gauche

Master 2 Sciences du Vivant cursus IMaGHE (Integrative **M**aster for **G**lobal **H**ealth and **E**cology) parcours Biodiversité et Environnement (B&E)

Encadrement : Jean-Philippe Pezy et Aurore Raoux

UMR CNRS 6143 Morphodynamique Continentale et Côtière (M2C), 24 Rue
des tilleuls, 14000, Caen



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE



École Pratique
des Hautes Études



Résumé : La Manche est une importante zone socio-économique, soumise à de nombreuses pressions anthropiques historiques et nouvelles, notamment avec le développement des énergies marines renouvelables. Les forts courants de marée jouent un rôle majeur sur la répartition des espèces marines. Cet hydrodynamisme important structure les fonds marins, la circulation verticale de l'eau et également la distribution des espèces benthiques et suprabenthiques. Ainsi, ce travail a pour but d'étudier la distribution hivernale et estivale des communautés suprabenthiques dans deux habitats sédimentaires (sédiments grossiers et sables moyens) au niveau du futur parc éolien Dieppe-Le Tréport. Les résultats montrent d'une part que certaines espèces du suprabenthos ont des préférences sédimentaires et saisonnières. D'autre part, il existe un gradient croissant d'abondances et de biomasses entre le jour et la nuit relevant de migrations nycthémérales. Le compartiment suprabenthos joue un rôle dans le régime des poissons démersaux, notamment par une importante disponibilité des proies d'invertébrés marins.

Mots clés : Manche ; Energies Marines Renouvelables ; Suprabenthos ; Réseau trophique ; Relation proie-prédateur

Abstract : The Channel is an important socio-economic area, subject to many historical and new anthropogenic pressures, in particular with the development of marine renewable energies. Strong tidal currents play a major role in the distribution of marine species. This significant hydrodynamics structures the seabed, the vertical circulation of water and the distribution of benthic and suprabenthic species. Thus, this work aims to study the winter and summer distribution of suprabenthic communities in two sedimentary habitats (coarse sediments and medium sands) at the level of the future Dieppe-Le Tréport wind farm. The results show on the one hand that some suprabenthos species have sedimentary and seasonal preferences. On the other hand, there is an increasing gradient of abundance and biomass between day and night due to nycthemeral migrations. The suprabenthos compartment plays a role in the diet of demersal fish, through the significant availability of marine invertebrate prey.

Keywords : English Channel ; Marine Renewable Energies ; Superbenthos ; Food web ; Prey-predator relationship

INTRODUCTION

La Manche, mer épicontinentale à forte marée constitue la principale voie maritime entre l'Océan Atlantique et l'Europe. Ayant des enjeux socio-économiques majeurs, elle est considérée comme l'un des écosystèmes les plus anthropisés au monde (Halpern *et al.* 2008). De ce fait, elle est soumise à de nombreuses pressions anthropiques telles que le transport de marchandises, la pêche, l'exploitation de ses ressources et les activités énergétiques. Toutes ces activités anthropiques peuvent être susceptibles de modifier le milieu marin. Ainsi, dans le contexte actuel de changement climatique, il est nécessaire et vital de changer notre façon de consommer et de produire de l'énergie. C'est dans cet optique que la transition énergétique en Manche se développe via les Energies Marines Renouvelables (EMR) (Raoux 2017; Raoux *et al.* 2017; Pezy *et al.* 2018). En effet, depuis quelques années, le développement des EMR a connu un essor notable en Europe et particulièrement en France (Pezy 2017; Raoux 2017). Dans le cadre de cette transition, ces EMR devront s'insérer dans des écosystèmes déjà soumis à de nombreuses et croissantes perturbations, locales et globales (Raoux 2017). Par conséquent, implanter des infrastructures de grandes envergures dans des milieux aussi complexes que les écosystèmes marins littoraux est un enjeu considérable en termes juridique, technique, sociétal et environnemental pour les constructeurs (Raoux 2017). Ces dernières peuvent être à l'origine de changements dans la structure et le fonctionnement des écosystèmes (Carpenter *et al.* 2001). C'est pourquoi il est indispensable de mieux comprendre ces systèmes complexes afin d'une part, d'appréhender au mieux des changements d'états et d'autre part, de proposer par la suite des scénarios de prise de décision, visant à limiter les impacts de ces constructions. De ce fait, huit parcs éoliens marins sont en cours de développement et de construction dans la Manche.

A ce jour, huit parcs éoliens devraient être construit dont le futur parc éolien Dieppe-Le Tréport localisé respectivement à 17 et 15,5 km en mer entre les deux villes. La société Éoliennes en Mer Dieppe Le Tréport (EMDT) a obtenu en juin 2014 par arrêté préfectoral une autorisation de construire et d'exploiter le parc éolien en mer au titre de l'article L214-3 du Code de l'Environnement. L'article 17-3 de cet arrêté décrit les mesures de suivi à réaliser afin d'évaluer les effets du parc éolien sur l'environnement. Ces suivis concernent différents compartiments du milieu marin et doivent être réalisés selon le principe de BACI (Before After Control Impact) avant, pendant les travaux et après, durant la phase d'exploitation. Pour compléter ces suivis réglementaires, le Groupement d'Intérêts Scientifiques (GIS) Eolien en Mer prévoit de réaliser une étude concernant la caractérisation des réseaux trophiques au niveau du site d'implantation du futur parc éolien et de leurs évolutions en relation avec l'implantation de ce dernier. L'étude des différents compartiments permettra au préalable d'améliorer les suivis réalisés, pour l'état de référence de l'étude d'impact environnemental. Ensuite, elle contribuera à la

réalisation d'un état de référence des réseaux trophiques, pour tous les compartiments biologiques (du phytoplancton aux mammifères marins) sur deux grands habitats sédimentaires (les sédiments grossiers et les sables moyens). Ainsi, ce mémoire de stage s'inscrit dans le cadre de cette étude complémentaire sur les réseaux trophiques au niveau du site d'implantation du futur parc éolien de Dieppe-Le Tréport et se focalise plus particulièrement sur le suprabenthos.

Le suprabenthos ou hyperbenthos est d'après (Beyer 1958) un compartiment faunistique distinctif en lien avec la couche d'eau adjacente au fond. Ainsi, il se caractérise comme la faune de transition, entre le benthique et le pélagique (Beyer 1958; Brunel *et al.* 1978). Il est constitué d'organismes de petites tailles, dont une majeure partie de leur cycle de vie se déroule dans la couche d'eau directement adjacente aux sédiments (Beyer 1958; Brunel *et al.* 1978; Dauvin & Vallet 1997). Les principaux individus composant la communauté suprabenthique appartiennent alors aux péricarides (amphipodes, mysidacés, cumacés, isopodes et tanaïdés), aux décapodes nageur et aux pycnogonides (Dauvin & Vallet 1997, 2006; Mouny 1998; Mouny *et al.* 2000; Dauvin & Pezy 2013; Pezy *et al.* 2017). Lié de façon intrinsèque au fond marin sédimentaire, le suprabenthos possède une capacité natatoire non négligeable lui octroyant la faculté de se mouvoir dans la colonne d'eau (Beyer 1958; Brunel *et al.* 1978; Dauvin & Vallet 1997). La littérature montre alors un consensus entre ces mouvements verticaux qui seraient associés à des variations nycthémérales et saisonnières (Brunel *et al.* 1978; Gibson & Barnes 1997; Dauvin *et al.* 2000; Dauvin & Vallet 2006). Plus particulièrement, c'est la décroissance de l'intensité lumineuse qui serait le facteur déterminant de l'activité natatoire des crustacés péricarides mais également des rythmes endogènes (Macquart-Moulin 1973a, b; Hammond & Naylor 1977; Vallet *et al.* 1995; Dauvin *et al.* 2000). Par conséquent, le suprabenthos a un rôle écologique important dans le transfert actif de matière vivante entre le benthos et le pelagos (Beyer 1958; Gibson & Barnes 1997; Vallet & Dauvin 2001). De ce fait, il est défini selon plusieurs auteurs comme une source de nourriture majeure pour de nombreux poissons démersaux (poissons vivant dans la couche d'eau adjacente aux sédiments) favorisant les péricarides et les décapodes dans leur régimes alimentaires (Pezy 2017). L'étude du suprabenthos permet alors de compléter celles d'autres compartiments biologiques tels que la macrofaune benthique.

Ainsi, la présente étude se consacre principalement à caractériser les communautés suprabenthiques au niveau du futur parc éolien de Dieppe-Le Tréport avant construction, localisé au niveau de deux habitats sédimentaires, afin de caractériser son rôle dans le réseau trophique de cette zone. Les problématiques ici sont multiples, (i) déterminer s'il existe une évolution saisonnière de la faune suprabenthique au niveau des deux habitats sédimentaires ; (ii) existe-t-il un lien entre les péricarides collectés dans le suprabenthos et le benthos ? ; (iii) quel est le rôle du suprabenthos dans le régime trophique des poissons démersaux ?

MATERIELS ET METHODES

1- Description du site d'étude

Le futur parc éolien de Dieppe-Le Tréport se situe au niveau de la Manche orientale qui s'étend du cap d'Antifer à l'Ouest au détroit du Nord-Pas-de-Calais / Douvres à l'Est. Le bassin de la Manche orientale est dominé en grande partie par des sédiments sableux et gravelo-sableux. La zone du futur parc éolien apparaît localisée sur des sédiments grossiers (graviers ensablés et sables graveleux) et des sables moyens. Les courants de marées y paraissent relativement faibles, de $0,5$ à 1 m.s^{-1} mais avec un important brassage dans toute la colonne d'eau ne permettant pas à la thermocline de s'installer (Pezy 2017).

Le futur parc éolien s'étendra sur une surface totale de 83 km^2 , et sera composé de 62 éoliennes pouvant atteindre une capacité unitaire de 8 MW et une puissance totale de 496 MW. Espacées entre elles de 1,1 à 1,3 km afin de laisser la navigation et la pêche possible, les éoliennes seront positionnées à 15,5 km du Tréport et à 17 km de Dieppe, sur une profondeur de fond marin variant entre 14 et 24 mètres. Elles seront soutenues par des fondations en treillis métalliques (jacket) à quatre pieux. Les pieux fixés dans le fond marin peuvent limiter l'emprise sur celui-ci et favoriser le développement de la faune et de la flore via la création d'habitats artificiels. Le parc devrait produire en moyenne 2000 GWh par an, soit la consommation électrique annuelle d'environ 850 000 personnes.

2- Protocole d'échantillonnage

Le compartiment suprabenthique a été échantillonné au cours de deux campagnes océanographiques : le 29 mars (hiver) et le 19 septembre (fin été) 2022 à bord du SEPIA II (navire CNRS de la station marine de Wimereux). Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'un traineau suprabenthique (Fig. 1) permettant d'échantillonner la couche d'eau juste au-dessus du fond en un unique niveau : $0,10 - 0,40 \text{ m}$ au-dessus du fond (filet WP2 de $500 \mu\text{m}$) au niveau de quatre stations (Fig. 2), équipé en son centre d'un compte-tour :

- Deux stations localisées au niveau des sédiments grossiers (la station B8E localisée à l'extérieur du parc et la station B4I localisée à l'intérieur du parc)
- Deux stations localisées au niveau des sables moyens (la station B5E localisée à l'extérieur du parc et la station B15I localisée à l'intérieur du parc)



Figure 1 : Traineau suprabenthique

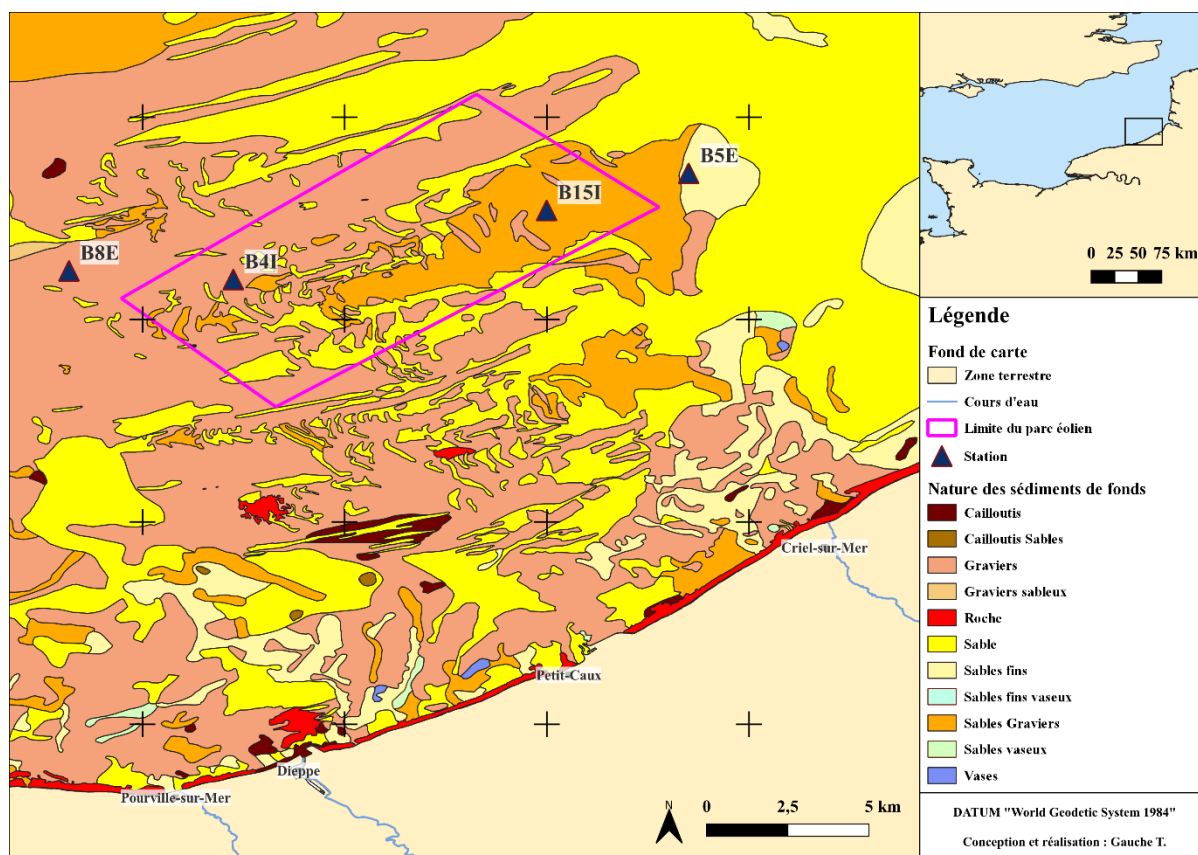


Figure 2 : Carte de la localisation des zones de prélèvements du suprabenthos, de la nature des sédiments de fonds provenant du Shom au niveau de la zone du futur parc éolien Dieppe-Le Tréport. Triangle = Station

Dans chaque zone, cinq traits de 15 min ont été effectués à contre-courant à une vitesse de 1,5 nœuds de jour (deux traits) et de nuit (deux traits) et un trait à l'aurore ou au crépuscule afin d'étudier les migrations nyctémérales (soit un total de cinq traits). Les échantillons ont été fixés avec de l'éthanol ou du formol pour un traitement ultérieur au laboratoire et les prélèvements de nuits ont été congelés pour réaliser des mesures isotopiques sur les organismes.

3- En laboratoire

Tri et identification

Les différents échantillons de suprabenthos ont été rincés sur un tamis de maille 200 µm afin de retirer l'agent fixateur (formol) puis ont été entièrement triés et déterminés sous loupe binoculaire. Chaque individu a été identifiés jusqu'à l'espèce si possible à partir de clés de détermination (Tattersall 1951; Naylor 1972; Jones 1976; Smaldon *et al.* 1978; Lincoln 1979; Hayward & Ryland 2017). Les noms scientifiques attribués à chaque organisme ont été mis à jour en se basant sur le site web WORMS (World Register of Marine Species) à la date du 27 avril 2023. L'abondance de chaque espèce identifiée de chaque prélèvement a été calculée suivant les volumes de prélèvement et chaque espèce de chaque zone (intérieur et extérieur du parc) est placée dans des piluliers différents pour effectuer les biomasses.

Abondances

L'abondance correspond au nombre d'individu identifié suivant un volume, ici les volumes des prélèvements lors des échantillonnages, afin de comparer les résultats d'abondances et de biomasses, les calculs sont rapportés pour 100 m³ d'eau filtrée d'après la formule ci-dessous.

$$Abondance = \frac{\text{Nombre d'individu}}{V} \times 100$$

V : Volume d'eau prélevé (m³)

Biomasses

Le Poids Sec Libre de Cendres (PSLC) est décrit comme l'indicateur le plus adéquat pour mesurer la biomasse (Dumont *et al.* 1975). Ainsi, la biomasse des organismes (pour 100 m³) décrite dans cette étude est relative aux différentes stations et dates de prélèvements. Les individus de chaque espèce ont été séchés à 60°C pendant 48h, refroidis à température ambiante dans un dessiccateur puis pesés avec une balance de précision Mettler® AE200 (détermination du poids sec - PS). Ensuite, les échantillons ont été calcinés à 500°C pendant 5h dans un four de laboratoire (Nabertherm® B180). Par la suite, les cendres résultantes ont été refroidies à 60°C dans le four éteint, puis dans un dessiccateur jusqu'à atteindre la température ambiante. La masse a de nouveau été mesurée (détermination du poids de cendre - PC), permettant alors de déterminer la biomasse avec la formule ci-dessous, calculée à partir du PSLC pour 100 m³ d'eau (Mouny *et al.* 2000; Pezy *et al.* 2017).

$$Biomasse = \frac{(PS - PC)}{V} \times 100$$

PS : Poids Sec (g) ; PC : Poids Cendres (g) ; V : Volume d'eau prélevé (m³)

4- Traitements des données

Richesse spécifique

La richesse spécifique est déterminée par le nombre d'espèces présentes dans un volume ou une surface donnée. De ce fait, la richesse spécifique dans cette étude correspond au nombre total d'espèces.

Indices de Shannon

L'indice de diversité de Shannon H' permet de combiner la richesse taxonomique et équitabilité, en plus de mesurer la difficulté à prédire l'identité du prochain individu. Sensible aux variations d'espèces rares il intègre la richesse spécifique et l'abondance relative des espèces. Son interprétation est représentée dans le **Tab. I**.

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

où n = nombre d'espèces et p_i = fréquence relative de l'espèce i dans la station

Tableau I : Interprétation des valeurs de H' (Vincent *et al.* 2002).

Valeur de H'	Interprétation de la communauté
[0 - 1[	Très peu diversifié
[1 - 2[	Peu diversifié
[2 - 3[	Diversifié
[3 - 4[	Très diversifié
[4 - +∞[	Extrêmement diversifié

Indice de Pielou

L'indice d'équitabilité de Pielou (J') (Pielou 1966) complète l'indice de diversité de Shannon (H'). Celui-ci permet d'appréhender la structure quantitative d'une communauté en termes de dominance d'une ou de plusieurs espèces. Il correspond au rapport entre la diversité (H') observée au sein d'une station et la diversité maximale (H' max), atteinte lorsque les espèces possèdent des effectifs identiques (Frontier *et al.* 2008). L'indice varie alors entre 0 (dominance d'une des espèces) et 1 (équpartition des individus dans les espèces) selon le Tab. II et se calcule selon la formule suivante :

$$J = \frac{H'}{H_{max}}$$

Tableau II : Interprétation des valeurs de J' (Dauvin *et al.* 2017).

Valeur de J'	Interprétation de la communauté
[0,00-0,20[	Très peu diversifié
[0,20-0,40[	Peu diversifié
[0,40-0,60[	Diversifié
[0,60-0,80[	Très diversifié
[0,80-1,00[	Extrêmement diversifié

5- Analyses statistiques

Analyses univariées

Plusieurs analyses ont été effectuées, tout d'abord, des données environnementales (salinité, température et taux d'oxygène) et granulométriques du milieu ont été étudiées et moyennées afin de déterminer s'il existait une corrélation ou non avec le suprabenthos. Des tests de Chi² ont été effectués sur les données environnementales pour caractériser leur significativité suivants les habitats sédimentaires et les saisonnalités.

Parmi les analyses univariées, les résultats d'abondances et de biomasse ne suivaient pas de loi normale (test de Shapiro), les tests ont donc été orientés vers des tests non paramétriques (test de Kruskal). Plusieurs facteurs (saisons, habitats sédimentaires et horaires de prélèvements) ont été testés afin de vérifier leurs effets au niveau de l'abondance et de la biomasse. Après avoir déterminé leur impact suivant les horaires de prélèvements du suprabenthos, les analyses suivantes se focalisent uniquement sur les prélèvements de nuit, d'après plusieurs auteurs, c'est pendant cette période que le suprabenthos

est le plus présent (Macquart-Moulin 1973a, b; Hammond & Naylor 1977; Vallet *et al.* 1995; Dauvin *et al.* 2000). Les indices de Shannon (H') et d'équitabilité de Pielou (J') de nuit ont été obtenus à partir des données d'abondances et de biomasses à l'aide de Primer-e. Ceux-ci ont été moyennés suivant les habitats sédimentaires et les saisons. La normalité a été reconnue pour les indices de diversité de Shannon (H') et d'équitabilité de Pielou (J'), des ANOVA ont été réalisées afin de tester l'effet des facteurs utilisés précédemment (saisons, habitats sédimentaires et horaires de prélèvements). Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Primer-e et du logiciel R pour les analyses univariées (Primer-E 2009; R Core Team 2020).

Analyses multivariées

A partir des abondances et des biomasses des espèces, il est possible de réaliser des assemblages faunistiques afin de déterminer s'il existe des différences de communauté d'espèces entre les stations et les saisons. Les analyses ont été effectuées suivant la similarité de Bray-Curtis en utilisant la fonction Simper soit le pourcentage de similarité et la contribution de chaque espèce, ainsi, différentes transformations sont utilisées :

- L'absence / présence se base uniquement sur les espèces dénombrables par station et par saison. Cette transformation se base sur l'indice de similarité de Sørensen, elle accorde plus d'importance à la présence qu'à l'absence des espèces caractéristiques d'une communauté suprabenthique.
- En $\log_{10}(x + 1)$ où x correspond aux abondances par espèce, par station et par saison (hiver et été). Cette transformation permet de distinguer les espèces participant le plus dans abondance du suprabenthique et donc aux potentielles proies contribuant le plus aux assemblages.
- En racine carré ($\sqrt{x}$) où correspond aux biomasses par espèce, par station et par saison. Cette transformation permet de caractériser les organismes contribuant le plus d'un point de vue trophique à la structure des assemblages benthiques.

RESULTATS

1- Paramètres environnementaux

Mesure physico-chimique de l'eau

Le **Tab. III** résume les moyennes des paramètres environnementaux (salinité, température et taux d'oxygène) à un mètre au-dessus du fond au niveau des zones d'études pendant l'été et l'hiver. L'ensemble des données environnementales semble être influencé par les changements de saisons entre l'hiver et l'été (T- χ^2 : $p\text{-value} < 0,05$). Parmi ces paramètres, dans les sédiments grossiers entre l'été et l'hiver, la salinité moyenne varie entre 34,3 à 35,1 (T- χ^2 : $p\text{-value} < 0,05$), la température de 17,6 l'été à 9,6 °C l'hiver (T- χ^2 : $p\text{-value} < 0,05$) et l'oxygène de 6,1 à 10,6 mg.L⁻¹ entre l'été et l'hiver (T- χ^2 : $p\text{-value} < 0,05$). Dans les sables moyens, l'été la salinité est de 34,6 et l'hiver de 34,4 (T- χ^2 : $p\text{-value} < 0,05$), la température oscille entre 17,6 l'été à 9,6 °C l'hiver (T- χ^2 : $p\text{-value} < 0,05$) et l'oxygène peut passer de 6,1 l'été à 10,4 mg.L⁻¹ pendant l'hiver (T- χ^2 : $p\text{-value} < 0,05$).

Tableau III : Moyennes des paramètres environnementaux (salinité, température et oxygène) à un mètre au-dessus du fond durant l'été et l'hiver.

Station	Sédiment	Saison	Profondeur (m)	Salinité (S.m ⁻¹)	Température (°C)	Oxygène (mg.L ⁻¹)
B15I	Sable moyen	Hiver	25,4	34,5	9,6	10,4
B5E	Sable moyen	Hiver	17,8	34,4	9,6	10,4
B8E	Sédiment grossier	Hiver	24,5	35,1	9,7	10,5
B4I	Sédiment grossier	Hiver	26,4	35,0	9,7	10,6
B15I	Sable moyen	Été	25,5	34,6	17,6	6,2
B5E	Sable moyen	Été	18,0	34,5	17,6	6,1
B8E	Sédiment grossier	Été	24,8	34,3	17,6	6,1
B4I	Sédiment grossier	Été	26,5	34,5	17,6	6,1

Granulométrie

La granulométrie de chacune des stations a été mesurée lors des prélèvements en mer, ainsi la **Fig. 3** représente le pourcentage cumulé du refus de tamis suivant le diamètre du tamis (mm) et des stations et le **Tab. IV** représente la correspondance entre le diamètre de chaque tamis (mm) et l'échelle granulométrique marine.

D'après la **Fig. 3**, et le **Tab. IV**, les stations B15I et B5E (bleu) ont une majeure partie de leur sédiment dans un diamètre compris entre 0,4 à 0,080 mm, se situant alors dans les sables moyens à fins. Les stations B8E et B4I (vert) représentent une grande partie de l'échelle granulométrique, c'est-à-dire qu'elles possèdent des sédiments allant des cailloux aux silts. Mais la majorité de ces sédiments se situe entre 3 et 0,5 mm soit des granules aux sédiments grossiers.

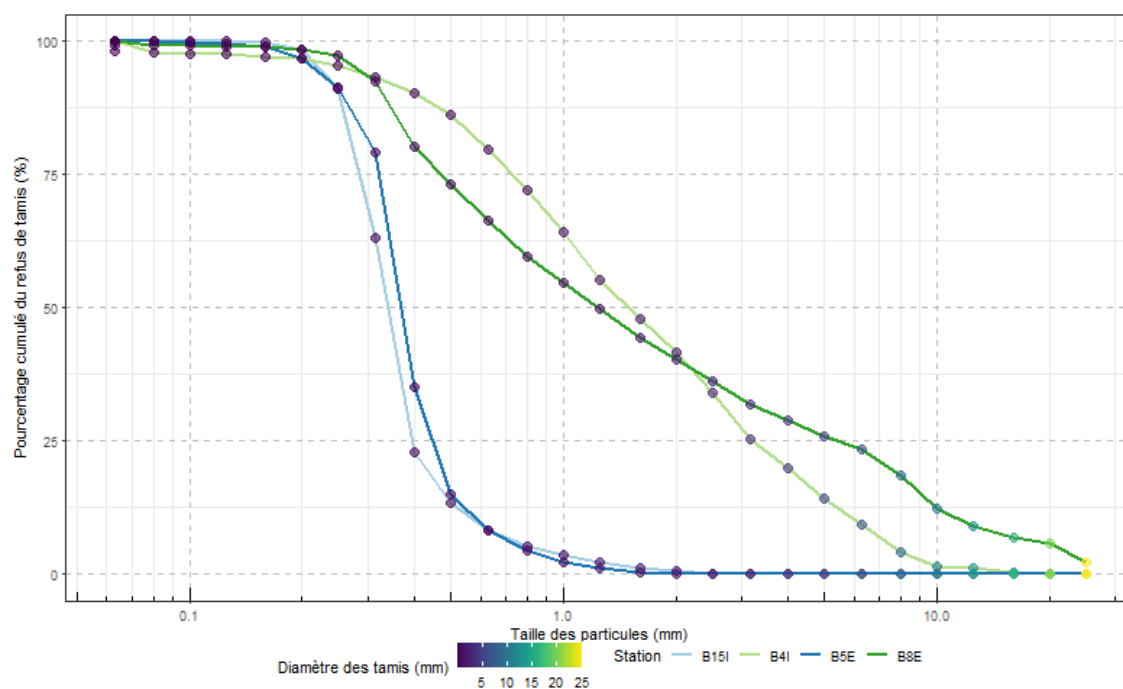


Figure 3 : Représentation graphique du pourcentage cumulé du refus de tamis suivant le diamètre du tamis (mm) (violet = silt ; jaune = cailloux) (échelle logarithmique) en fonction des stations (B15I ; B5E (bleu) ; B4I et B8E (vert)).

Tableau IV : Correspondance entre le diamètre de chaque tamis (mm) et l'échelle granulométrie marine.

Diamètre des tamis (mm)	Echelle granulométrique
25	Cailloux
20	
16	
12,5	
10	
8	
6,3	
5	
4	
3,15	Granules
2,5	
2	
1,6	Sable très grossier
1,25	
1	
0,8	Sable grossier
0,63	
0,5	
0,4	Sable moyen
0,315	
0,25	
0,2	
0,16	Sable fin
0,125	
0,1	Sable très fin
0,08	
0,063	
< 0,063	Silt

2- Etude du suprabenthos

Richesse spécifique et abondance globale

Un total de 53 espèces a été observé en 2022 pour les deux campagnes, représentant un total de 48 948 individus. Les 53 espèces correspondent à 29 amphipodes, huit mysidacés, quatre cumacés, six décapodes, cinq isopodes et un leptostracé. Le **Tab. V** représente la richesse spécifique et les nombres d'individus totaux suivant les saisons et les habitats sédimentaires. La richesse spécifique ne semble pas varier suivant les saisons, les habitats sédimentaires et les répliques (*Anova : p-value > 0,05*).

Les abondances moyennes ont été rapportées pour 100 m³, ainsi, d'après le **Tab. V**, elles ne semblent pas varier annuellement suivant les habitats sédimentaires, entre les sédiments grossiers (134±367) et les sables moyens (388±1042 individus moyens pour 100 m³) (*T-Kruskal : p-value > 0,05*). Cependant, cette variation est significative suivant les saisons dans les deux habitats sédimentaires (*T-Kruskal : p-value < 0,05*). En outre, l'été, dans les sédiments grossiers, la moyenne est de 228±510 contre 40,5±64,5 individus moyens pour 100 m³ l'hiver. A l'inverse, dans les sables moyens, il y a 726±1425 individus pour 100 m³ l'hiver et 50,5±96,4 individus l'été. Entre les deux saisons, dans les sédiments grossiers, l'abondance varie d'un facteur 5 entre l'hiver et l'été tandis que dans les sables moyens, celui-ci est de 14 entre l'été et l'hiver (*T-Kruskal : p-value < 0,05*).

Tableau V : Richesse spécifique et abondance (moyenne et écart-type) pour 100 m³ total du suprabenthos dans les sédiments grossiers et les sables moyens durant l'hiver, l'été et l'année.

	Richesse spécifique		Abondance (moyenne et écart-type) pour 100 m ³	
	Sédiments grossiers	Sables moyens	Sédiments grossiers	Sables moyens
Eté	37	28	228 ± 510	50,5 ± 96,4
Hiver	28	31	40,5 ± 64,5	726 ± 1425
Année	46	41	134 ± 367	388 ± 1042

La **Fig. 4** résume les répartitions des grands ordres du suprabenthique suivant les saisons et le milieu sédimentaire. Les amphipodes sont largement dominants et représentent 61% (17 espèces) à 54% (20 espèces) du nombre total d'espèces entre l'hiver et l'été dans les sédiments grossiers. Dans les sables moyens, les amphipodes sont aussi le groupe dominant du suprabenthique, notamment l'hiver avec 65% (20 espèces) et 46% (13 espèces) l'été.

Au niveau des sables moyens, les mysidacés représentent le second groupe dominant durant l'été seulement avec 25% de la richesse spécifique totale, l'hiver, elle n'est que de 10% car les cumacés dominent de peu la richesse spécifique (13%). Les cumacés, les isopodes et les décapodes sont co-dominants durant l'été avec 11, 11 et 7% de la richesse spécifique des sables moyens.

Au niveau des sédiments grossiers les décapodes semblent co-dominer avec les mysidacés durant l'été avec respectivement 16 et 14%. Leur richesse spécifique diminue l'hiver (11 et 7%) pour laisser place à la co-dominance des cumacés et isopodes (10 et 11%).

La Fig. 5 représente et résume la fréquence du nombre d'individu des différents groupes suprabenthiques dans les sables moyens et les sédiments grossiers en été et en hiver. La majeure partie des individus identifiés correspondait à l'ordre des amphipodes, des cumacés et des mysidacés comme présenté sur la Fig. 5. Dans les sédiments grossiers, les amphipodes représentent 83% l'été contre 45% l'hiver car les cumacés ont un pourcentage de 38. Dans les sables moyens, amphipodes et cumacés sont nombreux et représentent respectivement 48 et 47% du nombre d'individu total pendant l'hiver, tandis que l'été, les mysidacés sont relativement présents (à 27%) et les amphipodes et cumacés sont présent à 53 et 19%.

En général, la taxocénose suprabenthique est donc principalement composée d'amphipodes en hiver et en été dans les deux milieux d'études, avec des sous-groupes qui co-dominent et varient et relevant d'une saisonnalité (*T-Kruskal* : $p\text{-value} < 0,05$).

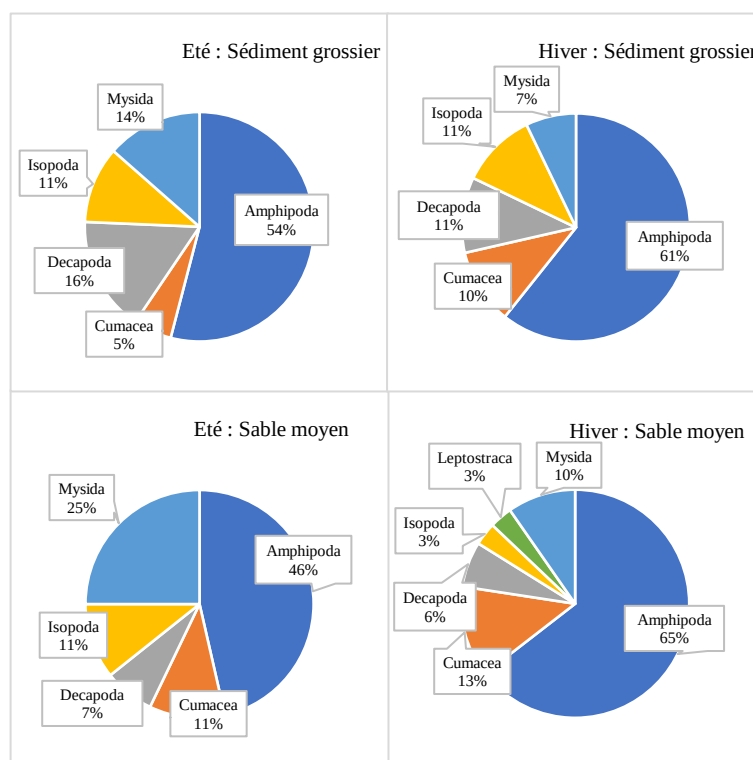


Figure 4 : Fréquence de la richesse spécifique des différents groupes suprabenthiques dans les sables moyens et les sédiments grossiers en été et en hiver.

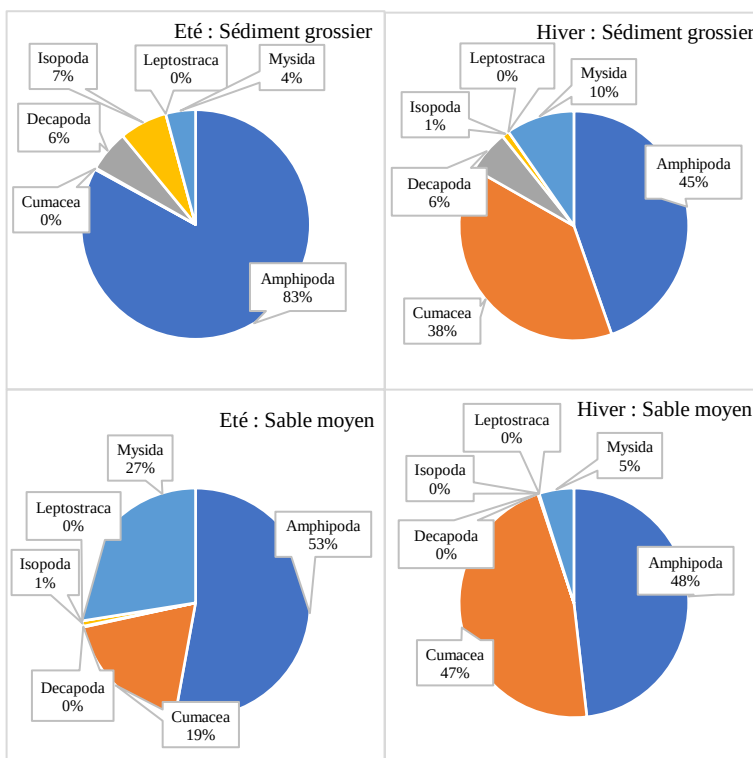


Figure 5 : Fréquence des abondances pour 100 m³ des différents ordres suprabenthiques dans les sables moyens et les sédiments grossiers en été et en hiver.

Abondances

Le **Tab. VI** représente les moyennes et les écarts-types des abondances pour 100 m³ suivant les horaires de prélèvement (jour/crépuscule/nuite) et des habitats sédimentaires (sédiments grossiers et sables moyens) pendant l'hiver et l'été. La **Fig. 6** représente les abondances du **Tab. VI** mais sous forme de boîte à moustaches suivant les paramètres précédents (horaires de prélèvement, habitats sédimentaires et saison). L'abondance croît de 13,10±10,60 le jour à 549±742 individus.100 m³ la nuit en été dans les sédiments grossiers par exemple (**Tab. VI**). De manière général, l'abondance est croissante des prélèvements de jour à ceux de nuit relevant bien des migrations nycthémérales (*T-Kruskal* : *p-value* < 0,05), cependant, le sédiment seul ne semble pas influencer l'abondance (*T-Kruskal* : *p-value* > 0,05) (**Tab. VI** et **Fig. 6**). Une forte abondance est présente au crépuscule en hiver dans les sables moyens (609±838 individus.100 m³), toutefois, les prélèvements pendant les crépuscules n'ont pas été pris en compte dans les analyses statistiques faute de répliques. Plus en détail, dans les sédiments grossiers, les abondances de nuit atteignent 549±742 l'été et 96,8±73,60 individus.100 m³ l'hiver. A l'inverse, dans les sables moyens, les abondances de nuit sont de 114±137 l'été et 1504±2086 individus.100 m³ l'hiver (**Tab. VI**). Les abondances varient alors fortement entre les saisons (hiver et été) d'un sédiment à un autre (*T-Kruskal* : *p-value* < 0,05) pouvant traduire une saisonnalité du suprabenthos.

Tableau VI : Moyennes et écarts-types des abondances pour 100 m³ suivant les horaires de prélèvements (jour/crépuscule/nuite) et des habitats sédimentaires (sédiment grossier et sable moyen) pendant l'hiver et l'été.

Horaires	Sédiment grossier		Sable moyen	
	Hiver	Eté	Hiver	Eté
Jour	1,42 ± 0,91	13,10 ± 10,60	6,91 ± 5,76	4,72 ± 1,94
Crépuscule	6,22 ± 6,72	12,70 ± 4,64	609 ± 838	15,10 ± 18,90
Nuit	96,8 ± 73,60	549 ± 742	1504 ± 2086	114 ± 137

Les abondances minimums des médianes se retrouvent dans les prélèvements de jour (±0,3 individus.100 m³) et de crépuscule (±0,25 individus.100 m³) hormis dans les sables moyens en hiver pendant le crépuscule (± 1,0 individus.100 m³) (**Fig. 6**). L'abondance du suprabenthos est majoritairement plus importante pendant la nuit dans les sables moyens (hiver) et les sédiments grossier (été) avec respectivement des médianes d'environ 2,5 et 2,8 individus.100 m³.

Plusieurs représentations en boîtes à moustaches présentent de fortes variations des moustaches, notamment la nuit. Ces prélèvements, ont des maximums d'abondances d'environ 200 (hiver) et 350 (été) individus.100 m³ dans les sédiments grossiers 300 (hiver) et 55 (été) individus.100 m³ les sables moyens. L'analyse de ces trois paramètres (sédiment ; saison ; jour/nuite) interagissant ensemble semblent avoir un impact significatif sur l'abondance (*T-Kruskal* : *p-value* < 0,05) de même s'ils sont testés deux à deux (sédiment/saison ; sédiment/jour et nuit ; saison/jour et nuit).

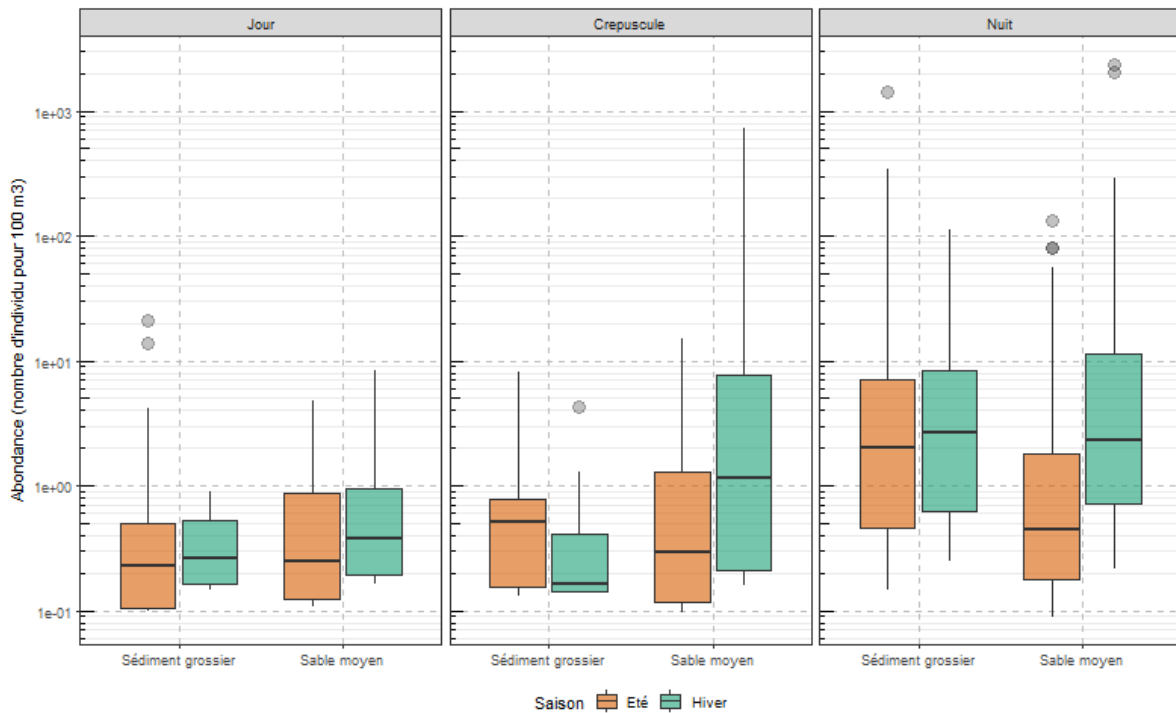


Figure 6 : Représentation en boîte à moustaches de la migration jour/crépuscule/nuite de l'abondance (nombre d'individu.100 m³) du suprabenthiques sur les sables moyens et les sédiments grossiers en hiver (vert) et en été (orange) (échelle logarithmique).

D'après les résultats précédents, les organismes suprabenthiques se retrouvent plus abondant dans les prélèvements de nuit, en effet, ils effectuent la majeure partie leur migration pendant cette période. Par conséquent, le **Tab. VII** résume les onzes principales espèces suprabenthiques les plus abondantes la nuit dans les sédiments grossiers et les sables moyens pendant l'hiver et l'été. Ainsi, selon le **Tab. VII**, *Pseudocuma simile* (cumacé), *Megaluropus agilis* (amphipode), *Apherusa bispinosa* (amphipode) et *Gastrosaccus spinifer* (mysidacé) sont les espèces les plus abondantes suivant l'habitat sédimentaire et traduisent bien les résultats détaillés précédemment, notamment les abondances globales (**Tab. V**, **Fig. 4** et **Fig. 5**). Parmi ces espèces, *Pseudocuma simile* et *Megaluropus agilis* sont en moyenne très présents l'hiver et particulièrement dans les sables moyens ($751,85 \pm 1074,72$ et $667,55 \pm 904,62$ individus.100 m³) tandis que *Apherusa bispinosa* est présent l'été dans les sédiments grossiers ($443,44 \pm 655,40$ individus.100 m³). *Gastrosaccus spinifer* se retrouve principalement dans les sables moyens avec une plus forte abondance pendant l'hiver ($56,10 \pm 73,93$) que l'été ($30,70 \pm 35,87$ individus.100 m³).

Tableau VII : Récapitulatif des moyennes et écarts-types de l'abondance pour 100 m³ des onze principales espèces suprabenthiques présentes dans les sédiments grossiers et les sables moyens la nuit en hiver et en été (classé du plus abondant au moins abondant).

Espèces	Sédiment grossier		Sable moyen	
	Hiver	Été	Hiver	Été
<i>Pseudocuma simile</i>	37,96 ± 26,96	1,16 ± 1,35	751,85 ± 1074,72	18,53 ± 25,74
<i>Megaluropus agilis</i>	33,62 ± 53,28	1,42 ± 2,25	667,55 ± 904,62	55,24 ± 62,52
<i>Apherusa bispinosa</i>	0,22 ± 0,45	443,44 ± 655,40	0	0
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	7,66 ± 5,43	2,31 ± 2,32	56,10 ± 73,93	30,70 ± 35,87
<i>Anchialina agilis</i>	1,36 ± 1,23	19,56 ± 16,82	6,10 ± 10,43	2,64 ± 3,95
<i>Eurydice pulchra</i>	0,60 ± 0,43	15,29 ± 16,68	0	0,37 ± 0,40
<i>Philocheras sculptus</i>	5,95 ± 5,57	14,82 ± 20,89	0	0
<i>Pandalina brevirostris</i>	0	14,30 ± 19,30	0	0
<i>Gnathia sp</i>	0,15 ± 0,31	9,62 ± 6,10	0	0,08 ± 0,17
<i>Atylus vedlomensis</i>	6,12 ± 4,10	9,06 ± 9,43	0,54 ± 1,09	0,76 ± 0,76
<i>Atylus falcatus</i>	0	0	8,71 ± 12,65	0,36 ± 0,44

Les abondances relevées dans les résultats précédents (Tab. VI et Fig. 6) peuvent être sensiblement représentées par ces espèces, à savoir *Megaluropus agilis*, *Pseudocuma simile* et *Gastrosaccus spinifer* dans les sables moyens pendant l'hiver et *Apherusa bispinosa* l'été dans les sédiments grossiers. Celles-ci peuvent potentiellement impacter les indices de biodiversité du fait de leur forte abondance comparée à d'autres espèces.

Biomasses

Les biomasses moyennes avec leurs écarts-types suivant les horaires de prélèvement (jour/crépuscule/nuit) et des habitats sédimentaires (sédiments grossiers et sables moyens) pendant l'hiver et l'été sont représentées sur le Tab. VIII. Les biomasses semblent présenter les mêmes similitudes que les abondances suivant les habitats sédimentaires, les saisons et les horaires de prélèvements. Ainsi, elles varient significativement entre les saisons (hiver et été) (*T-Kruskal* : *p-value* < 0,05) avec des maximums atteints la nuit en été dans les sédiments grossiers (8,28±9,23 de biomasse pour 100 m³) et en hiver dans les sables moyens (4,17±5,88 de biomasse pour 100 m³). Comme pour l'abondance, l'habitat sédimentaire seul ne contribue pas dans la variation de biomasse (*T-Kruskal* : *p-value* > 0,05).

Tableau VIII : Moyennes et écarts-types des biomasses pour 100 m³ ou g PSLC.100 m³ suivant les horaires de prélèvements (jour/crépuscule/nuit) et des habitats sédimentaires (sédiment grossier et sable moyen) pendant l'hiver et l'été.

Horaires	Sédiment grossier		Sable moyen	
	Hiver	Été	Hiver	Été
Jour	0,00212 ± 0,00104	0,278 ± 0,207	0,0185 ± 0,0166	0,0250 ± 0,0224
Crépuscule	0,0128 ± 0,0159	0,279 ± 0,104	1,32 ± 1,80	0,0552 ± 0,0562
Nuit	0,229 ± 0,168	8,28 ± 9,23	4,17 ± 5,88	0,598 ± 0,697

Le Tab. IX présente et résume les biomasses de nuit pour 100 m³ des neuf principales espèces suprabenthiques dans les milieux d'études suivant les saisons. Les *Pseudocuma simile* (cumacé), les *Philocheras sculptus* (décapodes), les *Apherusa bispinosa* (amphipode), les *Pandalina brevirostris* (décapode), les *Eurydice pulchra* (isopode), les *Processa edulis* (décapode) et les *Megaluropus agilis* (amphipode) sont les sept espèces ayant une biomasse pour 100 m³ supérieure à 0,5 parmi toutes les

espèces relevées. Selon le tableau, seuls *Pseudocuma simile* et *Megaluropus agilis* ont une biomasse élevée l'hiver dans les sables moyens ($3,34 \pm 4,78$ et $3,34 \pm 4,78$ g PSLC.100 m³). Les autres espèces (*Philocheras sculptus*, *Apherusa bispinosa*, *Pandalina brevirostris*, *Eurydice pulchra* et *Processa edulis*) ont une biomasse majoritaire l'été dans les sédiments grossiers ayant respectivement ($1,93 \pm 2,72$, $1,81 \pm 2,68$, $1,65 \pm 2,23$, $1,35 \pm 1,47$ et $1,24 \pm 2,49$ g PSLC.100 m³).

Tableau IX : Récapitulatif des moyennes et écarts-types de la biomasse pour 100 m³ des neuf principales espèces suprabenthiques présentes dans les sables grossiers et les sables moyens la nuit en hiver et en été (classé dans l'ordre croissant annuel de la biomasse).

Espèces	Sédiment grossier		Sable moyen	
	Hiver	Eté	Hiver	Eté
<i>Pseudocuma simile</i>	$0,16 \pm 0,12$	0	$3,34 \pm 4,78$	$0,05 \pm 0,7$
<i>Philocheras sculptus</i>	0	$1,93 \pm 2,72$	0	0
<i>Apherusa bispinosa</i>	0	$1,81 \pm 2,68$	0	0
<i>Pandalina brevirostris</i>	0	$1,65 \pm 2,23$	0	0
<i>Eurydice pulchra</i>	0	$1,35 \pm 1,47$	0	$0,03 \pm 0,03$
<i>Processa edulis</i>	0	$1,24 \pm 2,49$	0	0
<i>Megaluropus agilis</i>	$0,03 \pm 0,04$	0	$0,61 \pm 0,83$	$0,15 \pm 0,17$
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	$0,02 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,25$	$0,35 \pm 0,40$
<i>Gnathia sp</i>	0	$0,23 \pm 0,15$	0	0

Indice de biodiversité

A partir des **Tab. I** et **Tab. II**, il est possible d'interpréter les indices de biodiversité. Ainsi, le **Tab. X** présente les indices de Shannon (H') et d'équitabilité de Piélou (J') des prélèvements de nuit de l'abondance et de la biomasse pour 100 m³ suivant les habitats sédimentaires et les saisons. D'après les résultats de richesse spécifique, le suprabenthos ne semblait pas varier suivant les habitats sédimentaires, les saisons et les horaires de prélèvements. Mais d'après les abondances et les biomasses, le suprabenthos suit un rythme saisonnier et nycthéméral.

Globalement, les indices H' et J' démontrent une communauté peu diversifiée, sans que les changements sédimentaires et saisonniers n'affectent cette richesse taxonomique (*Anova* : *p-value* > 0,05). Cependant, dans le milieu, ces facteurs interagissent et il s'avère que la saisonnalité a un impact significatif sur les indices des biomasses des organismes suprabenthiques (*Anova* : *p-value* < 0,05). L'indice J' dans les sédiments grossiers en hiver indique une communauté très diversifiée dans les abondances tandis qu'elle est moyennement diversifiée l'été.

Les résultats précédents montraient de fortes abondances pour les espèces, *Pseudocuma simile*, *Megaluropus agilis* (sable moyen), *Apherusa bispinosa* (sédiment grossier) et de fortes biomasses pour *Pseudocuma simile*, *Megaluropus agilis* (sable moyen), *Philocheras sculptus*, *Apherusa bispinosa*, *Pandalina brevirostris*, *Eurydice pulchra* et *Processa edulis* (sédiment grossier). Ces espèces peuvent traduire ces communautés peu diversifiées de l'indice de Shannon dans les abondances et les biomasses.

Tableau X : Valeurs moyennes des indices de Shannon (H') et de Pielou (J') des abondances et biomasses pour 100 m³ pendant la nuit dans les sédiments grossiers et les sables moyens (rouge : communauté très peu diversifiée ; orange : communauté peu diversifiée ; jaune : communauté diversifiée ; vert : communauté très diversifiée ; bleu : communauté extrêmement diversifiée).

Sédiment	Saison	Abondance.100m ³		Biomasse.100m ³	
		H'	J'	H'	J'
Sable moyen	Hiver	1,37 ± 0,06	0,37 ± 0,01	0,91 ± 0,21	0,25 ± 0,04
Sable moyen	Eté	1,83 ± 0,33	0,53 ± 0,11	1,45 ± 0,24	0,42 ± 0,09
Sédiment grossier	Hiver	2,15 ± 0,48	0,65 ± 0,15	1,09 ± 0,29	0,33 ± 0,08
Sédiment grossier	Eté	1,94 ± 0,68	0,47 ± 0,19	1,84 ± 0,61	0,44 ± 0,12

Assemblages faunistiques

La Fig. 7 représente le dendrogramme de la présence et l'absence du suprabenthique de nuit selon une similarité de Sørensen de 54%, d'après celle-ci, trois grands assemblages se distinguent. Parmi eux, deux correspondent à une différence de saisonnalité, l'été pour les stations B15I, B4I et B8E (sable moyen et sédiment grossier) (groupe A) et l'hiver pour les stations B15I et B5E (sable moyen) (groupe B). Le troisième ensemble comprend les stations B4I et B8E (sédiment grossier) durant l'hiver et la station B5E pendant l'été qui n'est pas sur le même embranchement que les deux autres stations (groupe C). Plusieurs espèces appartenant au groupe A ont le même pourcentage de contribution (6,62%) notamment six amphipodes (*Apherusa bispinosa*, *Apherusa cirrus*, *Atylus vedlomensis*, *Corophium acutum*, *Megaluropus agilis*) deux décapodes (*Philocheras trispinosus*, *Anchialina agilis*), deux isopodes (*Eurydice pulchra* et *Gnathia sp*) et un mysidacé (*Gastrosaccus spinifer*), *Phtisica marina* et *Amphilocheus neapolitanus* ont une contribution < 3%. Dans l'assemblage B, les espèces ont une contribution de 11,11%, parmi elles, se trouve *Megaluropus agilis* et *Pseudocuma simile*. Ces mêmes espèces se retrouvent aussi dans le groupe C avec notamment *Atylus vedlomensis*, *Eurydice pulchra* et *Anchialina agilis*, tous ayant une contribution de 14,41%.

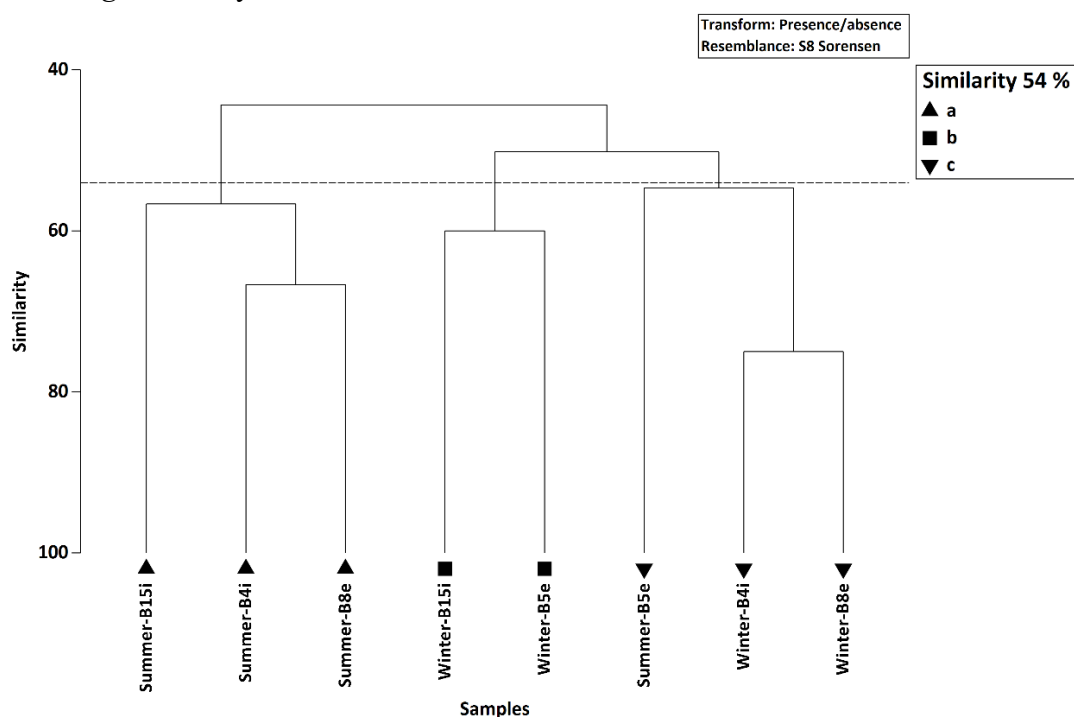


Figure 7 : Dendrogramme obtenu à partir de la matrice présence/absence du suprabenthique de nuit selon l'indice de similarité de Sørensen à 54% (a = assemblage triangle (1) ; b = assemblage carré ; c = assemblage triangle (2)).

La Fig. 8 représente le dendrogramme obtenu à partir de la matrice d'abondance du suprabenthique de nuit selon la similarité de Bray-Curtis. L'abondance du suprabenthique selon les stations et les saisons pour une similarité de 33% présente deux assemblages différents. D'une part les stations B4I et B8E (sédiment grossier) (assemblage A) durant l'été d'un côté et de l'autre les stations B5E, B15I (sable moyen) l'été et l'hiver, puis B4I et B8E l'hiver seulement (assemblage B). Au niveau de ces assemblages, les sédiments grossiers (B4I et B8E) durant l'été seulement se distinguent des autres stations et saisons, ainsi, les sédiments grossiers semblent correspondre à une même unité biocénotique et donc une même communauté. Les sables moyens quel que soit la saison, sont alors mélangés aux stations des sédiments grossiers. Durant l'hiver, les stations B4I et B8E sont parmi les sables moyens (B15I et B5E), il est possible que les communautés soient similaires pendant cette saison.

Plus en détail, l'analyse SIMPER de la Fig. 8 montre pour l'assemblage A une contribution à 21,38% d'*Apherusa bispinosa*, d'*Anchialina agilis* à 15,75%, de *Gnathia sp* à 13,98%, *Gammaropsis maculata*, *Philocheras sculptus* et *Eurydice pulchra* ont une contribution < 6%. Dans l'assemblage B, *Megaluropus agilis*, *Pseudocuma simile* et *Gastrosaccus spinifer* ont une contribution respective de 30,6, 24,84 et 24%. De plus, la différence entre ces deux groupes est de 75% d'après la dissimilarité obtenue entre les espèces de ceux-ci.

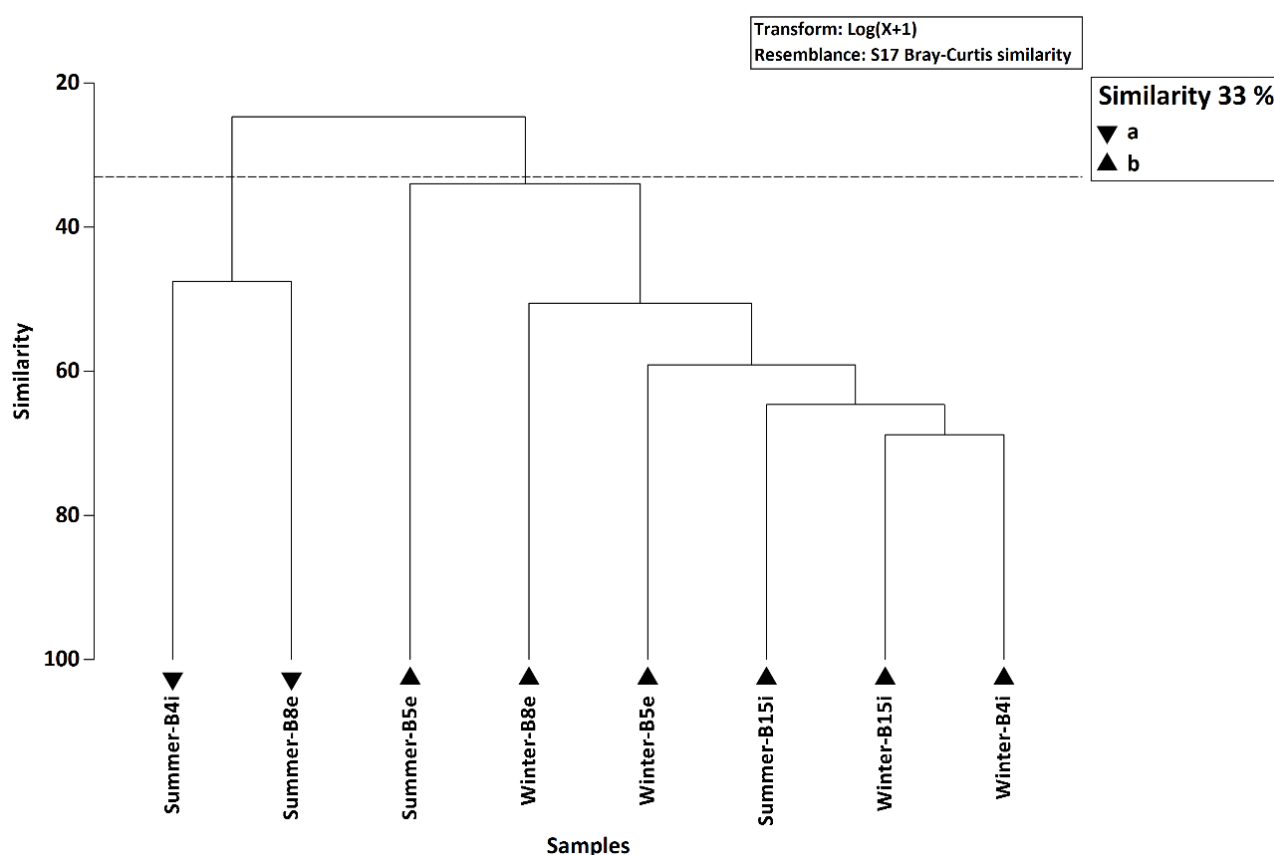


Figure 8 : Dendrogramme obtenu à partir de la matrice d'abondance du suprabenthique de nuit en transformation Log₁₀ (x + 1) de la matrice unique selon la similarité de Bray-Curtis à 33% (a = assemblage triangle (1) ; b = assemblage triangle (2)).

Le dendrogramme obtenu à partir de la matrice de la biomasse du suprabenthique de nuit (en transformation racine carré) selon la similarité de Bray-Curtis présente les mêmes assemblages que celui de l'abondance mais pour une similarité de 30%. Celui-ci n'est donc pas représenté ici mais l'analyse SIMPER reste intéressante. Elle donne les assemblages faunistiques de chacun des groupes, *Pseudocuma simile*, *Gastrosaccus spinifer* et *Megaluropus agilis* ont une contribution correspondant à 36,03, 31 et 25,48% dans le groupe B tandis que celles de *Philocheras sculptus*, *Gnathia sp.*, *Eurydice pulchra* et *Apherusa bispinosa* sont respectivement de 24, 20,37, 17,05 et 14,57% dans le groupe A. La dissimilarité entre les deux groupes est de 88,66%, de plus, les espèces présentes entre les deux dendrogrammes sont bien les mêmes mais avec des pourcentages de contribution différents, hormis *Anchialina agilis* et *Gammaropsis maculata* qui ne contribuent aucunement aux groupes.

DISCUSSION

L'étude établie ici se concentrait sur différentes analyses des communautés suprabenthiques (richesse spécifique, indices de diversité, abondance, biomasse, paramètres environnementaux, granulométrie) afin de répondre aux problématiques posées précédemment qui étaient (i) déterminer s'il existe une évolution saisonnière de la faune suprabenthique au niveau des deux habitats sédimentaires ; (ii) existe-t-il un lien entre les pécararides collectés dans le suprabenthos et le benthos ? ; (iii) quel est le rôle du suprabenthos dans le régime trophique des poissons démersaux ?

1- Evolution saisonnière de la faune suprabenthique au niveau des deux habitats sédimentaires

En Manche, les forts courants de marée jouent un rôle majeur sur la répartition des espèces marines. Cet hydrodynamisme important structure les fonds marins, la circulation verticale de l'eau et également la distribution des espèces benthiques (Dauvin *et al.* 2000). Ainsi, la distribution des communautés benthiques est directement liée aux habitats sédimentaires, eux-mêmes liés aux conditions environnementales comme les courants de marées (Clabaut & Davoult 1989; Snelgrove & Butman 1994; Dauvin 1997; Baffreau *et al.* 2017; Pezy 2017).

Habitats sédimentaires

Deux habitats sédimentaires différents sont localisés dans le futur parc éolien Dieppe-Le Tréport d'après les résultats granulométriques et la carte, à savoir les sédiments grossiers et les sables moyens. Il ne semble pas y avoir de différence significative pour les indices de Shannon (H') et d'équitabilité de Pielou (J') entre les stations à l'intérieur et à l'extérieur du parc pour un même habitat sédimentaire.

Communautés suprabenthiques

D'après la richesse spécifique et les abondances, la communauté suprabenthique est majoritairement représentée en nombre par les amphipodes et les cumacés dans les sédiments grossiers et les sables

moyens. Cependant, les amphipodes sont le groupe dominant largement la communauté suprabenthique en nombre d'espèces avec 29 espèces, alors que seulement quatre espèces de cumacés ont été observées. Plusieurs auteurs ont observé des résultats similaires, une communauté suprabenthique avec une forte dominance des amphipodes, des cumacés puis des mysidacés dans la Manche (Dauvin & Vallet 1997, 2006; Dauvin *et al.* 2000; Mouny *et al.* 2000; Dauvin & Pezy 2013; Pezy *et al.* 2017).

Préférence sédimentaire et saisonnière

L'abondance du suprabenthos est plus importante au niveau des sédiments grossiers durant l'été, et des sables moyens durant l'hiver. En outre, les indices de Shannon et d'équitabilité de Pielou pour la biomasse de nuit décrivent les deux saisons comme ayant chacune une dominance d'une ou plusieurs espèces. Cette préférence peut être expliquée par des différences de communautés suprabenthiques et notamment une espèce de décapode et une espèce de cumacé, respectivement *Philocheras sculptus* et *Pseudocuma simile*.

D'après les résultats d'abondances et d'assemblages faunistiques, *Pseudocuma simile* représente et contribue en grande partie à la description générale de sa communauté dans les sédiments grossiers durant l'hiver. Toutefois, *Philocheras sculptus* n'est pas l'espèce la plus abondante à l'inverse de *Apherusa bispinosa* qui est majoritairement abondante l'été dans les sables moyens. Ces résultats se retrouvent aussi dans les assemblages faunistiques de la biomasse. Les biomasses sont des approches complémentaires dans la description des communautés et surtout dans l'étude des réseaux trophiques (Pezy 2017).

Plusieurs hypothèses peuvent être émises afin d'expliquer cette disparité d'abondance des espèces (*Apherusa bispinosa* et *Pseudocuma simile*) suivant l'habitat sédimentaire. D'une part, ces espèces sont susceptibles d'avoir des régimes alimentaires ou des cycles de vie qui varient, d'autre part, celles-ci peuvent avoir des niches écologiques très différentes. (Dauvin & Vallet 1997) montre que l'amphipode *Apherusa bispinosa* est une espèce très abondante seulement pendant la période estivale et non l'hiver. Ces abondances et biomasses plus élevée de la faune suprabenthique pendant l'été dans les sédiments grossiers peuvent être liées à une augmentation de la production primaire (Vallet 1997; Vallet & Dauvin 1998). En effet, d'après la littérature, la croissance du phytoplancton est principalement liée à la proportion de luminosité et aux nutriments (Cloern 1987; Claquin *et al.* 2010; Hall Jr. *et al.* 2015). De surcroît, les résultats physico-chimiques montrent une nette différence de température et d'oxygène dissous entre l'hiver et l'été témoignant d'un possible développement de la production primaire. Il serait tout de même intéressant d'établir le lien entre le compartiment phytoplanctonique et zooplanctonique qui ont également été échantillonnés afin de déterminer si les tendances sont similaires aux autres compartiments biologiques. La composition du substrat joue un rôle dans la répartition des espèces, la

structure granulométrique de l'habitat peut constituer le facteur le plus important de la biodiversité et du développement des populations d'amphipodes. L'oxygène, les échanges d'eaux, la quantité et la qualité des ressources nutritionnelles ou encore le nombre d'abris varient en fonction du substrat comme dans les sables moyens (Marques & Bellan-Santini 1993).

Migration nycthémerale dans la colonne d'eau

Les cycles de vie des espèces composant la communauté suprabenthique, peuvent avoir différents modèles de migrations verticales d'après (Hesthagen 1973). Les cumacés, les amphipodes et les décapodes seraient présents la nuit dans la colonne d'eau et le jour dans le sédiment en effectuant des migrations nycthémerales. Les mysidacés occuperaient cette couche d'eau durant l'aube ou le crépuscule. En accord avec la littérature, le suprabenthos effectue des migrations verticales, conformément aux résultats, les organismes suprabenthiques sont plus présents pendant les prélèvements de nuit relevant bien d'une migration du suprabenthos du sédiment vers la colonne d'eau (Brunel *et al.* 1978; Gibson & Barnes 1997; Dauvin *et al.* 2000; Dauvin & Vallet 2006). De manière générale, la plupart des résultats sont en accord avec ce fait, l'abondance et la biomasse pendant les prélèvements de nuit sont bien supérieures aux résultats de jour ou de crépuscule (de $6,91 \pm 5,76$ le jour à 1504 ± 2086 individus.100 m³ la nuit en hiver dans les sables moyens). Les résultats de cette étude concordent avec le consensus scientifique, les changements d'intensité lumineuse semblent être le facteur déterminant des activités migratoires nycthémerales du suprabenthos (Hesthagen 1973; Kaartvedt 1985, 1989; Sainte-Marie & Brunel 1985; Chevrier *et al.* 1991; Macquart-Moulin & Maycas 1995; Mees & Jones 1997).

(Robertson & Howard 1978), supposent aussi que le suprabenthos migrerait afin de se nourrir et d'échapper à leurs potentiels prédateurs, plusieurs auteurs citent son paradigme notamment (Hesthagen 1973; Sibert 1981; Sorbe 1984; Jones 1986; Wildish *et al.* 1992). Cependant, (Chevrier *et al.* 1991) émet l'hypothèse que le passage à la maturité des individus et l'essaimage nuptial (reproduction) peut être aussi à l'origine de ces migrations nycthémerales. Selon (Dauvin *et al.* 2000), suivant les espèces, celles-ci peuvent être classées en fonction de leur activité natatoire, à savoir (i) les espèces plutôt bonnes nageuses communes, présentent à n'importe quel horaire de prélèvement (*Anchialina agilis*, *Apherusa ssp* et *Gastrosaccus ssp*, (ii) les espèces présentent uniquement la nuit (*Megaluropus agilis*, *Atylus vedlomensis* et *Pseudocuma ssp*) et (iii) les espèces rares présentent la nuit.

(Macquart-Moulin *et al.* 1987) distinguent eux aussi trois réactions vis-à-vis de la lumière : (1) les espèces migrant rapidement de la couche d'eau adjacente au fond vers le pélagos dès le crépuscule (éclairage < 1 lux) ; (2) les espèces présentant des densités planctoniques maximales avant l'établissement du seuil lumineux nocturne et (3) les espèces réagissant bien après l'établissement de ce

seuil lumineux nocturne. Ces migrations nycthémérales seraient à priori principalement contrôlées par des réactions phototaxiques (lié à l'orientation de la lumière), par réactions géotaxiques (lié en réponse à la gravité) ou par variation de la photocinèse (sans orientation particulière en présence d'une source lumineuse) (Vallet *et al.* 1995). Différencier les comportements de migrations par espèce peut être un axe de recherche supplémentaires afin de mieux connaître les spécificités de ces espèces et des communautés suprabenthiques.

2- Lien entre les péracarides collectés dans le suprabenthos et le benthos

Benthos et suprabenthos

Le benthos correspond aux organismes vivants au niveau du sédiment, celui-ci peut être séparé en plusieurs sous-groupes, d'un côté le phytobenthos et de l'autre le zoobenthos lui-même divisible en deux parties, le zoobenthos dénombrable (espèce dénombrable par une unité de surface) et non dénombrable (non quantifiables par unité de surface) (Vallet 1997; Cartes *et al.* 2002; Pezy 2017). Parmi le benthos dénombrable se trouve l'endofaune (qui vit dans le sédiment), l'épifaune (qui vit sur le sédiment) vagile (mobile), sessile (non mobile) et le suprabenthos. Le suprabenthos est alors défini par le traineau suprabenthique et les espèces à activité natatoire s'y trouvant. Les principaux individus composant la communauté suprabenthique appartiennent aux péracarides (amphipodes, mysidacés, cumacés, isopodes et tanaïdacés), aux décapodes nageur et aux pycnogonides (Dauvin & Vallet 1997, 2006; Mouny 1998; Mouny *et al.* 2000; Dauvin & Pezy 2013; Pezy *et al.* 2017).

Abondances et biomasses des péracarides collectés dans le suprabenthos

(Pezy 2017) étudie l'ensemble des compartiments biologiques, du zooplancton aux poissons démersaux au niveau de la zone du futur parc éolien Dieppe-Le Tréport. Ainsi, dans sa collecte du suprabenthos, il échantillonne dans deux des mêmes stations (sédiments grossiers et sables moyens) le jour et la nuit à l'aide d'un traineau Macer-GIROQ à quatre niveaux (Dauvin & Lorgère 1989). La disposition des filets permet un échantillonnage précis et étagé de la colonne d'eau fractionnée en quatre niveaux. L'utilisation de ce type de traineau permet ensuite de déterminer précisément les activités natatoires et les comportements migratoires (Brunel *et al.* 1978; Dauvin *et al.* 2000). Cette recherche utilise un traineau à un niveau, car le temps en laboratoire (tri et identification) ne permettait pas d'utiliser ce type de traineau à quatre niveaux. Ainsi, (Pezy 2017) observe 26 amphipodes, sept décapodes, sept cumacés, six mysidacés, deux isopodes et un leptostracé tandis que dans cette étude, 29 amphipodes, huit mysidacés, quatre cumacés, six décapodes, cinq isopodes et un leptostracé ont été identifiés. Ainsi, les péracarides collectés sont majoritairement composé d'amphipodes dans les deux habitats sédimentaires des deux études. Les amphipodes, les cumacés et les mysidacés varient suivant les saisons relevant d'une saisonnalité dans la présence des espèces, *Apherusa bispinosa* et *Pseudocuma simile* peuvent en être un exemple (Pezy 2017). Néanmoins, les deux études n'observent pas de changement de richesse

spécifique entre l'hiver et l'été dans le compartiment suprabenthique.

Apherusa bispinosa est une espèce d'amphipode très présente l'été dans les sédiments grossiers, tandis que *Pseudocuma simile* (cumacé) est abondant dans les sables moyens en hiver. (Pezy 2017) observe des résultats similaires, il remarque une absence d'*Apherusa bispinosa* dans la colonne d'eau l'hiver dans les deux habitats sédimentaires et que *Megaluropus agilis*, peut représenter jusqu'à 3 288 individus pour 100 m³ au niveau des sables moyens. Dans cette étude, cette espèce est la deuxième plus abondante après *Pseudocuma simile* dans les sables moyens durant l'hiver.

Les biomasses de l'étude de (Pezy 2017) n'ont relevé aucune différence entre le jour et la nuit. A l'inverse, les biomasses dans cette recherche étaient significativement croissantes du jour à la nuit avec des biomasses maximales pour *Philocheras sculptus* dans les sédiments grossiers et *Pseudocuma simile* dans les sables moyens. Néanmoins, il observe de grandes variabilités entre les habitats sédimentaires et les saisons, avec des maximales en hiver, ce qui est inversement observé dans cette recherche et d'autres études de la Manche, les maximales étaient l'été (Vallet 1997; Dauvin et al. 2000).

La migration verticale est bien représentée dans les deux études, les abondances varient significativement entre le jour et la nuit. Cependant, il remarque dans les graviers ensablés en hiver des pics d'abondances pendant les journées, témoignant d'une activité natatoire hivernale non dépendante de la lumière. D'après (Macquart-Moulin et al. 1987; Vallet et al. 1995; Dauvin et al. 2000; Pezy 2017), les coefficients d'activités natatoires permettent de différencier plusieurs groupes. *Apherusa bispinosa* et *Megaluropus agilis* nagent dans toute la colonne d'eau adjacente au fond marin sans préférence tandis que *Pseudocuma simile* préfère nager dans la couche d'eau adjacente au fond (Dauvin et al. 2000; Pezy 2017).

Dans l'ensemble, les analyses d'abondances, de biomasses et d'indices de diversités du suprabenthos sont similaires entre l'étude de (Pezy 2017) et celle-ci, cependant sa méthode l'échantillonnage est beaucoup plus précise mais demande plus de temps en laboratoire.

Abondances et biomasses des péracarides collectés dans le benthos

Le suprabenthos collecté dans le benthos dans l'étude de (Pezy 2017) est échantillonné au niveau de la zone du futur parc éolien Dieppe-Le Tréport dans 25 stations chacune ayant 5 répliques. Ces résultats montrent une diversité plus importante sur les sédiments grossiers qui décroît graduellement sur les sables moyens tout comme les résultats de cette étude pour le suprabenthos. Plus en détail, l'épifaune vagile est la plus diversifiée à l'année, puis vient le suprabenthos et l'épifaune sessile.

Les abondances observées en 2022, sont en majeure partie représentées par *Apherusa bispinosa* l'été dans les sédiments grossiers et *Pseudocuma simile* l'hiver sur les sables moyens. Les résultats de (Pezy 2017) décrivent de grande abondances d'*Apherusa bispinosa* l'été sur les sédiments grossiers et d'un

polychète l'hiver dans les sables moyens (*Nephtys cirrosa*). En général, les abondances étaient marquées par les amphipodes, décapodes et crustacés avec un facteur deux entre l'été et l'hiver mais l'abondance la plus élevée étaient représentée par l'endofaune puis par le suprabenthos et l'épifaune (Pezy 2017).

Les biomasses variaient grandement entre l'été et l'hiver, tout comme dans l'étude de (Pezy 2017), les biomasses étaient plus fortes en été. Les espèces dominantes de l'étude actuelle dans les milieux sédimentaires étaient respectivement *Philocheras sculptus* et *Pseudocuma simile* dans les sédiments grossiers et les sables moyens tandis que celles de (Pezy 2017) étaient composées principalement de mollusques bivalves et d'échinodermes. Comme expliqué précédemment, les biomasses ne sont pas forcément représentatives de l'abondance, celles-ci sont suivant la biomasse individuelle de l'organisme. Ainsi, les biomasses de son étude sont majoritairement représentées par l'endofaune.

Dans l'ensemble, les analyses d'abondances, de biomasses et d'indices de diversités du benthos sont largement plus représentatives du milieu dans l'étude de (Pezy 2017) car elles regroupent de nombreux compartiments biologiques, là où cette recherche se focalise sur le suprabenthos.

D'autres prélèvements de benthos effectués de jour ont été réalisés et acquis en 2022. Une comparaison entre ces pécarides collectés dans les prélèvements benthiques pourrait être faite avec ceux collectés avec le traineau afin d'identifier quelles sont les espèces réalisant des migrations. Ainsi, ce sujet pourrait être largement plus développé en utilisant d'autres études comparatives sur la même zone d'étude ou alors sur des substrats sédimentaires similaires en Manche.

3- Rôle du suprabenthos dans le régime trophique des poissons démersaux

Poissons démersaux

Les poissons démersaux correspondent aux poissons ayant un lien avec la couche d'eau adjacente au fond comme la raie bouclée (*Raja clavata*) ou encore la petite vive (*Echiichthys vipera*). Ils peuvent vivre dans les sédiments ou dans la couche d'eau directement adjacente aux sédiments (Sorbe 1981; Dauvin 1988; Vallet 1997; Powers *et al.* 2005; Wilhelmsson *et al.* 2006). De ce fait, il existe un lien direct ou non entre les poissons démersaux et l'étude du suprabenthique habitant dans un environnement relativement proche (Sorbe 1981; Dauvin 1988; Wilhelmsson *et al.* 2006). Le régime alimentaire de ces poissons évolue en fonction de l'âge et de la taille des proies, les poissons plus âgés consommeraient des proies de plus grandes tailles (Pezy 2017). Selon (Wilhelmsson *et al.* 2006), le développement des éoliennes marines favoriserait l'abondance des poissons démersaux notamment grâce à l'effet récif (colonisant des mâts d'éoliennes par le biofouling) et l'effet réserve (interdiction de pêche). L'augmentation des stocks des poissons démersaux peut modifier la structure du réseau trophique en particulier le benthos et suprabenthos via une augmentation de la prédation. Plus précisément, il existerait un lien proie-prédateur entre le suprabenthos et les poissons démersaux (Marques & Bellan-

Santini 1993; Wilhelmsson *et al.* 2006; Pezy 2017). D'après (Pezy 2017), 14,2% du suprabenthos migre du sédiment à la colonne d'eau et 0,0009% de ce suprabenthos disponible est consommé annuellement par les espèces démersales à un instant t.

Lien proie-prédateur entre le suprabenthos et les poissons démersaux

Les abondances de suprabenthos dans les sédiments grossiers et moyens peuvent constituer une importante source de nourriture pour les organismes marins, entre autres les poissons démersaux (Marques & Bellan-Santini 1993). En effet, les abondances les plus élevées détaillées précédemment à savoir, les *Megaluropus agilis* et les *Pseudocuma simile* l'hiver dans les sables moyens et les *Apherusa bispinosa* l'été dans les sédiments grossiers composent la majeure partie des abondances suprabenthiques étudiée dans le futur parc éolien Dieppe-Le Tréport. Chaque espèce de poisson démersal a sa technique de prédation et de chasse, de ce fait, suivant les espèces, les poissons peuvent avoir des régimes alimentaires différents. L'analyse des contenus stomacaux des poissons démersaux a permis de définir les coefficients de vacuité, c'est-à-dire le rapport entre le nombre d'estomacs vides (EV) et le nombre total d'estomacs examinés (EE) (Pezy 2017). Par exemple, la raie bouclée (*Raja clavata*) se nourrit préférentiellement d'organismes du suprabenthos, particulièrement d'amphipodes comme les *Megaluropus agilis* ou de mysidacés, les *Gastrosaccus spinifer* (Pezy 2017). Cette espèce peut potentiellement vivre dans les sables moyens étant donné que les proies qu'elle consomme se trouvent majoritairement dans ce type de substrat. A l'inverse, la raie peut en premier lieu préférer ce milieu sédimentaire pour des facilité d'enfouissement et se nourrir ensuite des organismes s'y trouvant abondamment tel que les *Megaluropus agilis*. (Pezy 2017) analyse le régime alimentaire de la petite vive (*Echiichthys vipera*), d'après celui-ci, la petite vive chasse à l'affut avec seulement la tête qui dépasse attendant les périodes de migrations nycthémerales. Se trouvant majoritairement dans les sédiments grossiers, elle se nourrit particulièrement d'*Apherusa bispinosa* qui constitue la plus grande partie de l'abondance suprabenthique de ce milieu.

Réseaux trophiques

Le réseau trophique étudié au niveau du futur parc éolien Dieppe-Le Tréport présente certaines particularités, notamment la distinction des compartiments trophiques benthiques consommé ou non par les poissons démersaux (Pezy 2017). Les organismes benthiques et suprabenthiques ne sont pas forcément consommés directement par ces poissons démersaux mais jouent tout de même un rôle écologique important dans le transfert actif de la matière vivante entre le benthos et le pélagos et particulièrement dans les premiers niveaux trophiques (Beyer 1958; Gibson & Barnes 1997; Vallet & Dauvin 2001; Pezy 2017).

En effet, les biomasses sont les plus élevées durant les migrations dans la colonne d'eau (nuit) dans les sables moyens (été) et les sédiments grossiers (hiver). (Pezy 2017) explique que la biomasse consommée par les poissons démersaux n'est pas forcément représentative de la biomasse du suprabenthos environnant. Seulement une petite partie du suprabenthos migrerait dans la colonne d'eau et un sous-ensemble de cette communauté serait ingérée par les poissons démersaux. Ainsi, le suprabenthos serait le deuxième compartiment consommé par ces poissons après le mérosuprabenthos (Pezy 2017). Mais en comparant les différents compartiments des proies, le suprabenthos reste tout de même celui qui subit le plus de pression de prédation d'après (Pezy 2017).

CONCLUSION

L'ensemble des résultats montre bien une évolution saisonnière des organismes suprabenthiques au niveau des deux habitats sédimentaires. Plus particulièrement, les espèces diffèrent à travers la communauté suivant le substrat sédimentaire et suivant les saisons. Enfin, une fois les communautés établies dans leur niche écologique, celles-ci effectuent là encore, une évolution nycthémérale. Toutes les évolutions détaillées ici, sont d'une part spatiale (habitat sédimentaire), et d'autre part, temporelles à deux niveaux (saisons, horaires).

Ensuite, le compartiment suprabenthos joue bien un rôle dans le régime trophique des poissons démersaux, notamment dans le lien proie-prédateur. De plus, des échantillons suprabenthiques ont été préparés afin d'effectuer des mesures isotopiques, celles-ci permettront d'identifier plus en détail le rôle du suprabenthos dans le réseau trophique. D'autre part, plusieurs perspectives sont possibles afin d'appréhender au mieux ce réseau trophique complexe, la modélisation des niveaux trophiques à l'aide d'Ecopath par exemple serait un point de départ dans la compréhension de cet écosystème complexe. Enfin, agrandir l'échelle trophique en couplant plusieurs compartiments plus grands permettrait d'avoir une perspective plus globale des transferts de la matière vivante dans l'écosystème.

REFERENCES

- Baffreau, A., Pezy, J.-P., Dancie, C., Chouquet, B., Hacquebart, P., Poisson, E., *et al.* (2017). Mapping benthic communities: An indispensable tool for the preservation and management of the eco-socio-system in the Bay of Seine. *Regional Studies in Marine Science*, 9, 162–173.
- Beyer, F. (1958). *A new, bottom-living Trachymedusa from the Oslofjord*.
- Brunel, P., Besner, M., Messier, D., Poirier, L., Granger, D. & Weinstein, M. (1978). Le traîneau suprabenthique MACER-GIROQ : appareil amélioré pour l'échantillonnage quantitatif étagé de la petite faune nageuse au voisinage du fond The MACER-GIROQ Suprabenthic Sled: An Improved Device for Quantitative Two-level Sampling of the Small Swimming Fauna near the Bottom. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 63, 815–829.
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J.M. & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4, 765–781.
- Cartes, J.E., Brey, T., Sorbe, J.C. & Maynou, F. (2002). Comparing production-biomass ratios of benthos and suprabenthos in macrofaunal marine crustaceans. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59, 1616–1625.
- Chevrier, A., Brunel, P. & Wildish, D.J. (1991). Structure of a suprabenthic shelf sub-community of gammaridean Amphipoda in the Bay of Fundy compared with similar sub-communities in the Gulf of St. Lawrence. In: *VIIth International Colloquium on Amphipoda: Proceedings of the VIIth International Colloquium on Amphipoda held in Walpole, Maine, USA, 14–16 September 1990*, Developments in Hydrobiology (ed. Watling, L.). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 81–104.
- Clabaut, P. & Davoult, D. (1989). Interaction between benthic macrofaunas and associated sediments of a high-energy subtidal zone. Example of Baie de Wissant, eastern English Channel. *Comptes Rendus - Academie des Sciences, Serie II*, 308, 1349–1356.
- Claquin, P., Ní Longphuirt, S., Foullaron, P., Huonnic, P., Ragueneau, O., Klein, C., *et al.* (2010). Effects of simulated benthic fluxes on phytoplankton dynamic and photosynthetic parameters in a mesocosm experiment (Bay of Brest, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86, 93–101.
- Cloern, J.E. (1987). Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Continental Shelf Research, Dynamics of Turbid Coastal Environments*, 7, 1367–1381.
- Dauvin, J. & Lorgeré, J. (1989). Modifications du traîneau Macer-GIROQ pour l'amélioration de l'échantillonnage quantitatif étagé de la faune suprabenthique. *Journal de recherche océanographique*, 14, 65–67.
- Dauvin, J.-C. (1988). Rôle du macrobenthos dans l'alimentation des Poissons démersaux vivant sur les fonds de sédiments fins de la Manche occidentale. *Cahiers de Biologie Marine*, 29, 445–467.
- Dauvin, J.-C. (1997). Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord: Synthèse, menaces et perspectives. *Collection Patrimoines naturels: Série Patrimoine écologique*.
- Dauvin, J.C., Bakalem, A., Baffreau, A. & Grimes, S. (2017). Benthic ecological status of Algerian harbours. *Marine Pollution Bulletin*, 125, 378–388.
- Dauvin, J.-C. & Pezy, J.-P. (2013). Long-term changes of the Seine estuary suprabenthos (1996–2012). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 448, 93–103.
- Dauvin, J.-C. & Vallet, C. (1997). Apports d'échantillonnages suprabenthiques à la faunistique de la Manche et à la biogéographie du plateau continental nord-ouest européen. Crustacés et Picnogonides. *Cahiers de Biologie Marine*, 38, 251–266.

- Dauvin, J.-C. & Vallet, C. (2006). The Near-bottom Layer as an Ecological Boundary in Marine Ecosystems: Diversity, Taxonomic Composition and Community Definitions. *Hydrobiologia*, 555, 49–58.
- Dauvin, J.-C., Vallet, C., Mouny, P. & Zouhiri, S. (2000). Main characteristics of the boundary layer macrofauna in the English Channel. *Hydrobiologia*, 426, 139–156.
- Dumont, H.J., Van de Velde, I. & Dumont, S. (1975). The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia*, 19, 75–97.
- Frontier, S., Pichod-Viale, D., Leprêtre, A., Davoult, D. & Luczak, C. (2008). *Écosystèmes - 4e éd.: Structure, Fonctionnement, Évolution*. Dunod.
- Gibson, R.N. & Barnes, M. (1997). *Oceanography And Marine Biology: Volume 35*. CRC Press.
- Hall Jr., R.O., Yackulic, C.B., Kennedy, T.A., Yard, M.D., Rosi-Marshall, E.J., Voichick, N., *et al.* (2015). Turbidity, light, temperature, and hydropeaking control primary productivity in the Colorado River, Grand Canyon. *Limnology and Oceanography*, 60, 512–526.
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., *et al.* (2008). A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science*, 319, 948–952.
- Hammond, R.D. & Naylor, E. (1977). Effects of dusk and dawn on locomotor activity rhythms in the norway lobster *Nephrops norvegicus*. *Mar. Biol.*, 39, 253–260.
- Hayward, P.J. & Ryland, J.S. (2017). *Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe*. Oxford University Press.
- Hesthagen, I.H. (1973). Diurnal and seasonal variations in the near-bottom fauna -the hyperbenthos- in one of the deeper channels of the Kieler Bucht (Western Baltic). *Kieler Meeresforschungen*, 29, 116–140.
- Jones, A. (1986). Spatial and temporal variations in a community of nekto-benthic invertebrates from Moreton Bay, Queensland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 23, 131–146.
- Jones, N.S. (1976). *British Cumaceans, Arthropoda : Crustacea*. Published for the Linnean Society of London by Academic Press.
- Kaartvedt, S. (1985). Diel changes in small-scale vertical distribution of hyperbenthic mysids. *Sarsia*, 70, 287–295.
- Kaartvedt, S. (1989). Nocturnal swimming of gammaridean amphipod and cumacean Crustacea in Masfjorden, Norway. *Sarsia*, 74, 187–193.
- Lincoln, R.J. (1979). *British marine amphipoda: Gammaridea*. British Museum (Natural History).
- Macquart-Moulin, C. (1973a). L'activité natatoire rythmique chez les pécarides benthoplanctoniques. Déterminisme endogène des rythmes nyctéméraux. *Tethys*, 5, 209–231.
- Macquart-Moulin, C. (1973b). Le comportement d'essaim chez les Mysidacés. Influence de l'intensité lumineuse sur la formation, le maintien et la dissociation des essaims de *Leptomysis lingvura*. *Rapp. P.-v. Réun. Commn int. Explor. scient. Mer Méditer.*, 21, 499–501.
- Macquart-Moulin, C., Bourdillon, A., Cubizolles, F., Passelaigue, F. & Rasoanarivo, R. (1987). Un cas type de migration verticale 'retard' chez l'amphipode *Ampelisca typica*. *Journal of Plankton Research*, 9, 785–809.
- Macquart-Moulin, C. & Maycas, E.R. (1995). Inshore and offshore diel migrations in European benthopelagic mysids, genera *Gastrosaccus*, *Anchialina* and *Haplostylus* (Crustacea, Mysidacea). *Journal of Plankton Research*, 17, 531–555.

- Marques, J.C. & Bellan-Santini, D. (1993). Biodiversity in the ecosystem of the Portuguese continental shelf: distributional ecology and the role of benthic amphipods. *Marine Biology*, 115, 555–564.
- Mees, J. & Jones, M.B. (1997). The hyperbenthos. *Oceanography and marine biology*, 35, 212.
- Mouny, P. (1998). Structure spatio-temporelle du zooplancton et du suprabenthos de l'estuaire de la Seine. Dynamique et rôle des principales espèces dans la chaîne trophique pélagique. *Muséum d'Histoire Naturelle, Paris VI*.
- Mouny, P., Dauvin, J.-C. & Zouhiri, S. (2000). Benthic Boundary Layer fauna from the Seine Estuary (eastern English Channel, France): spatial distribution and seasonal changes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 80, 959–968.
- Naylor, E. (1972). British Marine Isopods. Synopses of the British Fauna No. 3. *Linnean Soc. Lond.*
- Pezy, J.-P. (2017). Approche écosystémique d'un futur parc éolien en Manche orientale : exemple du site de Dieppe-Le Tréport. phdthesis. Normandie Université.
- Pezy, J.-P., Raoux, A., Marmin, S., Balay, P. & Dauvin, J.-C. (2018). What are the most suitable indices to detect the structural and functional changes of benthic community after a local and short-term disturbance? *Ecological Indicators*, 91, 232–240.
- Pezy, J.-P., Raoux, A., Marmin, S., Balay, P., Niquil, N. & Dauvin, J.-C. (2017). Before-After analysis of the trophic network of an experimental dumping site in the eastern part of the Bay of Seine (English Channel). *Marine Pollution Bulletin*, 118, 101–111.
- Pielou, E.C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131–144.
- Powers, S.P., Peterson, C.H., Christian, R.R., Sullivan, E., Powers, M.J., Bishop, M.J., *et al.* (2005). Effects of eutrophication on bottom habitat and prey resources of demersal fishes. *Marine Ecology Progress Series*, 302, 233–243.
- Primer-E. (2009). Plymouth routines in multivariate ecological research.
- R Core Team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Raoux, A. (2017). Approche écosystémique des énergies marines renouvelables : étude des effets sur le réseau trophique de la construction du parc éolien au large de Courseulles-sur-Mer et du cumul d'impacts. phdthesis. Normandie Université.
- Raoux, A., Tecchio, S., Pezy, J.-P., Lassalle, G., Degraer, S., Wilhelmsson, D., *et al.* (2017). Benthic and fish aggregation inside an offshore wind farm: Which effects on the trophic web functioning? *Ecological Indicators*, 72, 33–46.
- Robertson, A.I. & Howard, R.K. (1978). Diel trophic interactions between vertically-migrating zooplankton and their fish predators in an eelgrass community. *Mar. Biol.*, 48, 207–213.
- Sainte-Marie, B. & Brunel, P. (1985). Suprabenthic gradients of swimming activity by cold-water gammaridean amphipod Crustacea over a muddy shelf in the Gulf of Saint Lawrence. *Marine Ecology Progress Series*, 23, 57–69.
- Sibert, J.R. (1981). Intertidal hyperbenthic populations in the Nanaimo estuary. *Mar. Biol.*, 64, 259–265.
- Smaldon, G., London, L.S. of & Association, E. and B.-W.S. (1978). *British coastal shrimps and prawns; keys and notes for the identification of the species*. London (UK) Academic Press.
- Snelgrove, P. & Butman, C.A. (1994). Animal Sediment Relationships Revisited – Cause Versus Effect. *Oceanography and marine biology*, 32.

- Sorbe, J.C. (1981). Rôle du benthos dans le régime alimentaire des poissons démersaux du secteur Sud Gascogne. *Kieler Meeresforschungen - Sonderheft*, 5, 479–489.
- Sorbe, J.-C. (1984). *Contribution à la connaissance des peuplements suprabenthiques néritiques sud-Gascogne*. Éditeur inconnu.
- Tattersall, W.M. (1951). *The British Mysidacea: By WM Tattersall and Olive S. Tattersall*. Quaritch [in Komm.].
- Vallet, C. (1997). Le compartiment suprabenthique des fonds circalittoraux de la manche : composition faunistique et quantitative, et rôle des transferts benthos/pelagos. Thèse de doctorat. Paris 6.
- Vallet, C. & Dauvin, J.-C. (1998). Composition and Diversity of the Benthic Boundary Layer Macrofauna from the English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 78, 387–409.
- Vallet, C. & Dauvin, J.-C. (2001). Biomass changes and benthic-pelagic transfers throughout the Benthic Boundary Layer in the English Channel. *Journal of Plankton Research*, 23, 903–922.
- Vallet, C., Zouhiri, S., Dauvin, J.-C. & Wang, Z. (1995). Variations nyctémérales de l'abondance de la faune démersale en Manche. *J. Rech. Océanogr*, 20, 94–102.
- Vincent, C., Heinrich, H., Edwards, A., Nygaard, K. & Haythornthwaite, J. (2002). Guidance on typology, reference conditions and classification systems for transitional and coastal waters. *CIS working group*, 2, 119.
- Wildish, D.J., Wilson, A.J. & Frost, B. (1992). Benthic Boundary Layer Macrofauna of Browns Bank, Northwest Atlantic, as Potential Prey of Juvenile Benthic Fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49, 91–98.
- Wilhelmsson, D., Malm, T. & Öhman, M.C. (2006). The influence of offshore windpower on demersal fish. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 775–784.

ANNEXE

Annexe 1 : Tableau résumant les tests statistiques effectués sur les données abiotiques (physico-chimique) et biotiques (suprabenthos).

Variable quantitative	Donnée utilisée	Variable qualitative	Test statistique	p-value	Interprétation
Température Salinité Oxygène	Toutes	Saison * sédiment	T- χ^2	2,2e ⁻¹⁶	Différence significative
Richesse spécifique	Jour et nuit	Station * saison * répliquas	ANOVA	> 0,05	Pas de différence significative
Abondance	Jour et nuit	Saison	T-Kruskal	0,0041	Différence significative
		Sédiment		0,429	Pas de différence significative
		Horaire (jour et nuit)		1,11e ⁻¹³	
		Saison * sédiment * horaire		8,96e ⁻¹⁵	
		Saison * sédiment		3,311e ⁻⁵	Différence significative
Biomasse	Jour et nuit	Saison * horaire	T-Kruskal	8,027e ⁻¹⁴	
		Sédiment * horaire		2,2e ⁻¹⁶	
		Saison		0,0012	Différence significative
		Sédiment		0,43	Pas de différence significative
		Horaire (jour et nuit)		2,954e ⁻¹²	
Abondance : H'	Nuit	Saison * sédiment * horaire	ANOVA	9,164e ⁻¹⁴	
		Saison * sédiment		1,648e ⁻⁵	Différence significative
		Saison * horaire		6,191e ⁻¹³	
		Sédiment * horaire		6,201e ⁻¹¹	
		Saison		> 1	
Abondance : J'	Nuit	Sédiment	ANOVA	< 0,1	Pas de différence significative
		Saison * sédiment		> 1	
		Saison		> 1	Pas de différence significative
Biomasse : H'	Nuit	Saison * sédiment	ANOVA	< 0,05	Différence significative
		Saison		< 0,01	Différence significative
		Sédiment		> 1	Pas de différence significative
Biomasse : J'	Nuit	Saison * sédiment	ANOVA	> 1	
		Saison		< 0,01	Différence significative
		Sédiment		> 1	Pas de différence significative