



**HAL**  
open science

# État des communautés benthiques sous les cages d'élevage de salmonidés (Rade de Cherbourg). Projet SALMOCOT III

Jean-Claude Dauvin, Noémie Baux, Yann Méar

► **To cite this version:**

Jean-Claude Dauvin, Noémie Baux, Yann Méar. État des communautés benthiques sous les cages d'élevage de salmonidés (Rade de Cherbourg). Projet SALMOCOT III. Cnam-Intechmer / LUSAC. 2024, pp.34. hal-04806337

**HAL Id: hal-04806337**

**<https://hal.science/hal-04806337v1>**

Submitted on 27 Nov 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright



LABORATOIRE UNIVERSITAIRE  
DES SCIENCES APPLIQUÉES  
DE CHERBOURG

le **cnam**  
intechmer

# État des communautés benthiques sous les cages d'élevage de salmonidés (Rade de Cherbourg)

*Projet SALMOCOT III (Saumons de France)*

Rédigé par :

DAUVIN Jean-Claude\*, BAUX Noémie\*\* et MEAR Yann\*\*

\* : EEMC, 32, allée de la Verte Vallée, 14000 Caen, [Jean-claude.dauvin@orange.fr](mailto:Jean-claude.dauvin@orange.fr) ; 06 48 48 53 19

\*\* : CNAM-Intechmer/LUSAC, bd de Collignon, 50110 Cherbourg-en-Cotentin ;

[noemie.baux@lecnam.net](mailto:noemie.baux@lecnam.net), 02 33 88 54 94 ;

[yann.mear@lecnam.net](mailto:yann.mear@lecnam.net), 02 33 88 73 41

Novembre 2024





## Table des matières

<b>I. CONTEXTE.....</b>	<b>1</b>
<b>II. METHODOLOGIE DU SUIVI DES HABITATS ET DES COMMUNAUTES BENTHIQUES SOUS LES CAGES.....</b>	<b>4</b>
<b>II.1. PRELEVEMENTS .....</b>	<b>4</b>
<b>II.2. TRAVAIL DE LABORATOIRE .....</b>	<b>5</b>
II.2.1. ANALYSES GRANULOMETRIQUES .....	5
II.2.2. ANALYSES FAUNISTIQUES.....	5
II.2.2.1. Tri des échantillons.....	5
II.2.2.2. Détermination .....	6
II.2.2.3. Biomasses .....	6
II.2.2.4. Traitement des données .....	6
<b>III. RESULTATS .....</b>	<b>10</b>
<b>III.1. PREAMBULE.....</b>	<b>10</b>
<b>III.2. ANALYSES GRANULOMETRIQUES .....</b>	<b>10</b>
<b>III.3. ANALYSES DE LA COMPOSITION FAUNISTIQUE.....</b>	<b>12</b>
III.3.1. RICHESSE TAXONOMIQUE .....	12
III.3.2. DIVERSITE DE SHANNON ET PIELOU .....	13
III.3.3. ABONDANCES.....	14
III.3.4. BIOMASSES .....	15
<b>III.4. QUALITE ECOLOGIQUE ET ASSEMBLAGE FAUNISTIQUE .....</b>	<b>16</b>
III.4.1. AMBI .....	16
III.4.2. ASSEMBLAGES FAUNISTIQUES.....	16
III.4.2.1. Assemblages faunistique en 2024.....	16
III.4.2.2. Comparaison 2014 / 2024 .....	19
<b>IV. DISCUSSION GENERALE .....</b>	<b>22</b>
<b>V. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>25</b>
<b>VI. ANNEXES .....</b>	<b>27</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation des stations d'échantillonnage d'octobre 2013 à septembre 2014. (D'après Dauvin et al., 2020).	2
Figure 2 : Localisation des stations d'échantillonnage 2024 (Q1 à Q4 en rouge) et 2014 en noir.	4
Figure 3 : Photos des refus de tamis	10
Figure 4 : Granulométrie comparée des quatre stations.	12
Figure 5 : Dendrogramme correspondant à la matrice de similarité de Sorensen des 12 échantillons en présence/absence	17
Figure 6 : Dendrogramme obtenu à partir de la matrice d'abondances en transformation en racine carré selon la similarité de Bray-Curtis les 12 échantillons de 2024.	18
Figure 7 : Dendrogramme correspondant à la matrice de similarité de Sorensen des stations en présence/absence pour 2014 et 2024.	20
Figure 8 : Dendrogramme obtenu à partir de la matrice d'abondances en transformation $\text{Log}_{10} + 1$ selon la similarité de Bray-Curtis sur la comparaison 2014-2024.	21

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Coordonnées des stations d'échantillonnage de la campagne du 2 février 2024.	5
Tableau 2 : Interprétation des valeurs de $H'$ (d'après Vincent et al., 2002)	7
Tableau 3 : Interprétation des valeurs de $J'$ (d'après Dauvin et al., 2017)	8
Tableau 4 : Equivalence entre les valeurs de l'AMBI et les différents états écologiques définis par la Directive Cadre Eau (d'après Borja et al., 2000, 2004)	9
Tableau 5 : Pourcentage et nature de la fraction graveleuse pour les quatre stations investiguées.	11
Tableau 6 : Richesse Taxonomique (RT) par échantillon de 0,25 m <sup>2</sup> et total de 0,75 m <sup>2</sup> par station.	13
Tableau 7 : Indice de diversité de Shannon $H'$ avec état écologique associé.	14
Tableau 8 : Indice d'équitabilité de Pielou $J'$ avec Etat écologique associé.	14
Tableau 9 : Abondance moyenne (nombre d'individus pour 0,25 m <sup>2</sup> ) et total pour 0,75 m <sup>2</sup> par station.	15
Tableau 10 : Biomasse pour 0,27 m <sup>2</sup> en gramme de PSLC. Q4 * biomasse avec les trois coquilles	15
Tableau 11 : Valeurs de l'AMBI dans les quatre stations et état écologique.	16
Tableau 12 : Analyse SIMPER sur les 12 échantillons 2024 en présence-absence.	17
Tableau 13 : Analyse SIMPER sur les 12 échantillons 2024 en abondances en transformation Square root.	19
Tableau 14 : Analyse SIMPER en présence-absence sur la comparaison 2014-2024.	20
Tableau 15 : Analyse SIMPER à partir de la matrice d'abondances en transformation $\text{Log}_{10} + 1$ sur la comparaison 2014-2024.	22

## Liste des annexes

Annexe 1 : Liste des taxons échantillonnés en 2024	27
--	----

## Remerciements

Nous remercions l'entreprise Saumon de France et l'équipage du bateau pour la réalisation des prélèvements en plongée. Nous les remercions également pour le partage des informations en lien avec l'élevage de salmonidés.

Nous remercions Jean-Claude Dauvin, de l'entreprise EEMC, qui a réalisé la détermination de la macrofaune benthique sous les cages et les analyses associées, ainsi que Jean-Philippe Pezy, du laboratoire M2c, Caen, pour l'utilisation du logiciel PRIMER.

L'université de Caen-Normandie, et en particulier Adeline Ozenne, est également remerciée pour la gestion administrative du projet SALMOCOT III.



## I. CONTEXTE

Depuis 1985, la rade de Cherbourg fait l'objet de suivis environnementaux qui intègrent aussi bien la masse d'eau que le biota et les sédiments marins. Ces suivis sont intégrés dans le cadre du programme CHERAD, programme de monitoring de la rade. Les résultats obtenus ont fait l'objet de rapports techniques, de rapport de stage, de communications à des congrès et a des publications internationales. L'étroite collaboration mise en place entre notre équipe de recherche et les responsables d'un élevage de salmonidés dans la rade a amené à mettre en place une série d'actions plus spécifiques rassemblées dans le projet SALMOCOT.

Dans ce cadre, le Cnam/Intechmer intervient plus spécifiquement autour de la mise en place d'un élevage de salmonidés (*Salmo salar*) dans la rade : de la recherche du meilleur site d'implantation, au suivi environnemental en passant par l'étude préalable à l'implantation et à la recherche de solutions pour optimiser la qualité et la quantité de poissons élevés dans les différentes cages (atteinte par les amibes, travaux de dragage et de déroctage). Salmocot III a été mis en place dès 2023 à l'occasion d'une restructuration de l'élevage de saumons.

La société « Saumons de France » (GMG Sas) qui appartient au groupe AMP (Aquaponic Management Project) souhaite installer un élevage de smolts à terre au niveau du port des Flamands et placer ensuite des individus plus robustes dans les cages situées dans la grande rade pour favoriser leur grossissement. Le projet Salmocot III est organisé autour de trois actions :

- (1) Une analyse numérique des courants (modélisation) qui a pour objectif de proposer à l'éleveur les meilleurs moments pour relarguer les eaux des bassins d'élevage dans le port des Flamands afin de minimiser leur temps de résidence dans le port et d'être le plus possible diluées dans les eaux de la grande rade. Cette première étape a fait l'objet d'un premier rapport transmis à Saumons de France en octobre 2023 (Poizot E. et Méar Y., 2023).
- (2) Une analyse des communautés benthiques du port des Flamands à partir de la combinaison d'une analyse de la nature et de la qualité des sédiments (granulométrie, géochimie organique et minérale) et de la macrofaune benthique.
- (3) Une analyse du même type, sous les cages situées en grande rade afin d'évaluer l'état des communautés benthiques suite à l'arrêt de l'élevage durant deux ans et avant la remise en eau d'une nouvelle population de poissons.

C'est dans le cadre de l'action (3) qu'intervient cette présente étude. Un rapport a été rendu en octobre 2024 concernant l'action (2) et en juillet 2023 pour l'action (1). Au total 3 rapports présentent les résultats.

La première étude sur la qualité de la colonne d'eau, des sédiments et de la macrofaune benthique autour de la ferme piscicole a été réalisée au début des années 1990 (Merceron et Gaffet, 1994 ; Bentley et al., 1997 ; Kempf et coll., 2002 ; Merceron et al., 2002). Néanmoins, dans ces études, la zone étudiée était limitée au voisinage immédiat des cages d'aquaculture, et seules les espèces dominantes de la faune macrobenthique ont été identifiées. Plus tard, Baux et al. (2017) ont mis en évidence la grande diversité des communautés et des habitats benthiques dans la Rade de Cherbourg. La composition faunistique de ces communautés montre qu'elle ressemble plus à celles d'autres baies et estuaires bretons que de la baie des Veys ou de la partie orientale de la baie de Seine.

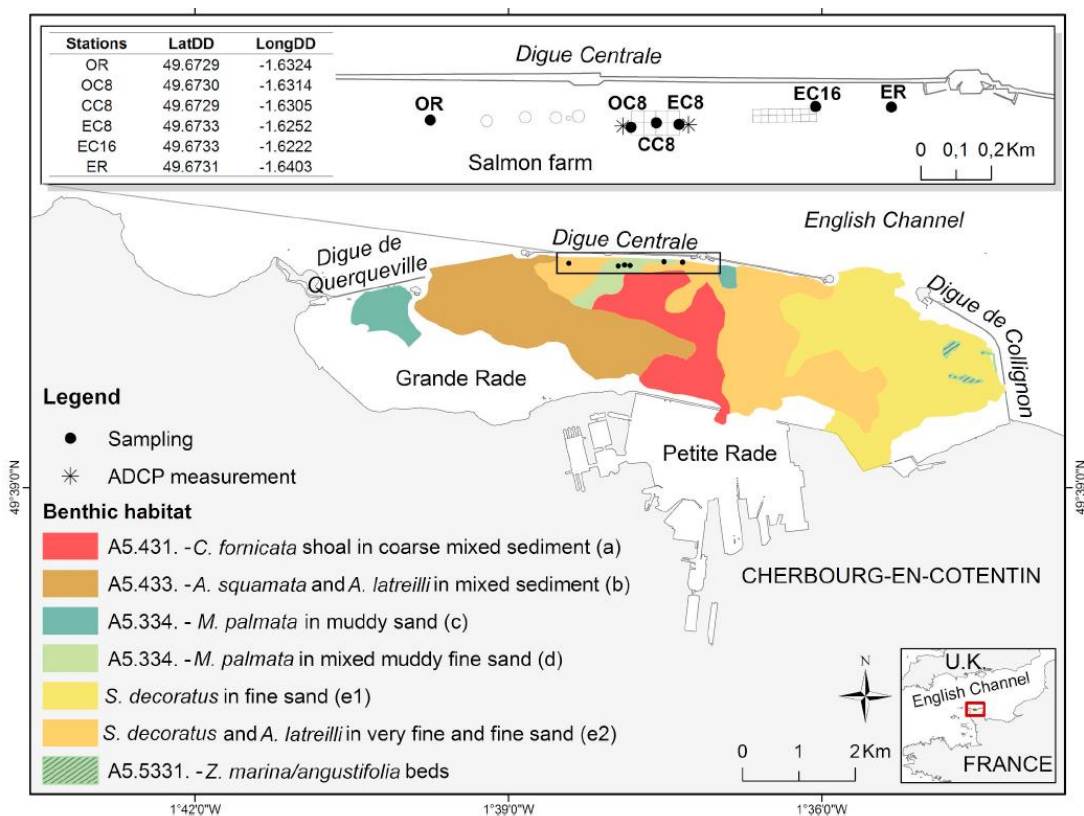


Figure 1 : Localisation des stations d'échantillonnage d'octobre 2013 à septembre 2014. (D'après Dauvin et al., 2020).

Les objectifs des travaux de Dauvin et al. (2020) ont été d'évaluer l'état de la qualité écologique des habitats benthiques et de déterminer l'impact de la salmoniculture

sur ces habitats benthiques, en tenant compte des caractéristiques des sédiments et des modèles de macrofaune en fonction de la distance par rapport aux cages à saumon au cours de 5 campagnes trimestrielles entre octobre 2013 et septembre 2014. Les six stations choisies sont situées dans deux habitats benthiques (Baux et al., 2017) : l'habitat à *Melinna palmata* dans des sables envasés (stations OC8, CC8 et EC8 ; Figure 1) et un nouvel habitat caractérisé par le polychète *Spio decorata* et le tanaïdacé *Apseudopsis latreillii* dans du sable très fin à fin sable fin (stations OR, ER et EC16). L'analyse des six stations échantillonnées au cours des cinq campagnes a montré que la macrofaune peut être séparée à une similitude de 50 % dans trois assemblages benthiques : le premier groupe réunit les stations OR et ER éloignées des cages ; le second groupe rassemble les stations EC8 et EC16 situées à l'est des cages et enfin le troisième groupe correspond aux deux stations sous les cages CC8 et OC8. Cette étude a également montré l'absence de concentration de matière organique sous les cages en lien avec le fort hydrodynamisme de la région et la forte abondance du tanaïdacé *Apseudopsis latreillii*. En résumé cette étude a montré l'existence de trois zones en lien avec la salmoniculture :

- 1) Une zone impactée (sous les cages et dans le secteur ouest des cages ; stations CC8 et OC8), présentant une accumulation modérée de MO et un régime hydrodynamique renforcé sous les cages ;
- 2) Une zone influencée (stations EC8 et EC16 dans le secteur est des cages) ;
- 3) Une zone non impactée correspondant aux deux stations de référence (RE et OR).

En bref, les résultats ont mis en évidence un impact local de la salmoniculture, avec un nombre relativement plus faible d'espèces sous les cages.

L'étude de Bouchet et al. (2020) a testé l'efficacité de l'indicateur Foraminifères en regard à la présence de salmoniculture en comparaison des diagnostics écologiques réalisés avec la macrofaune. Les résultats ont confirmé que les foraminifères benthiques sont aptes à évaluer les « Ecological Quality Status (EcoQs) » dans le contexte de cette activité d'élevage comme les indices utilisés pour la macrofaune. La comparaison avec la macrofaune a confirmé que ces deux groupes partagent des caractéristiques similaires et réagissent de la même manière à la pollution. Sous les cages à saumon (stations 25, 26, 27 de Bouchet *et al.*, 2020), les EcoQs étaient modérés à mauvais, montrant un impact évident de la ferme sur les communautés de foraminifères benthiques. À ces stations, seules les espèces tolérantes sont abondantes.

## II. METHODOLOGIE DU SUIVI DES HABITATS ET DES COMMUNAUTES BENTHIQUES SOUS LES CAGES

### II.1. Prélèvements

Le 2 février 2024, au niveau du site d'implantation des cages à saumon, quatre stations dans la grande rade ont été étudiées (Figure 2, Tableau 1) :

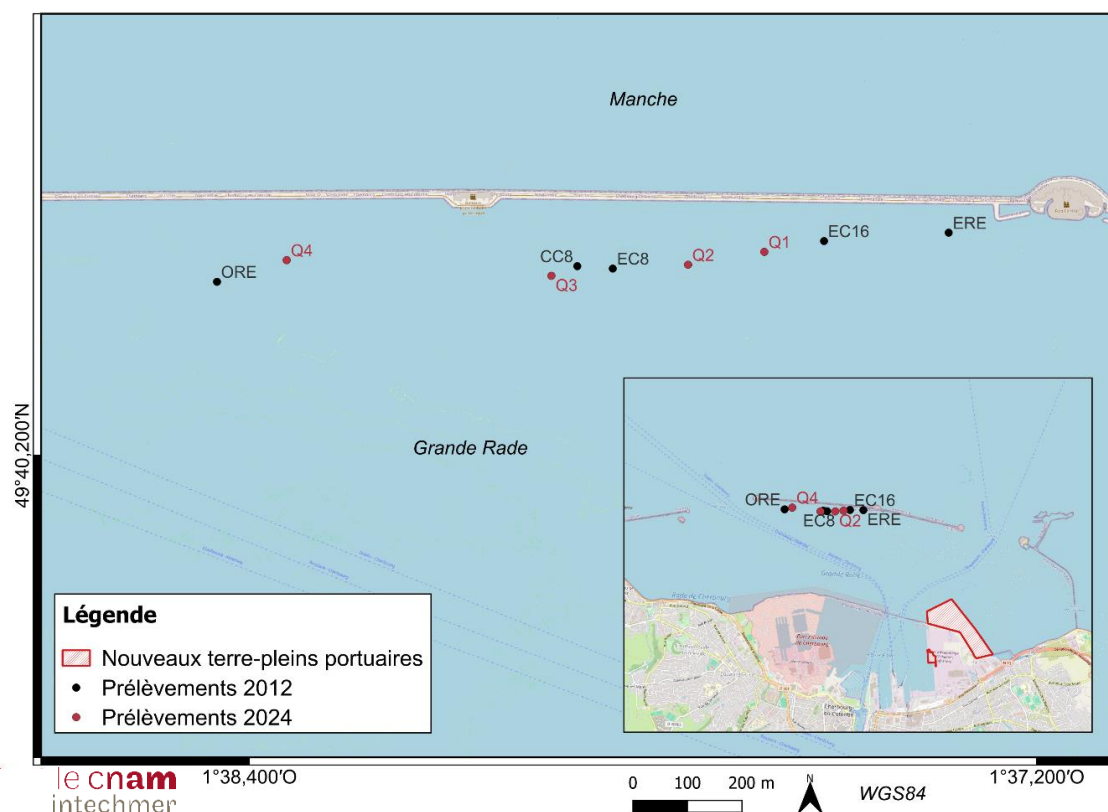


Figure 2 : Localisation des stations d'échantillonnage 2024 (Q1 à Q4 en rouge) et 2014 en noir.

Sur chaque station trois échantillons ont été prélevés soit un total de 12 échantillons. Les prélèvements ont été réalisés en plongée autonome, un pneu a été disposé pour faire office de quadrat et pour protéger le point de prélèvement sur une surface de 0,25 m<sup>2</sup> correspondant à la surface des protocoles DCE avec ajout par-dessus d'un filet à plancton modifié attaché à un quadrat, afin d'éviter que le courant emporte le sédiment fin et les petits organismes. Le sédiment et la faune qui se retrouvent dans le filet sont ensuite récupérés à bord du bateau et ajoutés à l'échantillonnage réalisé dans le pneu.

*Tableau 1 : Coordonnées des stations d'échantillonnage (WGS84) de la campagne du 2 février 2024.*

Station	Longitude	Latitude	Localisation
Q1	49.67314	-1.626682	Sous la cage N5
Q2	49.67295	1.628625	Sous la barge
Q3	49.672809	-1.632102	Sous la cage 14
Q4	49.673147	-1.63882	En aval des cages

Les échantillons de macrofaune ont été traités séparément. Le tamisage à bord s'est fait sur un tamis de 1 mm. La conservation des refus de tamis a été réalisée après fixation au formol neutre à 10 % dans des bidons étanches allant de 2 à 5 L selon la quantité de refus de tamis (partie supérieure à 1 mm).

## **II.2. Travail de laboratoire**

### **II.2.1. Analyses granulométriques**

Les analyses granulométriques sont réalisées au granulomètre par diffraction laser. Les échantillons sont conservés humide à 5 °C. Au moment de l'analyse, le réplicat est agité avec une solution d'héxamétaphosphate de sodium et soumis aux ultrasons, l'appareil utilisé est un HORIBA LA-960. Au moins deux réplicats sont analysés pour chaque échantillon. La gamme granulométrique analysée est de 0,011 à 3000 µm.

### **II.2.2. Analyses faunistiques**

#### **II.2.2.1. Tri des échantillons**

Les échantillons de sédiments contenant la macrofaune ont tout d'abord été rincés afin d'éliminer le fixateur (formol) sous hotte aspirante (avec équipements de sécurité) dont les émanations sont irritantes et nocives pour la santé. Les échantillons sont rincés au fur et à mesure de l'avancement des travaux, afin d'éviter toute dégradation des organismes. Ce rinçage s'effectue sur un tamis de 0,5 mm afin d'être sûr de conserver les individus de taille supérieure ou égale à 1 mm. Chaque catégorie d'organismes (Crustacés, Polychètes, Mollusques, Echinodermes ou autres) a été reconditionnée dans des piluliers contenant de l'alcool à 70 °.

### **II.2.2.2. Détermination**

L'identification des organismes a été réalisée sous loupe binoculaire. La détermination des individus a été effectuée autant que possible jusqu'au niveau de l'espèce pour chaque échantillon. Ce travail se base sur différents ouvrages du Royaume-Uni (British Synopsis), les « Faunes de France » si nécessaire mais surtout sur de nombreuses publications scientifiques récentes révisant les familles ou les genres des groupes d'invertébrés. Le comptage du nombre d'individus par taxon a été réalisé pour chaque échantillon et les individus de chaque espèce ont été placés dans un pilulier. 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).

### **II.2.2.3. Biomasses**

Tous les individus d'une même espèce et pour chacune des quatre stations ont été regroupés dans un même pilulier, puis placés dans un creuset en porcelaine qui a été mis dans une étuve à 60 °C pendant au minimum 96 h afin d'être sûr que tout l'alcool se soit bien évaporé et d'obtenir le poids sec (PS). Ces échantillons ont ensuite subi une crémation dans un four à 500 °C durant 5h, au cours de laquelle la matière organique est consommée. Une nouvelle pesée a ainsi permis de déterminer le poids de cendres (PC). La différence entre le poids de cendres (PC) et le poids sec (PS) donne le poids sec libre de cendres (PSLC) correspond à la matière organique donc à la "biomasse". Les pesées ont été effectuées à l'aide d'une balance de marque Mettler d'une précision à 0,0001 g près.

### **II.2.2.4. Traitement des données**

Les analyses ont été réalisées grâce au logiciel Primer v6 (Clark et Gorley, 2006). Les abondances (N) et les biomasses (en PSLC) ont été exprimées soit par 0,25 m<sup>2</sup> surface d'un échantillon ou par 0,75 m<sup>2</sup> soit la surface totale échantillonnée par station. La biomasse de chaque taxon a été calculée pour chaque station en PSLC (Poids Sec Libre de Cendres) et donnée par rapport à la surface échantillonnée par station (0,75 m<sup>2</sup>). Puis les abondances et les biomasses ont été converties en nombre d'individus par 0,5 m<sup>2</sup> afin de réaliser des comparaisons avec les données existantes en février 2014 dans quatre stations localisées sous ou à proximité immédiate des cages (stations CC8, EC8, ORE et EC16 ; Figure 2).

- Richesse taxonomique (S)

La richesse taxonomique (S) a été mesurée en additionnant le nombre de taxons recueilli au niveau de chaque échantillon, c'est-à-dire sur les trois réplicats de 0,25 m<sup>2</sup> soit une surface totale de 0,75 m<sup>2</sup> par station et les douze échantillons de 0,25 m<sup>2</sup> soit une surface totale de 3 m<sup>2</sup> pour l'ensemble des prélèvements du 2 février 2024.

- Indice de Shannon (H') et de Piélou (J')

L'indice de Shannon H' (Shannon-Weaver, 1948), exprimé en bits, a été calculé à partir d'un logarithme de base 2 selon la formule suivante :

$$H' = - \sum \left( \frac{ni}{N} \right) \times \log_2 \left( \frac{ni}{N} \right)$$

Avec :





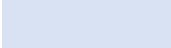
*ni* l'abondance du taxon *i*

*N* l'abondance totale dans la station considérée

Il a été calculé au niveau de chaque échantillon et chaque station.

Les valeurs de H' sont interprétées selon le Tableau 2, d'après les limites fixées par Vincent *et al.* (2002) et utilisées dans le cadre de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau) pour les zones côtières.

Tableau 2 : Interprétation des valeurs de H' (d'après Vincent *et al.*, 2002)

Référence couleur	Etat écologique	Valeur de H'	Classification
	Mauvais	[0 - 1[	Communauté très peu diversifiée
	Médiocre	[1 - 2[	Communauté peu diversifiée
	Modéré	[2 - 3[	Communauté diversifiée
	Bon	[3 - 4[	Communauté très diversifiée
	Excellent	[4 - +∞[	Communauté extrêmement diversifiée



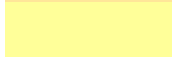
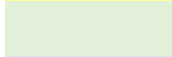
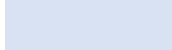
L'indice d'équitabilité de Piélou (J') (Piélou, 1966) complète l'indice de diversité de Shannon (H'). Il permet d'appréhender la structure quantitative d'une communauté en termes de dominance d'une ou de plusieurs espèces. Il correspond au rapport entre la diversité (H') observée au sein d'une station et la diversité maximale (H' max), atteinte lorsque les espèces ont des effectifs identiques (Frontier *et al.*, 2004). Sa valeur varie de

0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équipartition des individus dans les espèces). Il se calcule selon la formule suivante :

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

Les valeurs de  $J'$  sont interprétées selon le tableau 3, d'après les limites proposées par Dauvin et al., (2017).

*Tableau 3 : Interprétation des valeurs de  $J'$  (d'après Dauvin et al., 2017)*

Référence couleur	Valeur de $J'$	Classification
	[0 - 0,2[	Communauté très peu diversifiée
	[0,2 - 0,4[	Communauté peu diversifiée
	[0,4 - 0,6[	Communauté diversifiée
	[0,6- 0,8[	Communauté très diversifiée
	[0,8-1,0[	Communauté extrêmement diversifiée

- AMBI

Le Coefficient Benthique (CB ou AMBI) (Borja et al., 2000) consiste à pondérer le pourcentage des espèces classées en cinq groupes écologiques (GI à GV) puis de calculer l'AMBI selon la formule suivante :

$$AMBI = 0 EG_I + 1,5 EG_{II} + 3 EG_{III} + 4,5 EG_{IV} + 6 EG_V$$

Avec :

$EG_I$  = espèces très sensibles à l'enrichissement en Matière Organique

$EG_{II}$  = espèces indifférentes à l'enrichissement en Matière Organique

$EG_{III}$  = espèces tolérantes à un excès de Matière Organique

$EG_{IV}$  = espèces opportunistes de 2nd ordre

$EG_V$  = espèces opportunistes de 1er ordre

Cet indice permet de déterminer un état écologique et une classification selon un code couleur (Tableau 4). Selon la valeur de l'AMBI, l'état de la communauté est qualifié de normale à azoïque faisant aussi référence à un degré de stress propre au site d'étude (de non stressé à extrêmement stressé). L'avantage de cette méthode est de fournir une variable continue qui, grâce à une équivalence écologique indique le statut écologique (de mauvais à très bon) définis pour répondre aux exigences de la DCE.

Tableau 4 : Equivalence entre les valeurs de l'AMBI et les différents états écologiques définis par la Directive Cadre Eau (d'après Borja et al., 2000, 2004)

Classification du site	Valeur de l'indice AMBI	Etat écologique	Dominance des groupes écologiques	Etat des communautés
Non stressé	$0,0 < \text{AMBI} < 0,2$	Très bon	I	Normal
	$0,2 < \text{AMBI} < 1,2$			Appauvri
Légèrement stressé	$1,2 < \text{AMBI} < 3,3$	Bon	III	Déséquilibré
Moyennement stressé	$3,3 < \text{AMBI} < 4,3$	Moyen	IV-V	En transition vers l'état "stressé"
	$4,3 < \text{AMBI} < 5,0$			Stressé
Fortement stressé	$5,0 < \text{AMBI} < 5,5$	Médiocre	V	En transition vers l'état "fortement stressé"
	$5,5 < \text{AMBI} < 6$			Fortement stressé
Extrêmement stressé	Azoïque	Mauvais	Azoïque	Azoïque

- Assemblages

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est une méthode de classification, qui produit des regroupements définis par un certain nombre de caractères. Le processus de cette méthode est de construire des classes par agglomération successive de deux objets entre eux, de deux classes entre elles ou d'une classe et d'un objet, jusqu'à obtenir une hiérarchie de partition des objets. Différents calculs de distance pouvant être faits, le choix doit être judicieusement effectué en fonction du type de données employées.

Pour les données en présence-absence et l'analyse comparative des assemblages, c'est l'indice de similarité de Sorensen qui a été choisi. Cet indice de similarité accorde plus d'importance à la présence qu'à l'absence des espèces. Cet indice est calculé de la façon suivante :

$$S = \frac{2A}{(2A+B+C)}$$

Avec :

*A*, le nombre d'espèces présentes dans les deux prélèvements

*B*, le nombre d'espèces présentes dans un seul des deux prélèvements

*C*, le nombre d'espèces présentes uniquement dans l'autre prélèvement

Le facteur « 2 » devant le *A* permet d'assigner une plus grande importance à la double présence.

L'indice de similarité de Bray-Curtis a été employé avec les données d'abondances avec transformation racine carrée pour 2024 et  $\text{Log}_{10} + 1$  pour les comparaisons 2014-2024 compte tenu de la forte disparité des abondances entre celles de 2014 très élevées et celles de 2024 très faibles (Clarke & Gorley, 2006).

### III. RESULTATS

#### III.1. Préambule

Les refus de tamis ont été triés (d'un volume d'au moins 2 L par échantillon) se composaient essentiellement de coquilles d'huîtres fossiles *Ostrea edulis* notamment dans les stations Q1 et Q3 sous les cages et de graviers ainsi que des résidus de mâchefer témoin de navigation de navires à vapeur (chaudière à charbon) dans le secteur. Il faut noter l'absence de sable et de vase dans ces refus (Figure 3). Les coquilles étaient colonisées par des espèces caractéristiques des substrats durs comme les polychètes *Spirobranchus* et des cirripèdes (balanes).



Figure 3 : Photos des refus de tamis

#### III.2. Analyses granulométriques

Pour analyser la granulométrie par diffraction laser des sédiments prélevés, nous avons dû au préalable réaliser une séparation par tamisage humide avec un tamis de maille 2 mm. Le Tableau 5 présente pour chacune des stations investiguées le pourcentage de graviers ainsi obtenu. Ce pourcentage varie de moins de 10 % (station Q2) à plus de 50 % pour les stations Q1 et Q3. La station Q4 présente un pourcentage intermédiaire inférieur à 30 %.

Tableau 5 : Pourcentage et nature de la fraction graveleuse pour les quatre stations investiguées.

Numéro	Date	Poids > 2 mm	Poids < 2 mm	% > 2 mm	Description fraction grossière
Q4	02/02/2024	223,8	549,3	28,9	Schiste, débris coquilliers (couteau, nasse...), maerl
Q3	02/02/2024	323,2	167,5	65,9	Graviers schiste + gros que Q4, coquilles entières + débris, maerl
Q2	02/02/2024	52,1	580,9	8,2	Schiste, coquilles entières + débris, charbon (léger)
Q1	02/02/2024	277,3	117,8	70,2	Coquilles entières + débris, schiste, charbon

Les stations Q1, Q2 et Q3 se caractérisent par des fractions graveleuses constituées de débris de schiste, de débris coquilliers et de coquilles entières (coquilles d'huîtres fossiles *Ostrea edulis* et coquilles Saint-Jacques *Pecten maximus*). La station Q4 se démarque car les coquilles entières ne sont pas observées. Deux traceurs permettant de déterminer la source des sédiments ont été mis en évidence. Pour les stations Q4 et Q3, stations situées le plus à l'ouest, il s'agit de maerl. Ces algues calcaires sont amenées dans l'intérieur de la grande rade par la houle de NW et les courants de marée (flot). A l'inverse les stations Q1 et Q2 présentent des particules charbonneuses (scories) qui sont en transport entre la passe de l'est et la petite rade. Repris par les courants de marée qui forment des gyres et par la houle de NE, elles s'échappent de cet axe principal et sont retrouvées jusqu'au centre de la rade.

L'analyse par diffraction laser a nécessité de réaliser plusieurs répliqués à cause du pourcentage élevé de fraction grossière contenue dans les échantillons. La séparation par tamisage humide à 2 mm ne permet donc pas d'identifier clairement la distribution granulométrique de ces particules les plus grossières. Les résultats obtenus permettent néanmoins de caractériser les environnements des quatre stations et de les différencier.

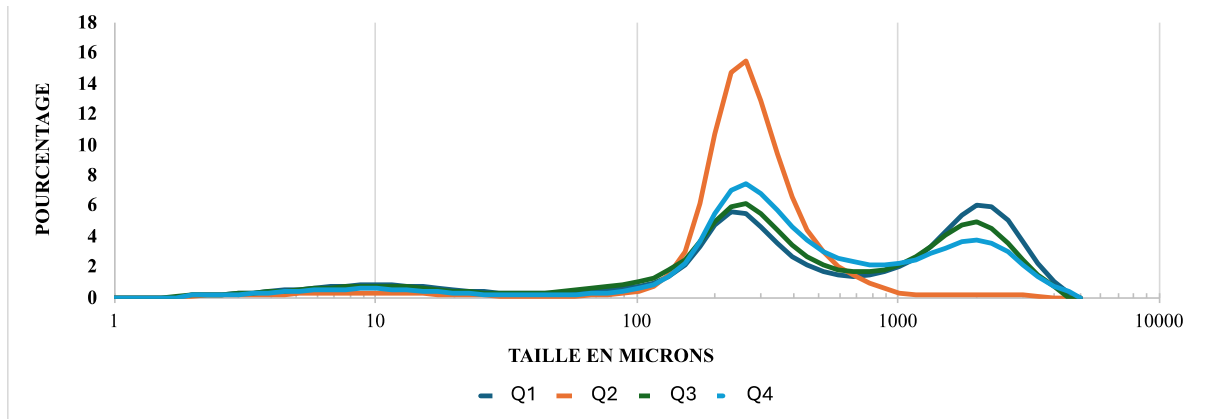


Figure 4 : Granulométrie comparée des quatre stations.

La granulométrie des stations Q1, Q2 et Q3 apparaît clairement identique. Un mode principal (260  $\mu\text{m}$ ) de sable fin à moyen (Wentworth, 1922) représentant entre 5 et 6 % de l'échantillon est mis en évidence. Un mode identique est retrouvé au niveau de la station Q2 mais ici, il représente plus de 15 % de la masse totale. Cette dernière station se différencie aussi par l'absence remarquable de particules plus grossières. Le tri des particules se traduit par un indice de classement (sorting) élevé qui souligne une dynamique plus intense dans la zone de prélèvement de Q2. Pour les 3 stations Q1, Q3 et Q4, le mode artificiel situé entre 1300 et 1800  $\mu\text{m}$  traduit essentiellement la présence de fins débris coquilliers. Leur présence, au-dessus de la taille des 2 mm (maille utilisée pour le tamisage humide) est dû à la différence de méthode (tamis et diffraction laser) pour étudier la granulométrie des sédiments.

### III.3. Analyses de la composition faunistique

#### III.3.1. Richesse taxonomique

En février 2024, sur l'ensemble des 12 échantillons, le nombre total de taxa est de 72 au niveau des quatre stations, à noter que seulement deux taxons n'ont pas été identifiés jusqu'à l'espèce : les némerthes et les polychètes syllidae. Les polychètes rassemblent 33 taxons soit 47 % de l'ensemble de la faune ; les crustacés 24 espèces et 33 %, les mollusques 10 taxons et 14 % et les « Divers », 5 taxons et 6 % de la faune totale. La richesse taxonomique varie entre 6 taxa dans l'échantillon Q2A le plus pauvre à 25 taxa dans l'échantillon Q3B le plus riche (Tableau 6). La station la plus pauvre est celle sous la barge Q2 avec un total de taxa de seulement 15 et la plus riche la station Q3 sous la cage 14. La Richesse Taxonomique sous la cage N5 est également élevée avec 32 taxa, richesse supérieure à celle de la station Q4 en aval des cages.

Seulement deux espèces le tanaïdacé *Apseudopsis latreillii* et le polychète *Notomastus latericeus* sont présentes dans l'ensemble des 12 échantillons. Trente-six espèces ne sont présentes qu'en un seul individu et 12 autres avec seulement deux individus. 48 taxa sont donc rares dans la série des 12 échantillons.

Tableau 6 : Richesse Taxonomique (RT) par échantillon de 0,25 m<sup>2</sup> et total de 0,75 m<sup>2</sup> par station.

Station	Réplikat	S
Q1	A	12
	B	18
	C	20
	Total	32
Q2	A	6
	B	10
	C	7
	Total	15
Q3	A	23
	B	25
	C	19
	Total	42
Q4	A	10
	B	8
	C	18
	Total	24

### III.3.2. Diversité de Shannon et Piélou

L'indice de Shannon varie de 1,731 dans l'échantillon Q4C à 3,516 dans l'échantillon Q1A. Au niveau des stations l'indice de Shannon varie de 2,740 à la station Q4 à 3,774 à la station Q1. Les états écologiques sont bons aux deux stations sous les cages Q1 et Q3 et moyens aux deux autres stations (Tableau 7).

L'indice de Piélou varie de 0,415 dans l'échantillon Q4C à 0,980 dans l'échantillon Q. Au niveau des stations l'indice de Piélou varie de 0,496 à la station Q4 à 0,755 à la station Q1. Les états écologiques sont très bons à bons aux deux stations Q1 et Q2, bons en Q3 et moyens en Q4 (Tableau 7).

Tableau 7 : Indice de diversité de Shannon  $H'$  avec état écologique associé.

Station	Echantillon	$H'$	Etat écologique
Q1	A	3,516	Bon
	B	3,409	Bon
	C	3,373	Bon
	Total	3,774	Bon
Q2	A	2,368	Moyen
	B	2,754	Moyen
	C	3,276	Bon
	Total	2,940	Moyen
Q3	A	3,299	Bon
	B	3,480	Bon
	C	3,436	Bon
	Total	3,627	Bon
Q4	A	2,409	Moyen
	B	2,676	Moyen
	C	1,731	Médiocre
	Total	2,740	Moyen

Tableau 8 : Indice d'équitabilité de Piélou  $J'$  avec Etat écologique associé.

Station	Echantillon	$J'$	Etat écologique
Q1	A	0,981	Très bon
	B	0,818	Très bon
	C	0,780	Bon
	Total	0,755	Bon
Q2	A	0,848	Très bon
	B	0,829	Très bon
	C	0,980	Très bon
	Total	0,725	Bon
Q3	A	0,792	Bon
	B	0,750	Bon
	C	0,795	Bon
	Total	0,673	Bon
Q4	A	0,725	Bon
	B	0,892	Très bon
	C	0,415	Moyen
	Total	0,496	Moyen

### III.3.3. Abondances

En 2024, pour l'ensemble des 12 échantillons, un total de 809 individus a été récolté sur une surface totale de 3 m<sup>2</sup> (soit 12 sous-stations de 0,25 m<sup>2</sup>), soit une moyenne

de 270 individus par m<sup>2</sup>. L'abondance varie de 12 individus (échantillon Q2C) à 132 individus (Echantillon Q4C ; Tableau 9).

Tableau 9 : Abondance moyenne (nombre d'individus pour 0,25 m<sup>2</sup>) et total pour 0,75 m<sup>2</sup> par station.

Station	Echantillon	A
Q1	A	31
	B	78
	C	123
	Total	232
Q2	A	20
	B	27
	C	12
	Total	59
Q3	A	99
	B	118
	C	90
	Total	307
Q4	A	46
	B	32
	C	132
	Total	210

### III.3.4. Biomasses

Les biomasses sont très faibles et varient de 1,0651 g de PSLC pour la station Q4 (mais seulement 0,4410 g de PSLC sans *Pecten maximus*) à 0,0610 g PSLC à la station Q2 sous la barge (Tableau 10). A noter que les biomasses sans les coquilles Saint-Jacques de la station Q4 sont du même ordre de grandeur et légèrement supérieures à 0,4 g PSLC ce qui est très faible eu égard à d'autres sites de sédiments grossiers.

Tableau 10 : Biomasse pour 0,27 m<sup>2</sup> en gramme de PSLC. Q4 \* biomasse avec les trois coquilles

Station	Echantillon	En g PSLC
Q1	Total	0,4225
Q2	Total	0,0610
Q3	Total	0,4690
Q4	Total	1,0651* ; 0,4410

### III.4. Qualité écologique et assemblage faunistique

#### III.4.1. AMBI

L'indice AMBI assigne que l'ensemble des 4 stations est classé selon cet indice dans un « Bon » état écologique pour trois stations et en « très bon » pour la station Q1 (Tableau 11). Sur les 72 taxa, 37 appartiennent au Groupe Ecologique EGI (espèces sensibles) soit 51 % des taxa, 16 au groupe EGII (indifférentes) soit 22 %, 9 au EGIII (tolérantes) soit 13 % et enfin 10 au EGIV (taxa opportunistes de deuxième ordre) soit 10 %. Il est donc notable que la collection comporte une large majorité d'espèces sensibles, indifférentes ou tolérantes à un enrichissement en matière organique dont l'espèce la plus abondante de l'échantillonnage *Apseudopsis latreillii* parmi les tolérantes.

Tableau 11 : Valeurs de l'AMBI dans les quatre stations et état écologique.

Station	AMBI		Etat écologique
	Q1	Q2	
	0,926		Très bon
	2,610		Bon
	1,660		Bon
	2,430		Bon

#### III.4.2. Assemblages faunistiques

##### III.4.2.1. Assemblages faunistique en 2024

- *Présence/absence*

Lors de l'analyse de la matrice correspondant aux 12 échantillons, quatre groupes différents en termes de présence/absence à un niveau de similarité de 40 % se distingue (Figure 5). Ces quatre groupes correspondent aux quatre stations qui présentent par conséquent des compositions taxonomiques distinctes d'une station à l'autre.

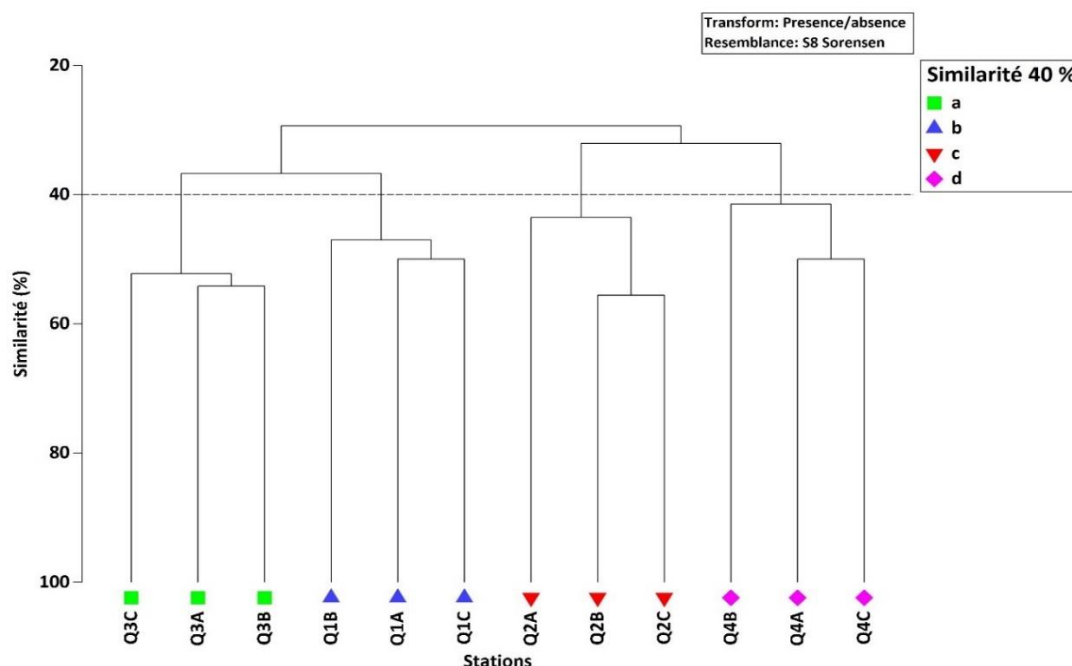


Figure 5 : Dendrogramme correspondant à la matrice de similarité de Sorensen des 12 échantillons en présence/absence

Le tanaïdacé *Apsudopsis latreillii* est commune aux quatre groupes, *Notomastus latericeus* à trois, d'autres espèces (Tableau 12) caractérisent les groupes dont les balanes *Balanus crenatus* pour le groupe b (station Q1) caractérisée par des coquilles colonisées par des espèces fixées sur ce substrat dur.

Tableau 12 : Analyse SIMPER sur les 12 échantillons 2024 en présence-absence.

Groupe a		Groupe b	
Taxa	Cc (%)	Taxa	Cc (%)
<i>Allomelita pellucida</i>	8,36	<i>Apsudopsis latreillii</i>	12,62
<i>Aonides oxycephala</i>	16,72	<i>Balanus crenatus</i>	25,24
<i>Apsudopsis latreillii</i>	25,08	<i>Lumbrineris latreilli</i>	37,87
<i>Bispira fabricii</i>	33,44	<i>Notomastus latericeus</i>	50,49
Groupe c		Groupe d	
Taxa	Cc (%)	Taxa	Cc (%)
<i>Apsudopsis latreillii</i>	25,39	<i>Apsudopsis latreillii</i>	19,52
<i>Euclymene oerstedii</i>	50,78	<i>Calyptraea chinensis</i>	39,04
<i>Notomastus latericeus</i>	76,17	<i>Lanice conchilega</i>	58,57
		<i>Notomastus latericeus</i>	78,09

- *Matrice d'abondance*

Avec les abondances des 12 échantillons, quatre groupes sont également distingués à un niveau de similarité de 42 %, la station Q1A est isolée, les échantillons

des stations Q2 et Q4 appartiennent à deux groupes différents, les trois échantillons de la station Q3 sont regroupés avec deux échantillons de la station Q2 (Figure 6).

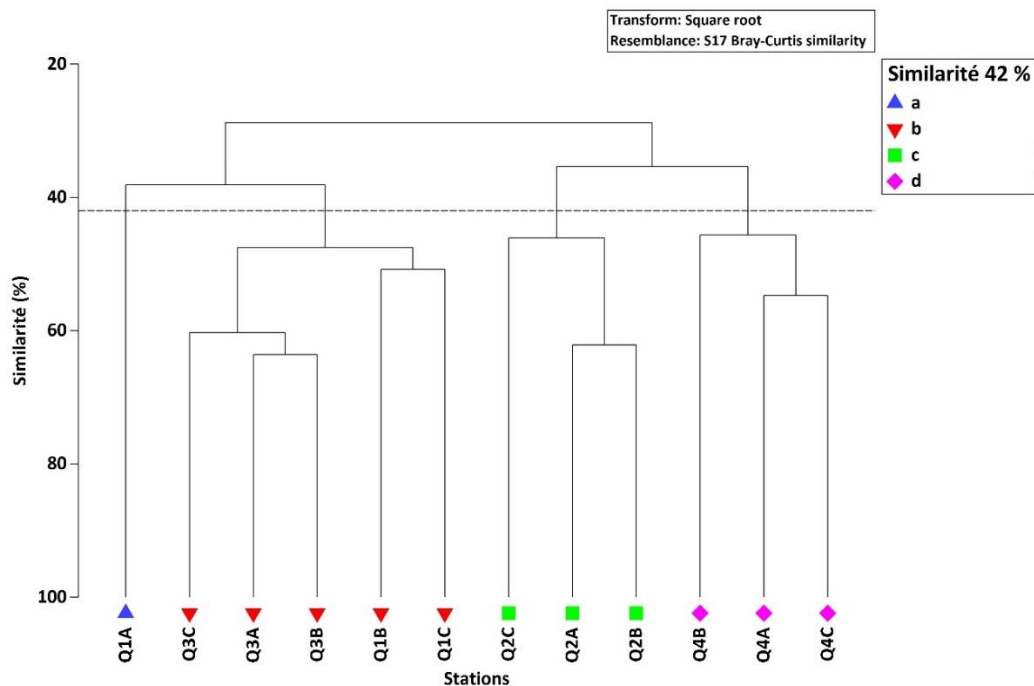


Figure 6 : Dendrogramme obtenu à partir de la matrice d'abondances en transformation en racine carré selon la similarité de Bray-Curtis les 12 échantillons de 2024.

Les groupes a et b sont structurés par le polychète vivant fixées sur les coquilles *Spirobranchus triqueter*, les espèces *Apseudopsis latreillii* et *Notomastus latericeus* sont présentes dans les quatre groupes (Tableau 13). Les trois groupes b, c et d se distinguent par une espèce différente dans chaque groupe : *Pisidia longicornis* petit crabe décapode caractéristique des substrats durs pour le groupe b, le polychète *Euclymene oerstedii* caractéristique des zones vaseuses pour le groupe c et le polychète *Lanice conchilega* caractéristique des fonds sableux pour le groupe 4 (Tableau 13).

Tableau 13 : Analyse SIMPER sur les 12 échantillons 2024 en abondances en transformation Square root.

Groupe a		Groupe b	
Taxa	Cc (%)	Taxa	Cc (%)
		<i>Spirobranchus triqueter</i>	26,34
		<i>Notomastus latericeus</i>	44,17
<i>Spirobranchus triqueter</i>	35,0	<i>Apseudopsis latreillii</i>	56,41
<i>Apseudopsis latreilli</i>	60,0	<i>Pisidia longicornis</i>	67,05
<i>Notomastus latericeus</i>	78,0	<i>Allomelita pellucida</i>	74,96
Groupe c		Groupe d	
Taxa	Cc (%)	Taxa	Cc (%)
<i>Apseudopsis latreillii</i>	36,72	<i>Apseudopsis latreillii</i>	38,64
<i>Notomastus latericeus</i>	64,92	<i>Lanice conchilega</i>	56,96
<i>Euclymene oerstedii</i>	81,86	<i>Notomastus latericeus</i>	72,62

### III.4.2.2. Comparaison 2014 / 2024

La matrice unique correspondant aux abondances standardisées par 0,5 m<sup>2</sup> des quatre stations de février 2024 (Q1 à Q4) et des stations de février 2014 les plus proches géographiquement (EC8, CC8, EC16 et ORE) totalise 118 taxa (81 en 2014 et 72 en 2024). 34 taxa sont communs aux deux dates, 48 ont été récoltés qu'en 2014 et 36 en 2024. D'emblée les deux séries apparaissent différentes puisque seulement un tiers des taxa ont été retrouvées aux deux dates.

- *Présence/absence*

A un niveau de similarité de 35 %, trois groupes se distinguent : la station Q1 2024 est isolée, les quatre stations de 2014 forme le groupe b et le troisième et dernier groupe rassemble les trois autres stations de 2024 (Figure 7). *Apseudopsis latreillii* et *Notomastus latericeus* présents dans les deux séries structurent les deux groupes b et c, l'amphipode *Ampelisca tenuicornis*, les polychètes opportunistes *Caulleriella alata*, *Chaetozone gibber* et *Dipolydora giardi* caractérisent l'année 2014 ; le bivalve *Corbula gibba* et le polychète *Spirobranchus triqueter* caractérise l'année 2024 (Tableau 14).

Les abondances sont très différentes entre les deux séries de prélèvement. Elles sont comprises entre 1973 et 3380 individus par 0,5 m<sup>2</sup> en 2014 avec une très forte dominance d'*Apseudopsis latreillii* (de 637 à 2628 individus par 0,5 m<sup>2</sup>). Elles sont très faibles en 2024 et comprises entre 40 et 196 individus par 0,5 m<sup>2</sup> soit entre 20 et 80 fois moins.

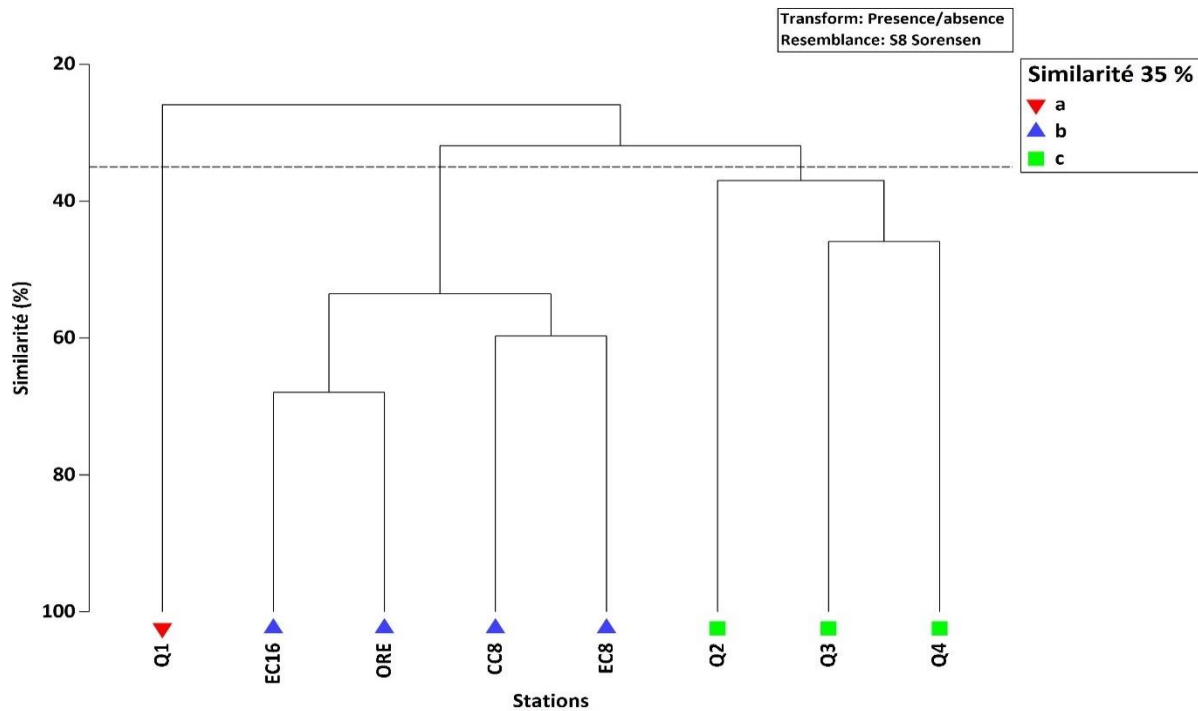


Figure 7 : Dendrogramme correspondant à la matrice de similarité de Sorensen des stations en présence/absence pour 2014 et 2024.

Tableau 14 : Analyse SIMPER en présence-absence sur la comparaison 2014-2024.

Assemblage b		Assemblage c	
Taxa	Cc (%)	Taxa	Cc (%)
<i>Ampelisca tenuicornis</i>	4,14	<i>Apseudopsis latreillii</i>	10,05
<i>Apseudopsis latreillii</i>	8,28	<i>Corbula gibba</i>	20,11
<i>Caulleriella alata</i>	12,42	<i>Hilbigneris gracilis</i>	30,16
<i>Chaetozone gibber</i>	16,56	<i>Euclymene oerstedii</i>	40,22
<i>Dipolydora giardi</i>	20,7	<i>Notomastus latericeus</i>	50,27
<i>Eteone longa</i>	24,85	<i>Spirobranchus triqueter</i>	60,33
<i>Hilbigneris gracilis</i>	28,99	Syllidae	70,38
<i>Euclymene oerstedii</i>	33,13		
<i>Notomastus latericeus</i>	37,27		

- *Matrice d'abondance*

Avec les abondances des huit stations de 2014 et 2024, trois groupes sont distingués à un niveau de similarité de 40 % (Figure 8). Les quatre stations de 2014 forment le groupe a, alors que les quatre stations de 2024 se séparent en deux groupes : Q1 et Q3 d'une part et Q2 et Q4 d'autre part.

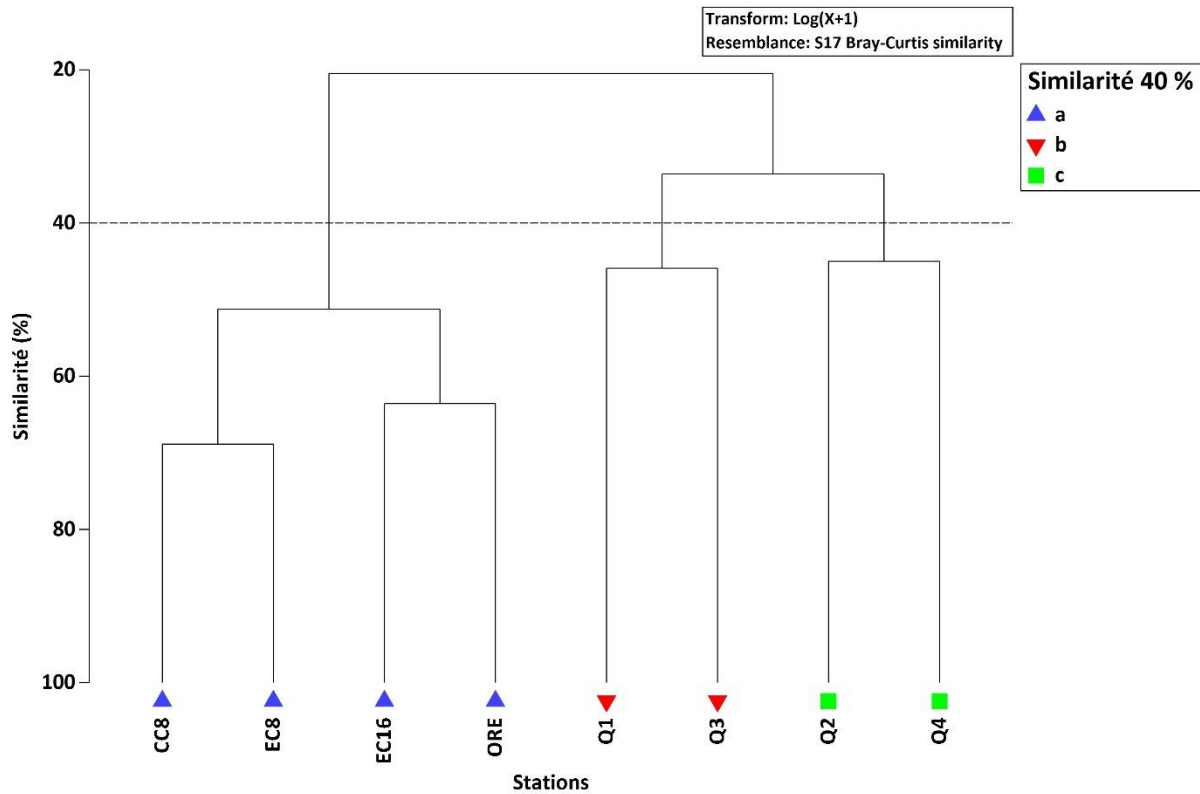


Figure 8 : Dendrogramme obtenu à partir de la matrice d'abondances en transformation  $\text{Log}_{10} + 1$  selon la similarité de Bray-Curtis sur la comparaison 2014-2024.

*Apseudopsis latreillii* et *Notomastus latericeus* structurent les trois groupes (Tableau 15), l'amphipode *Ampelisca tenuicornis*, les polychètes opportunistes *Caulleriella alata*, *Chaetozone gibber* et *Dipolydora giardi* caractérisent l'année 2014 (Tableau 15) ; le polychète *Spirobranchus triqueter* et le gastéropode *Calyptra chinensis* caractérisent le groupe b de l'année 2024 et les polychètes *Euclymene oerstedii* et *Hilbigneris gracilis* le groupe c de l'année 2024 (Tableau 14).

Tableau 15 : Analyse SIMPER à partir de la matrice d'abondances en transformation Log10 + 1 sur la comparaison 2014-2024.

Groupe a		Groupe b	
Taxa	Cc (%)	Taxa	Cc (%)
<i>Apseudopsis latreillii</i>	13,06	<i>Spirobranchus triqueter</i>	19,47
<i>Notomastus latericeus</i>	22,18	<i>Notomastus latericeus</i>	35,45
<i>Dipolydora giardi</i>	30,72	<i>Apseudopsis latreillii</i>	51,06
<i>Phyllodoce mucosa</i>	36,67	<i>Allomelita pellucida</i>	62,43
<i>Chaetozone gibber</i>	42,35	<i>Calyptraea chinensis</i>	68,33
<i>Caulleriella alata</i>	47,24	<i>Cirriformia tentaculata</i>	74,22
<i>Ampelisca tenuicornis</i>	51,16		
Groupe c			
Taxa	Cc (%)		
<i>Apseudopsis latreillii</i>	31,7		
<i>Notomastus latericeus</i>	55,96		
<i>Euclymene oerstedii</i>	68,09		
<i>Hilbigneris gracilis</i>	77,44		

#### IV. DISCUSSION GENERALE

L'année 2024 se caractérise par les points suivants : richesse taxonomique moyenne, abondances et biomasses très faibles et diagnostic écologique très bon à bon hormis la station Q2 sous la barge où le diagnostic donne un état écologique moyen. En 2024, il y a très peu d'espèces indicatrices d'enrichissement en matière organique (quelques espèces appartenant au Groupe Ecologique IV et absence totale d'espèces du Groupe Ecologique V). L'existence de coquilles offrant un support de substrat dur se traduit par la présence d'espèces de substrats durs comme le polychète *Spirobranchus triqueter*, l'anémone *Corynactis viridis* et des balanes dont *Balanus crenatus*.

Ces observations sont également validées au niveau sédimentaire, avec la station Q2, sous la barge, qui se différencie des trois autres stations par l'absence de débris coquillier et un très bon classement, probablement lié à une dynamique de courant plus fort permettant un tri important des particules sédimentaires. Les stations Q1 et Q3 se composent d'une grande quantité de gros débris coquilliers (coquilles entières), contrairement à la station Q4, la plus à l'Ouest, qui se compose de schiste et de petits débris, probablement lié à à un effet de la houle plus important.

Par rapport à février 2014, où les abondances étaient élevées, avec une forte abondance des espèces des Groupes Ecologiques IV et V (voir Dauvin *et al.*, 2020)

indicatrices d'un enrichissement en matière organique sous les cages en exploitation à cette époque, l'année 2014 présente un cortège faunistique sans espèces caractéristiques d'enrichissement en matière organique. Les différentes analyses montrent pour 2024, des compositions faunistiques et en abondances particulières pour chaque station échantillonnée. Les comparaisons 2014-2024 montrent deux situations très tranchées entre 2014, avec une faune riche et caractéristique d'une zone enrichie en matière organique (Baux et al., 2017 ; Murat et al., 2012), en comparaison de 2024 où une faune appauvrie sans indication d'espèces témoins d'enrichissement en matière organique est observée. Ceci peut être mis en lien avec l'arrêt de l'élevage depuis 2 ans (cages vides), qui contribuait de manière directe à l'apport en matière organique localement, via les restes de nourriture et les fèces de poissons (Dauvin *et al.*, 2020). Il est connu, à travers plusieurs études, que l'hydrodynamisme de la rade de Cherbourg est caractérisé par des courants forts avec une accélération sous les cages (Merceron et Gaffet, 1994 ; Poizot *et al.*, 2016), permettant d'évacuer les particules fines. L'apport en matière organique n'étant plus présent suite à l'arrêt provisoire de l'élevage, une faune composée d'espèces non-indicatrices d'enrichissement en matière organique s'est installée. Cette faune est peu abondante et peu diversifiée, probablement en lien avec la présence d'un substrat composé d'une grande quantité de débris coquilliers et de coquilles entières d'huîtres et de Saint-Jacques, permettant difficilement l'installation d'endofaune.

Enfin il convient de souligner les limites de la comparaison ente les prélèvements réalisés en février 2014 à la benne Van Veen (5 réplcats de 0,1 m<sup>2</sup>) et ceux de 2024 réalisés en plongée (trois quadrats de 0,25 m<sup>2</sup>). Une partie des différences pourrait être liée à cette différence des stratégies d'échantillonnage sans que l'on puisse en mesurer la valeur.



## V. BIBLIOGRAPHIE

Andres, S., Pezy, J.P., Martinez, M., Baux, N., Baffreau, A., Méar, Y., Dauvin, J.C. (2020). Soft bottom macrobenthic communities of the North Cotentin (central English Channel). Part 2. The case of the North Cotentin Peninsula. *Journal of Marine Biology and Oceanography*, 9, 1, 1000278.

Baux, N., Bachelet, Q., Baffreau, A., Pezy, J.P., Mear, Y., Poizot, E., Guyonnet, B., Dauvin, J.C. (2017). An exceptional rich soft-bottom macrobenthic habitats in a semi-enclosed Bay of the English Channel: the Rade of Cherbourg. *Regional Studies in Marine Science*, 9, 106-116.

Bentley, D., Méar, Y., Miramand, P., Murat, A., Guary, J.C. (1997). Impact trophique d'un élevage intensif de salmonidés sur le milieu marin (Rade de Cherbourg). Rapport No. 14. Intechmer. 1-33.

Borjá, A., Franco, J., Perez, V. (2000). A marine biotic to the establish ecology quality of soft-bottom benthos within European estuarine coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* 40, 1100-1114.

Bouchet, V., Deldicq, N., Baux, N., Dauvin, J.C., Pezy, J.P., Seuront, L., Méar, Y. (2020). Benthic foraminifera as a methodology to assess ecological quality statuses: the case of salmon fish farming. *Ecological Indicators*, 117, 106607.

Clark, K.R., Gorley, R.N. (2006). PRIMER v6: User Manual/Tutorial. Primer-E-Ltd., Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK.

Dauvin, J.C., Bakalem, A., Baffreau, A., Bellan, G., Lardicci, C., Sarda, R., Grimes, S. (2017). The well sorted fine sand community from the western part of the Mediterranean Sea: a marine habitat under diverse human pressures. *Environmental Pollution*, 224, 336-351.

Dauvin, J.C., Pezy, J.P., Baffreau, A., Bachelet, Q., Baux, N., Yann Méar, Y., Murat, A., Poizot, E. (2020). Effects of a salmon fish farm on benthic habitats in a high-energy hydrodynamic system: the case of the Rade de Cherbourg (English Channel). *Aquaculture*, 518, Article 734832

Frontier, S., Pichot-Viale, D., Leprêtre, A., Davoult, D., Luzcak, C. (2004). Ecosystèmes- Structure, fonctionnement, évolution. Edition Dunod, Paris, 549 pp.

Kempf, M., Merceron, M., Cadour, G., Jeanneret, H., Méar, Y., Miramand, P., (2002). Environmental impact of a salmonid farm on a well flushed marine site: II. Biosedimentology. *Journal of Applied Ichthyology*, 18, 51-60.

Lozach, S., Dauvin, J.C. (2011). Temporal stability of a coarse sediment community from the central eastern English Channel paleovalleys. *Journal of Sea Research*, 71, 14-24.

Merceron, M. et Gaffet, J.D. (1994). Courantométrie du site d'élevage de salmonidés en grande rade de Cherbourg (R.INT.DEL/94.02/BREST). IFREMER. 1-19.

Merceron, M., Kempf, M., Bentley, D., Gaffet, J.D., Le Grand, J., Lamort-Datin, L. (2002). Environmental impact of a salmonid farm on a well flushed marine site: I. current and water quality. *Journal of Applied Ichthyology*, 18, 40-50.

Murat, A., Méar, Y., Poizot, E. (2012). SALMOCOT : Enrichissement organique à proximité d'un élevage de salmonidés en Manche. Rapport de fin de projet. 1-27.

Pezy J.P., Dauvin J.C. (2021). Wide coverage but few quantitative data: coarse sediments in the English Channel. *Ecological Indicators*, 121, 107010.

Pielou, E.C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of*

*Theoretical Biology*, 13,131-44.

Shannon, C.E., Weaver, W. (1948). The mathematical theory of communication. University of Illinois, Press, Urbana, IL, 225 p.

Vincent, C., Heinrich, H., Edwards, A., Nygaard, K., Haythornthwaite, J. (2002) Guidance on typology, classification and reference conditions for transitional and coastal waters. Commission Européenne, CIS WG 2.4 (COAST), 119 p.

## VI. ANNEXES

Annexe 1 : Liste des taxons échantillonnés en 2024

Espèces	Q1			Q2			Q3			Q4			Σ
	Q1A	Q1B	Q1C	Q2A	Q2B	Q2C	Q3A	Q3B	Q3C	Q4A	Q4B	Q4C	
<i>Acromegalomma vesiculosum</i>		2								2		1	5
<i>Allomelita pellucida</i>		1	10				3	10	3				27
<i>Ampelisca diadema</i>								2				1	3
<i>Ampelisca spinipes</i>			1										1
<i>Ampelisca tenuicornis</i>							1						1
<i>Ampelisca typica</i>				1									1
<i>Aonides oxycephala</i>							3	5	2	1		1	12
<i>Aphelochaeta marioni</i>		1											1
<i>Apseudes talpa</i>	2		9						1				12
<i>Apsseudopsis latreillii</i>	6	4	16	10	12	3	6	6	15	25	12	102	217
<i>Aricia cuvieri</i>								1					1
<i>Atelecyclus rotundatus</i>											1		1
<i>Balanus crenatus</i>	3	2	30										35
<i>Bispira fabricii</i>							1	1	1			1	4
<i>Calyptraea chinensis</i>		3					3	2	2	2	7	3	22
<i>Caulleriella alata</i>						1		1	1				3
<i>Chaetozone gibber</i>							1	2				1	4
<i>Chaetozone zetlandica</i>				1									1
<i>Cirriformia tentaculata</i>		2	1				1		2				6
<i>Corbula gibba</i>				1				1				2	4
<i>Corynactis viridis</i>		9											9
<i>Diastylis laevis</i>		1											1
<i>Erichthonius punctatus</i>												1	1
<i>Eualus occultus</i>							1		3				4
<i>Euclymene oerstedii</i>				1	1	1	6	2	2	2		2	17
<i>Eumida sanguinea</i>										1			1
<i>Eurynome aspera</i>												1	1
<i>Eurysyllis tuberculata</i>							1						1
<i>Galathea squamifera</i>			1										1
<i>Glycera tridactyla</i>							1						1
<i>Gnathia vorax</i>							1	7					8
<i>Harmothoe antilopes</i>							1	1					2
<i>Harmothoe clavigera</i>									2				2
<i>Heteromastus filiformis</i>							2						2
<i>Janira maculosa</i>			1										1
<i>Keferstenia cirrata</i>	1												1
<i>Lanice conchilega</i>										7	4	3	14
<i>Laonice cirrata</i>								1	1				2
<i>Lepadogaster lepadogater</i>								1					1
<i>Leptochiton cancellatus</i>									2				2
<i>Liocarcinus depurator</i>							1						1

<i>Liocarcinus pusillus</i>								1					1
<i>Lumbrineris latreilli</i>	2	2	1		1	1	1	1				2	11
<i>Macra stultorum</i>							1						1
<i>Metaphoxus fultoni</i>			1										1
Nemertea		1								2			3
<i>Nephtys cirrosa</i>					1	2							3
<i>Notomastus latericeus</i>	4	14	10	5	6	2	13	19	16	4	2	6	101
<i>Nucula nitidosa</i>												1	1
<i>Pagurus bernhardus</i>											1		1
<i>Pagurus cuanensis</i>							1						1
<i>Pecten maximus</i>											3		3
<i>Perforatus perforatus</i>	3												3
<i>Perinereis cultrifera</i>								2					2
<i>Phoronis psammophila</i>			1										1
<i>Phtisica marina</i>			1										1
<i>Phyllodoce lineata</i>		1			1								2
<i>Pilumnus hirtellus</i>			2					1	1				4
<i>Dipolydora giardi</i>								1					1
<i>Pisidia longicornis</i>	1	8	9		1		4	4	4				31
<i>Tapes rhomboides</i>			1										1
<i>Protodorvillea kefersteini</i>	1	1											2
<i>Sabella pavonina</i>		1							1		2	1	5
<i>Scalibregma celticum</i>	1		1				1						3
<i>Spio decorata</i>				2	2								4
<i>Spirobranchus triqueter</i>	6	24	25			1	44	44	28			2	174
<i>Sthenelais boa</i>			1					1					2
<i>Styela clava</i>		1	1										2
Syllidae					1		2					1	4
<i>Tectura virginea</i>								1					1
<i>Timoclea ovata</i>										1			1
<i>Tritia reticulata</i>	1				1				1	1			4