# SUIVI BIOLOGIQUE DU SITE DE RECHARGE DE PLAGE DE POINTE-AUX-OUTARDES

**2022 — Année 1 après recharge**

biome
laboratoire d'écologie et de biodiversité aquatique
Université Laval

30 mars 2023






**Équipe de terrain 2022 :**
Donovan Cantin
Anne-Sophie Cloutier
Maude Couture
Martin De Langy
Cindy Grant
Lisa Treau de Coeli
Rosalie Fournier
Xavier Pratte

**Conception des protocoles :**
Cindy Grant

**Traitement des échantillons :**
Maude Couture
Martin De Langy

**Taxonomiste de référence :**
Lisa Treau de Coeli

**Saisie de données :**
Maude Couture
Martin De Langy

**Mise en forme, validation des bases de données et statistiques :**
Cindy Grant

**Rédaction du rapport** :
Gabrièle Deslongchamps
Cindy Grant

Projet réalisé sous la supervision de Philippe Archambault, professeur, Université Laval

# Table des matières

**1 INTRODUCTION ..... 1**

1.1 MISE EN CONTEXTE ..... 1
1.2 OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES ..... 1

**2 MATÉRIEL ET MÉTHODE ..... 2**

2.1 SITE D'ÉTUDE ..... 2
2.2 PRÉLÈVEMENTS ..... 3
2.3 TRAITEMENT EN LABORATOIRE ..... 4
*2.3.1 Caractérisation des sédiments ..... 4*
*2.3.2 Caractérisation de la faune benthique ..... 4*
2.4 APPROCHE STATISTIQUE ..... 5

**3 RÉSULTATS 2022 – ANNÉE 1 APRÈS RECHARGE ..... 6**

3.1 CARACTÉRISATION DES SÉDIMENTS ..... 6
3.2 CARACTÉRISATION DES ASSEMBLAGES BENTHIQUES ..... 12
*3.2.1 Analyses univariées ..... 15*
*3.2.2 Analyses multivariées ..... 24*
3.3 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DE L'ANNÉE 1 APRÈS LES TRAVAUX DE RECHARGE ..... 26

**4 COMPILATION DES PRINCIPAUX DES RÉSULATS DU SUIVI BIOLOGIQUE ..... 27**

**5 RÉFÉRENCES ..... 29**

# Liste des figures

**Figure 1.** Localisation des 6 sites étudiés à Pointe-aux-Outardes dans le cadre du projet de suivi biologique du site de recharge de plage : référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE). ..... 3

**Figure 2.** Contenu en matière organique des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour l'interaction entre les facteurs années (2021 en ■ et 2022 en ■) et sites : référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. ..... 7

**Figure 3.** Contenu en matière organique des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour l'interaction entre les facteurs profil (■ = rive, ■ = équilibre et ■ = large) et sites : référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. ..... 7

**Figure 4.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils (■ = rive, ■ = équilibre et ■ = large) au site référence ouest (RfO) de Pointe-aux-Outardes en 2022. ..... 9

**Figure 5.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils (■ = rive, ■ = équilibre et ■ = large) au site sous influence ouest (SiO) de Pointe-aux-Outardes en 2022. ..... 9
**Figure 6.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils (■ = rive, ■ = équilibre et ■ = large) au site recharge ouest (ReO) de Pointe-aux-Outardes en 2022. ..... 10
**Figure 7.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils (■ = rive, ■ = équilibre et ■ = large) au site recharge est (ReE) de Pointe-aux-Outardes en 2022. ..... 10
**Figure 8.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils (■ = rive, ■ = équilibre et ■ = large) au site sous influence est (SiE) de Pointe-aux-Outardes en 2022. ..... 11
**Figure 9.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils (■ = rive, ■ = équilibre et ■ = large) au site référence est (RfE) de Pointe-aux-Outardes en 2022. ..... 11
**Figure 10.** Abondance relative (%) des invertébrés benthiques prélevés à Pointe-aux-Outardes en 2021 (■) et 2022 (■). ..... 13
**Figure 11.** Biomasse relative (%) des invertébrés benthiques prélevés à Pointe-aux-Outardes en 2021 (■) et 2022 (■). ..... 14
**Figure 12.** Courbe d'accumulation d'espèces en fonction du nombre d'échantillons pour les travaux faits à Pointe-aux-Outardes en 2021 et 2022 ..... 15
**Figure 13.** Richesse spécifique des assemblages benthiques (nombre de taxons/station, moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 (■) et 2022 (■) pour les profils près de la rive (■, n = 15/site), à l'équilibre (■, n = 15/site) et vers le large (■, n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. La barre pointillée indique que 2 tests de comparaisons multiples ont été fait, l'un pour le facteur *année* et l'autre pour le facteur *profil*. ..... 19
**Figure 14.** Abondance totale (nombre total d'individus/$m^2$, moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 (■) et 2022 (■) pour les profils près de la rive (■, n = 15/site), à l'équilibre (■, n = 15/site) et vers le large (■, n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. La barre pointillée indique que 2 tests de comparaisons multiples ont été fait, l'un pour le facteur *année* et l'autre pour le facteur *profil*. ..... 20
**Figure 15.** Biomasse totale (g/$m^2$, moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 (■) et 2022 (■) pour les profils près de la rive (■, n = 15/site), à l'équilibre (■, n = 15/site) et vers le large (■, n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. La barre pointillée indique que 2 tests de comparaisons multiples ont été fait, l'un pour le facteur *année* et l'autre pour le facteur *profil*. ..... 21
**Figure 16.** Indice d'équitabilité de Pielou (moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 (■) et 2022 (■) pour les profils près de la rive (■, n = 15/site), à l'équilibre (■, n = 15/site) et vers le large (■, n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. ..... 22

**Figure 17.** Indice de diversité de Shannon-Wiener (moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 (■) et 2022 (■) pour les profils près de la rive (■, n = 15/site), à l'équilibre (■, n = 15/site) et vers le large (■, n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. La barre pointillée indique que 2 tests de comparaisons multiples ont été fait, l'un pour le facteur *année* et l'autre pour le facteur *profil*. ..... 23

## Liste des tableaux

**Tableau 1.** Identifiants et descriptions des sites choisis pour le suivi environnemental à la plage de Pointe-aux-Outardes..... 3
**Tableau 2.** Paramètres échantillonnés ainsi que l'unité et la méthode d'échantillonnage utilisée. ..... 4
**Tableau 3.** Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) testant l'effet de l'année, du site, du profil et leurs interactions sur le contenu en matière organique des sédiments de Pointe-aux-Outardes. Les valeurs significatives sont présentées en caractère gras. ..... 6
**Tableau 4.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'année, du site, du profil et leurs interactions sur les classes de taille des sédiments de Pointe-aux-Outardes en 2021 et 2022. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis, sur des données brutes et sur des données transformées en présence/absence..... 8
**Tableau 5.** Résultats des analyses *a posteriori* permettant d'identifier les différences significatives entre les années 2021 et 2022 pour l'interaction *site* × *profil*. La distribution des classes de taille des sédiments a été calculée à partir de la matrice de similarité de la distance euclédienne. ..... 8
**Tableau 6.** Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de l'année, du site, du profil et leurs interactions sur les caractéristiques univariées des assemblages benthiques soit la richesse spécifique, l'abondance, la biomasse, l'indice d'équitabilité de Pielou (J') et l'indice de diversité de Shannon-Wiener (H'). ..... 18
**Tableau 7.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'année, du site, du profil et leurs interactions sur les abondances des assemblages d'invertébrés benthiques de Pointe-aux-Outardes en 2021 et 2022. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis, sur des données brutes et sur des données transformées en présence/absence. ..... 24
**Tableau 8.** Résultats des analyses *a posteriori* permettant d'identifier les différences significatives entre les années 2021 et 2022 pour l'interaction *site* × *profil*. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis, sur des données brutes d'abondances. 25
**Tableau 9.** Synthèse des principaux résultats pour chacune des années du suivi biologique de Pointe-aux-Outardes. ..... 28

# Liste d'acronymes

| | |
|---|---|
| ECCC | Environnement et Changement climatique Canada |
| EGSL | Estuaire et golfe du Saint-Laurent |
| EMSL | Estuaire maritime du Saint-Laurent |
| LHE | Ligne des hautes eaux |
| MELCC | Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques |
| MES | Matière en suspension |
| MO | Matière organique |
| MPO | Pêches et Océans Canda |
| MNT | Modèle numérique de terrain |

# 1 Introduction

## 1.1 Mise en contexte

En lien avec le Cadre de prévention de sinistres, le MSP a financé deux projets majeurs de recharge de plage en 2021, dont celui de la plage de Pointe-aux-Outardes située sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, à l'extrémité sud de la péninsule de Manicouagan**.** Les berges de Pointe-aux-Outardes, qui s'étendent sur 1,6 km à l'est du quai, sont affectées par l'érosion, notamment causée par les tempêtes successives qui causent des dommages côtiers ainsi que le recul de la falaise.

Dans le but d'amoindrir les impacts négatifs de l'érosion et d'éviter que les dommages ne s'étendent résidences et aux infrastructures municipales qui se trouvent au sommet du talus en érosion, une intervention de protection a été réalisée à l'été 2021. Les travaux de recharge ont débuté le 1er juin 2021 et été réalisés à l'est de l'ancien sur une longueur de 1 370 m. Au total, 168 000 $m^3$ de matériaux granulaires, constitués d'un mélange de sable, de gravier et de cailloux naturels arrondis (diamètre moyen ($D_{50}$)[1] = 10 à 15 mm), ont été mis en place. La recharge devrait pouvoir offrir une résistance de la berge face à l'érosion pendant une trentaine d'années, et ce, sans nécessiter de recharge d'entretien.

## 1.2 Objectifs et hypothèses

L'objectif principal est de définir l'étendue spatiale et temporelle des travaux de recharge de plage sur les assemblages benthiques. Les objectifs spécifiques et leurs hypothèses sont :

**Objectif 1 : Définir l'étendue spatiale des effets de la recharge sur les assemblages benthiques.**

**Hypothèse 1** : Compte tenu de la modélisation numérique réalisée par Lasalle|NHC (2020), il est prédit que les travaux de recharge auront un impact immédiat et important sur les assemblages benthiques du site de recharge, un impact immédiat modéré aux sites sous influence et aucun impact aux sites référence.

- Les assemblages benthiques (abondance, biomasse, diversité) seront complètement détruits suite aux travaux au site même de la recharge.
- L'abondance, la biomasse et la diversité des assemblages benthiques seront diminuées aux sites sous influence suite aux travaux de recharge.
- L'abondance, la biomasse et la diversité des assemblages benthiques demeureront intactes aux sites référence.

**Objectif 2 : Définir l'étendue temporelle des effets de la recharge sur les assemblages benthiques.**

[1] Diamètre médian (ou $D_{50}$) représente la taille médiane (en mm) pour laquelle 50% des sédiments ont une granulométrie inférieure à la valeur indiquée.

**Hypothèse 2 :** Il est prédit qu'après un certain temps, les assemblages benthiques au site même de la recharge et ceux aux sites sous influence de la recharge retrouveront l'équilibre et seront alors plus ou moins similaires aux assemblages benthiques des sites référence (principe de bioéquivalence).

- L'abondance, la biomasse et la diversité des assemblages benthiques augmenteront significativement dans le temps suite aux travaux au site même de la recharge.
- L'abondance, la biomasse et la diversité des assemblages benthiques augmenteront graduellement dans le temps aux sites sous influence.
- Les assemblages benthiques (abondance, biomasse, diversité) ne varieront pas dans le temps aux sites référence.

**Ce rapport dresse le portrait des assemblages benthiques et des caractéristiques des sédiments dans le secteur de Pointe-aux-Outardes un an après les travaux de recharge de plage.**

# 2 Matériel et méthode

## 2.1 Site d'étude

Le suivi biologique à la plage de Pointe-aux-Outardes est effectué aux sites définis en 2021 (**Figure 1**). Tous les sites sont de mêmes dimensions (800 m le long de la rive par 250 m vers le large) :

- les sites recharge sont directement sur la zone de travaux (ReO et ReE)
- les sites sous influence sont à l'intérieur de la zone d'influence prédite (< 1 km), par rapport au quai pour le site ouest (SiO) et par rapport à la zone de travaux pour le site est (SiE)
- les sites référence sont au-delà du double de la zone d'influence prédite (> 2 km), par rapport au quai pour le site ouest (RfO) et par rapport à la zone de travaux pour le site est (RfE).

Le **Tableau 1** rassemble les identifiants de chaque site et leur description. Chaque site a été découpé en blocs lesquels permettent d'inclure l'effet profil de plage, soit la distance de la rive vers le large.

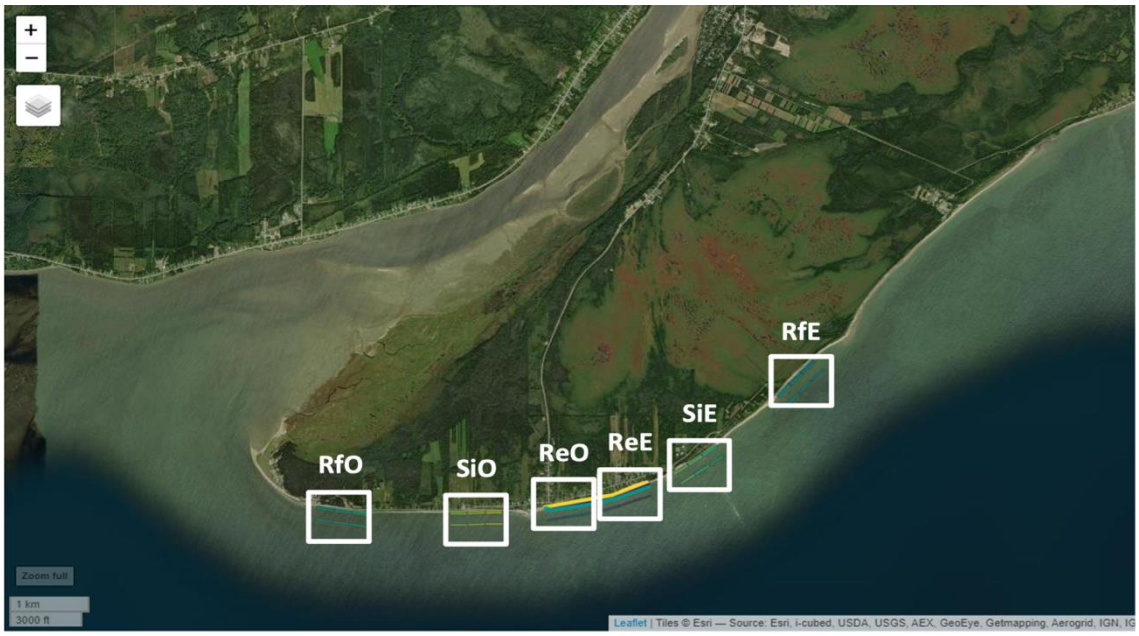



**Figure 1.** Localisation des 6 sites étudiés à Pointe-aux-Outardes dans le cadre du projet de suivi biologique du site de recharge de plage : référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE).

**Tableau 1.** Identifiants et descriptions des sites choisis pour le suivi environnemental à la plage de Pointe-aux-Outardes.

| Identifiant | Description |
|---|---|
| **RfO** | Site référence, au-delà du site sous influence vers l'ouest |
| **SiO** | Site adjacent à la recharge vers l'ouest et considéré comme étant sous influence |
| **ReO** | Zone de recharge elle-même, site ouest |
| **ReE** | Zone de recharge elle-même, site est |
| **SiE** | Site adjacent à la recharge vers l'est et considéré comme étant sous influence |
| **RfE** | Site référence, au-delà du site sous influence vers l'est |

## 2.2 Prélèvements

En 2022, l'échantillonnage s'est déroulé du 7 au 21 juin 2022. Un total de 270 stations d'échantillonnage, réparties dans les sites et tirées aléatoirement, ont été visitées.

À chaque station d'échantillonnage, des mesures et des échantillons ont été prélevés de façon à quantifier les paramètres suivants (**Tableau 2**): classes de tailles des sédiments, contenu en matière organique des sédiments, surface de recouvrement des végétaux (% par espèce), abondance d'organismes benthiques (nombre d'individus/$m^2$ par espèce) et biomasse humide d'organismes benthiques (g/$m^2$ par espèce).

**Tableau 2.** Paramètres échantillonnés ainsi que l'unité et la méthode d'échantillonnage utilisée.

| Paramètres mesurés | Unité | Méthode |
|---|---|---|
| Classes de taille des sédiments | % par classe de taille de sédiments | Échantillonnage des sédiments de surface |
| Contenu en matière organique des sédiments | % de matière organique | Échantillonnage des sédiments de surface |
| Surface de recouvrement des végétaux | % par espèce | Quadrat de 50 x 50 cm |
| Richesse spécifique du benthos<br>Abondance<br>Biomasse humide | Nombre de taxon/station<br>Nombre d'individus/$m^2$<br>Grammes/$m^2$ | Quadrat de 50 x 50 cm et cylindre de 10 cm diamètre |

Pour la caractérisation des sédiments, deux échantillons ont été prélevés sur une profondeur de 5 cm. Ces échantillons ont été congelés jusqu'à leur traitement en laboratoire.

La caractérisation de la faune benthique a été réalisée en trois temps. D'abord, l'utilisation d'un quadrat de 50 x 50 cm a permis de déterminer les pourcentages de recouvrement des végétaux. Ensuite, un échantillon de 10 cm de diamètre et 20 cm de profondeur a été prélevé pour la détermination ultérieure de l'assemblage benthique. Cet échantillon a été tamisé sur place sur une maille de 0,5 mm puis préservé dans une solution de formaldéhyde 4%. Enfin, les sédiments sous le quadrat ont été explorés pour en retirer tous les organismes de taille supérieure à 2 mm, notamment les bivalves.

## 2.3 Traitement en laboratoire

### 2.3.1 Caractérisation des sédiments

Pour la détermination du contenu en matière organique, les sédiments ont été séchés (70°C, minimum 48 heures ou jusqu'à l'obtention d'un poids constant), puis brûlés (550°C pendant 6 heures). La différence de poids avant et après le brûlage exprime la portion de matière organique contenue dans l'échantillon et les résultats sont exprimés en % de matière organique par échantillon.

Les analyses granulométriques ont été faites par colonne de tamis, sur des échantillons préalablement séchés à 70°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les résultats sont exprimés en % par classe de taille de sédiments par échantillon et la classification utilisée des sédiments est inspirée de celle de Wentworth (1922).

### 2.3.2 Caractérisation de la faune benthique

Au laboratoire, les échantillons de benthos ont été triés sous loupe binoculaire puis tous les organismes ont été identifiés au plus bas niveau taxonomique possible, dénombrés et pesés (biomasse humide par espèce).

Les taxons listés dans la base de données ont été validés à l'aide du World Register of Marine Species (WoRMS Editorial Board 2023). Les espèces pélagiques ont été retirées de la base de données (copépodes cyclopoides et calanoides) ainsi que les larves d'insectes. Les données issues des carottes (échantillonnage 10 cm de diamètre, tamisage entre 0,5 mm et 2 mm) et celles issues des quadrats (échantillonnage 50 × 50 cm, tamisage ≥ 2 mm) ont été ramenées par mètre carré puis additionnées.

## 2.4 Approche statistique

Le plan d'échantillonnage pour l'année 2 du projet compte 3 facteurs : le facteur *Année* compte 2 niveaux (2021, 2022), le facteur *Site* compte 6 niveaux (RfO, SiO, ReO, ReE, SiE, RfO) et facteur *Profil* compte 3 niveaux (rive, équilibre, large).

Pour dresser le portrait des assemblages benthiques, les données ont été analysées avec des approches univariée et multivariée. Les espèces benthiques ont d'abord été classées selon un coefficient de fréquence afin de distinguer les taxons constants (coefficient de fréquence ≥ 50%), les taxons communs (11 à 49%) et les taxons rares (≤ 10%).

Les assemblages benthiques ont ensuite été décrits à l'aide d'indicateurs univariés :

- richesse spécifique (S) : nombre de taxons/station
- abondance : nombre total d'individus/$m^2$,
- biomasse : poids humide d'organismes, g/$m^2$,
- indice d'équitabilité de Pielou : J' = H'/Log(S)
- indice de diversité de Shannon-Wiener : H' = -SUM(Pi*$Log_e$(Pi))

Ces indicateurs écologiques ont été calculés à l'aide du logiciel de statistiques PRIMER v7 (Clarke & Warwick 2001, Clarke & Gorley 2006).

Des analyses de variance (ANOVAs à 3 facteurs) ont été réalisées pour évaluer la variation spatiale et temporelle du contenu en matière organique des sédiments et des caractéristiques univariées des assemblages (richesse, abondance, biomasse, indice d'équitabilité et indice de diversité) selon l'année (2021, 2022), le site (RfO : référence ouest, SiO : sous influence ouest, ReO : recharge ouest, ReE : recharge est, SiE : sous influence est et RfE : référence est), le profil (rive : le haut de la recharge à l'équilibre, équilibre : le bas de la recharge à l'équilibre et large : le double de la limite du profil à l'équilibre) ainsi que leurs interactions. L'homogénéité des variances et la normalité des résidus préalables aux analyses ont été vérifiées visuellement, tel que suggéré par Quinn & Keough (2002) et des transformations ont été effectuées, lorsque nécessaires, pour satisfaire aux postulats du test. Des comparaisons *a posteriori* ont été faites avec le test de Tukey. Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel JMP v16.

Des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) ont été faites suivant le même plan statistique (9999 permutations, Anderson 2001) pour évaluer la variation spatiale et temporelle de la granulométrie des sédiments et la composition des assemblages benthiques. Les matrices de similarité ont été calculées respectivement à partir de la distance euclédienne et de l'indice de Bray-Curtis (avec une similarité de 100 entre les échantillons n'ayant aucun organisme répertorié).

Les analyses ont été faites sur les abondances et sur les biomasses d'organismes dans un premier temps, sur des données non transformées et ensuite, sur des données transformées en présence-absence ; cette transformation extrême permet de réduire complètement l'importance attribuée à la dominance des espèces donnant à chaque taxon, le même poids dans l'analyse (Clarke & Warwick 2001). Toutes les analyses multivariées ont été faites à l'aide du logiciel PRIMER v7 (Clarke & Warwick 2001, Clarke & Gorley 2006).

Un seuil de significativité de 0,05 a été fixé pour toutes les analyses statistiques.

# 3 Résultats 2022 – Année 1 après recharge

## 3.1 Caractérisation des sédiments

Le contenu en matière organique des sédiments est très faible atteignant un maximum de 2,59% (valeur moyenne de 0,37 ± 0,26 %). Une analyse de variance a montré des effets significatifs des interactions entre les facteurs année et site ainsi que site et profil (**Tableau 3**). Les résultats des tests *a posteriori* sont présentés aux **Figure 2** et **Figure 3.**

**Tableau 3.** Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) testant l'effet de l'année, du site, du profil et leurs interactions sur le contenu en matière organique des sédiments de Pointe-aux-Outardes. Les valeurs significatives sont présentées en caractère gras.

| Sources de variation | dl | SC | *F-ratio* | *p* |
|---|---|---|---|---|
| Année | 1 | 0,7849 | 20,8813 | **< 0,0001** |
| Site | 5 | 5,6111 | 29,8561 | **< 0,0001** |
| Profil | 2 | 6,0613 | 80,6293 | **< 0,0001** |
| An × Si | 5 | 1,0844 | 5,7700 | **< 0,0001** |
| An × Pr | 2 | 0,1968 | 2,6172 | 0,0740 |
| Si × Pr | 10 | 1,7509 | 4,6581 | **< 0,0001** |
| An × Si × Pr | 10 | 0,4582 | 1,2190 | 0,2759 |
| Résidus | 494 | 18,5683 | | |
| Total | 529 | 34,6721 | | |

dl = degré de liberté; SC = somme des carrés

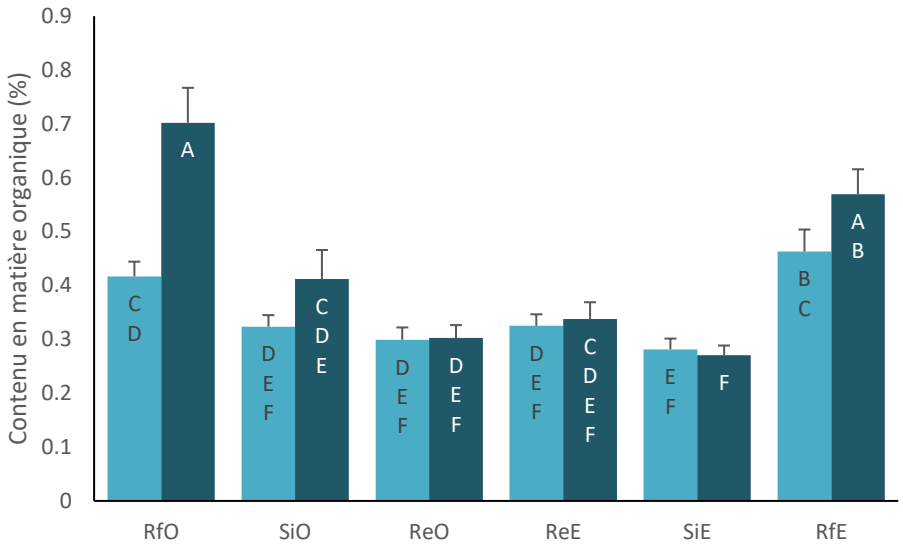



**Figure 2.** Contenu en matière organique des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour l'interaction entre les facteurs années (2021 en ■ et 2022 en ■) et sites : référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey.

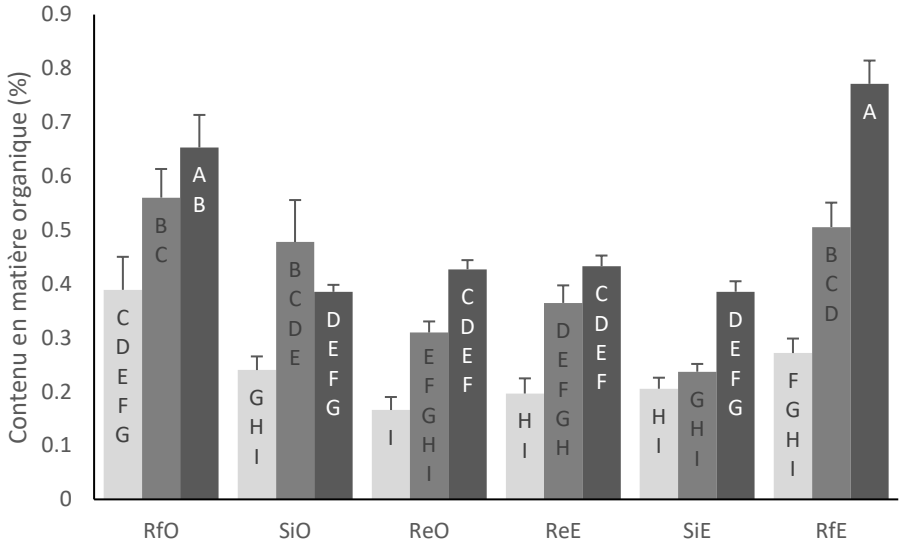



**Figure 3.** Contenu en matière organique des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour l'interaction entre les facteurs profil (■ = rive, ■ = équilibre et ■ = large) et sites : référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey.

Les analyses granulométriques ont montré que les sédiments prélevés sont majoritairement des sables fins (125 – 250 µm; Wentworth 1922) et qu'il y a peu de variation dans la composition des sédiments d'un site à l'autre (**Figure 4 à Figure 9**). Aussi, à l'intérieur d'un même site, les sédiments varient peu suivant le profil.

Cependant, les analyses multivariées ont montré des différences significative de la composition des sédiments pour chaque source de variation (**Tableau 4**). De plus, la granulométrie des sédiments est significativement différente entre 2021 et 2022 pour chaque combinaison des facteurs *site* et *profil*, sauf pour les échantillons prélevés au profil équilibre du site sous influence est (SiE, **Tableau 5**).

**Tableau 4.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'année, du site, du profil et leurs interactions sur les classes de taille des sédiments de Pointe-aux-Outardes en 2021 et 2022. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis, sur des données brutes et sur des données transformées en présence/absence.

| Sources de variation | dl | SC | *pseudo-F* | *p(perm)* |
|---|---|---|---|---|
| Année | 1 | 70181 | 86,9980 | **0,0001** |
| Site | 5 | 82556 | 20,4680 | **0,0001** |
| Profil | 2 | 70597 | 43,7570 | **0,0001** |
| An × Si | 5 | 58581 | 14,5240 | **0,0001** |
| An × Pr | 2 | 19006 | 11,7800 | **0,0001** |
| Si × Pr | 10 | 62711 | 7,7738 | **0,0001** |
| An × Si × Pr | 10 | 42092 | 5,2178 | **0,0001** |
| Résidus | 494 | 398510 | | |
| Total | 529 | 807770 | | |

**Tableau 5.** Résultats des analyses *a posteriori* permettant d'identifier les différences significatives entre les années 2021 et 2022 pour l'interaction *site × profil*. La distribution des classes de taille des sédiments a été calculée à partir de la matrice de similarité de la distance euclédienne.

| Site | Profil | *t* | *p(perm)* |
|---|---|---|---|
| RfO | Rive | 2,0587 | **0,0130** |
| | Équilibre | 2,9490 | **0,0015** |
| | Large | 2,7987 | **0,0004** |
| SiO | Rive | 3,0378 | **0,0006** |
| | Équilibre | 1,9023 | **0,0293** |
| | Large | 2,4047 | **0,0016** |
| ReO | Rive | 7,2481 | **0,0001** |
| | Équilibre | 3,4252 | **0,0004** |
| | Large | 2,8107 | **0,0006** |

| Site | Profil | *t* | *p(perm)* |
|---|---|---|---|
| RfE | Rive | 2,1604 | **0,0059** |
| | Équilibre | 3,3716 | **0,0001** |
| | Large | 4,5546 | **0,0001** |
| SiE | Rive | 2,6317 | **0,0033** |
| | Équilibre | 0,8403 | 0,4333 |
| | Large | 3,4089 | **0,0002** |
| ReE | Rive | 6,1478 | **0,0001** |
| | Équilibre | 3,1687 | **0,0017** |
| | Large | 2,2747 | **0,0161** |

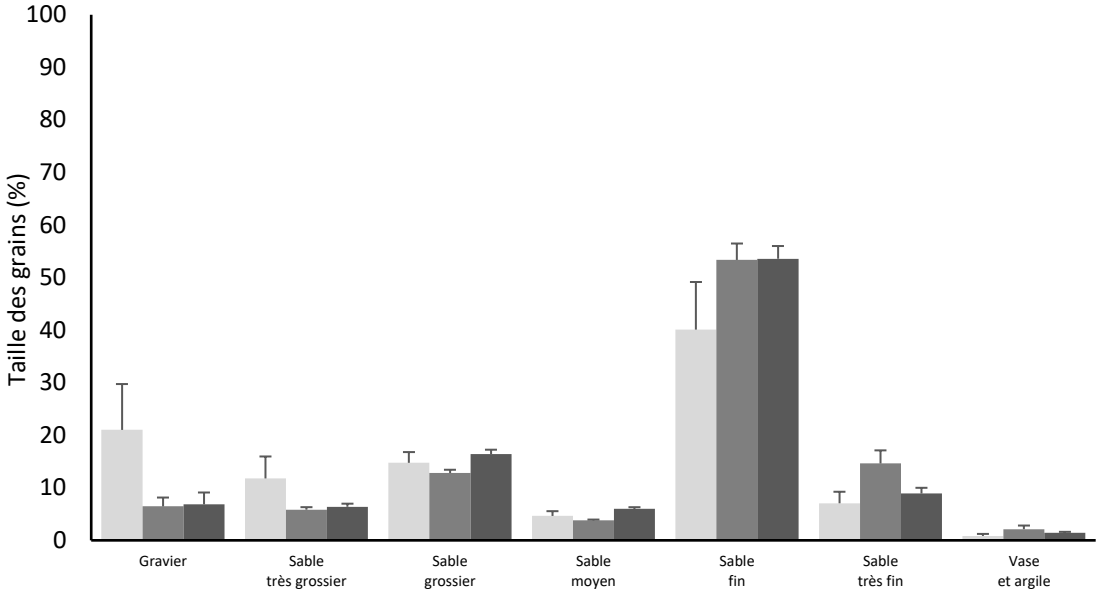



**Figure 4.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils ( = rive, = équilibre et = large) au site référence ouest (RfO) de Pointe-aux-Outardes en 2022.

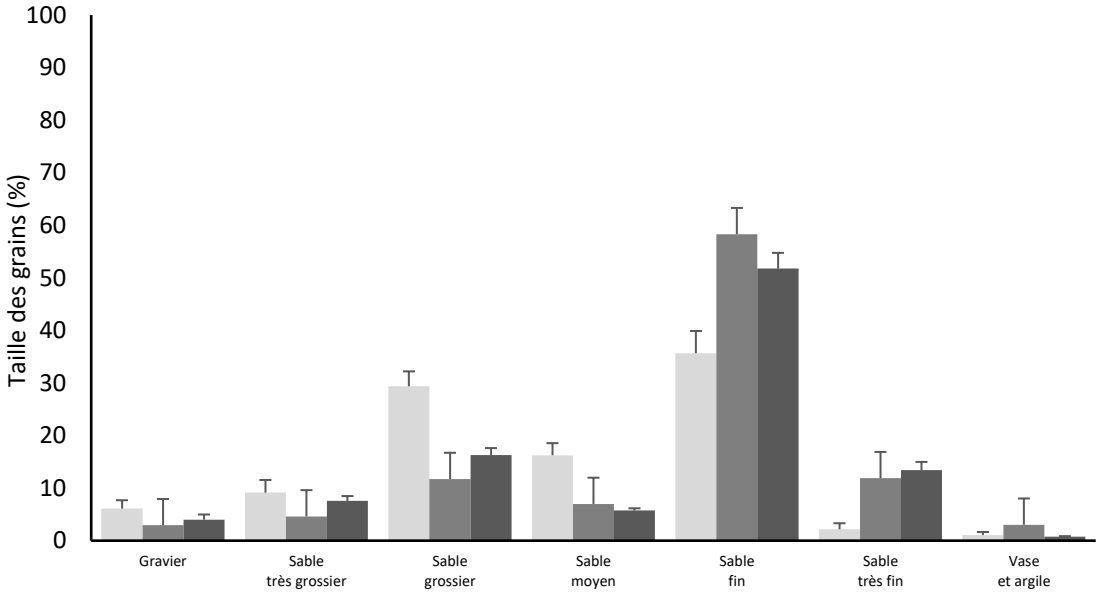



**Figure 5.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils ( = rive, = équilibre et = large) au site sous influence ouest (SiO) de Pointe-aux-Outardes en 2022.

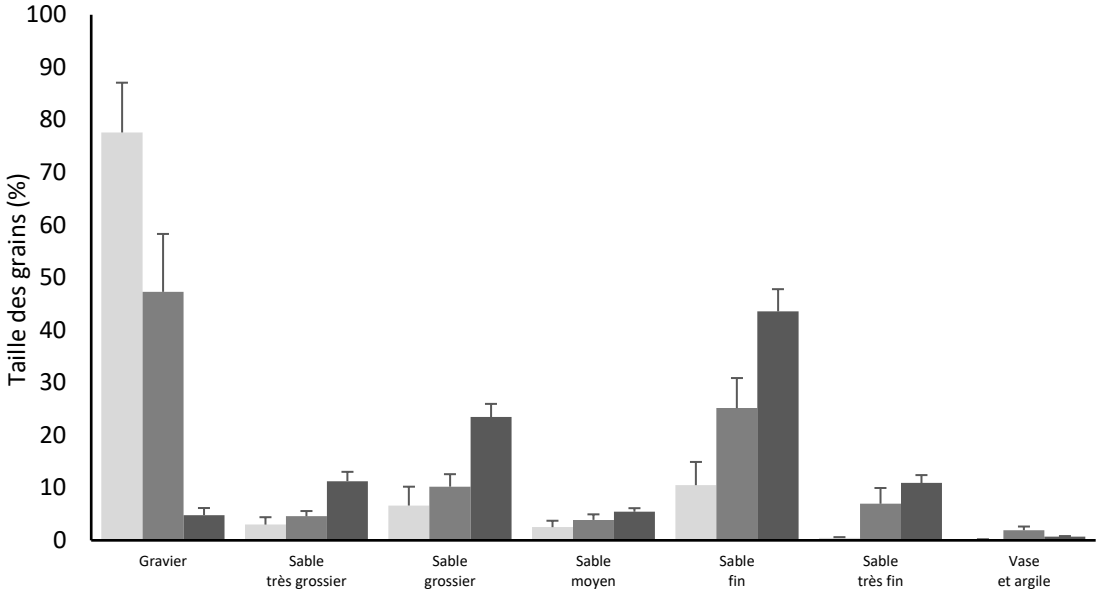



**Figure 6.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils ( = rive, = équilibre et = large) au site recharge ouest (ReO) de Pointe-aux-Outardes en 2022.

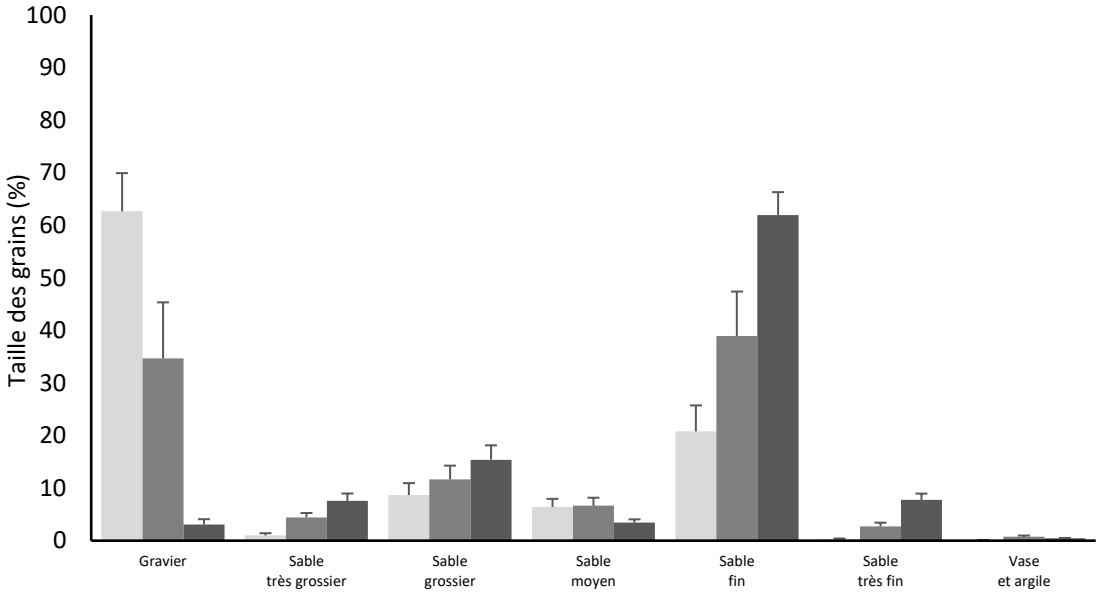



**Figure 7.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils ( = rive, = équilibre et = large) au site recharge est (ReE) de Pointe-aux-Outardes en 2022.

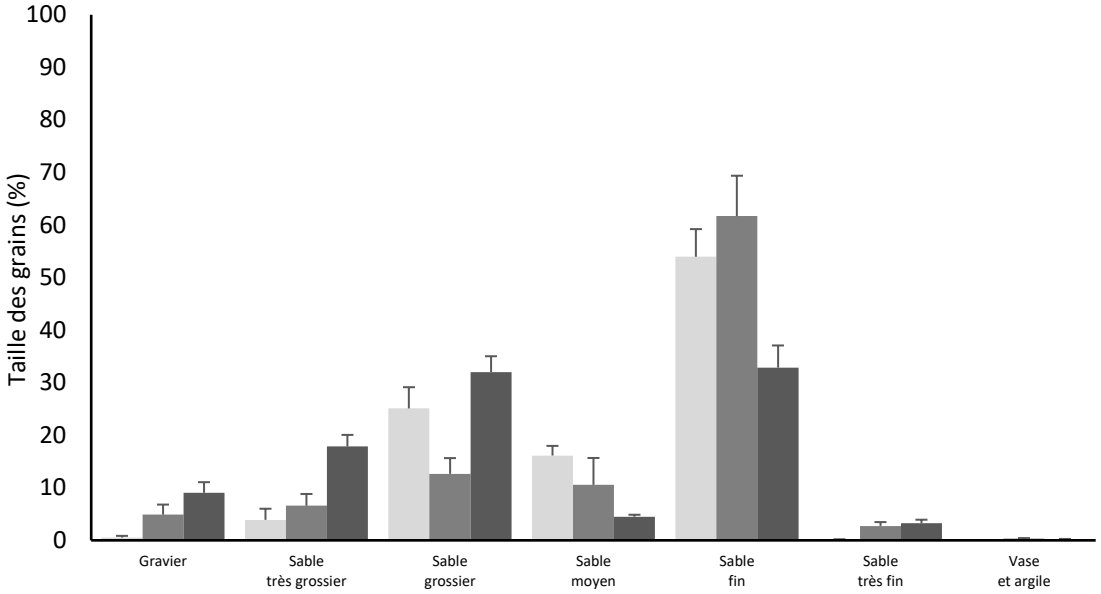



**Figure 8.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils ( = rive, = équilibre et = large) au site sous influence est (SiE) de Pointe-aux-Outardes en 2022.

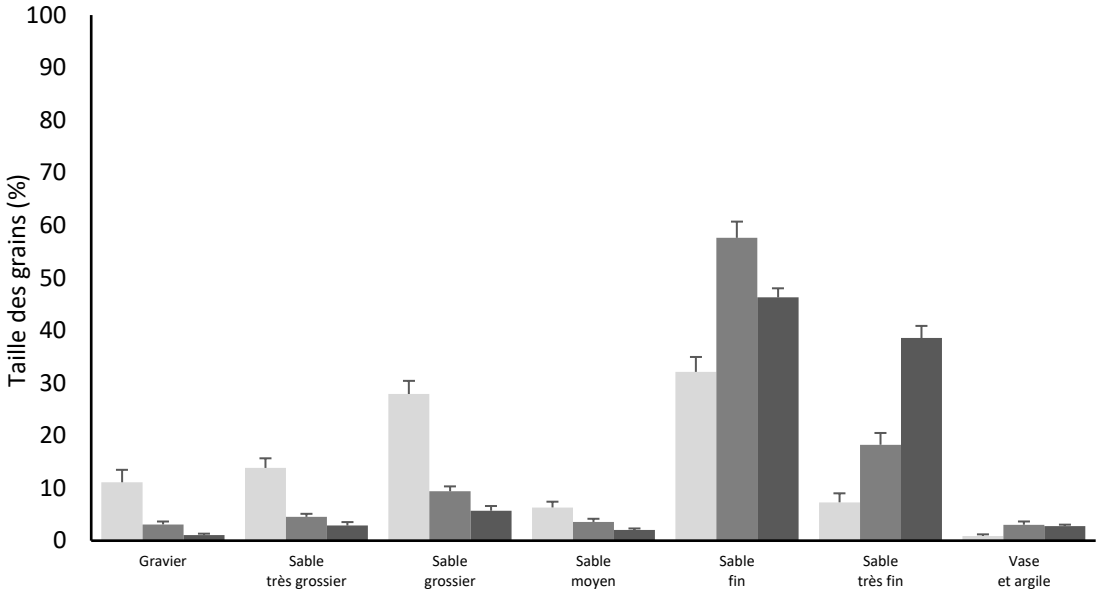



**Figure 9.** Proportion des différentes classes de taille des sédiments (%, moyenne ± erreur-type) pour les profils ( = rive, = équilibre et = large) au site référence est (RfE) de Pointe-aux-Outardes en 2022.

## 3.2 Caractérisation des assemblages benthiques

Au total, 71 taxons ont été inventoriés lors de l'échantillonnage des 6 sites de Pointe-aux-Outardes en juin 2022 : 29 taxons sont des annélides, 25 sont des arthropodes, 1 seul taxon est un cnidaire et 13 sont des mollusques. Des individus des phylum Nematoda, Nemertea et Platyhelminthes ont aussi été inventoriés.

Le niveau taxonomique d'identification peut être limité par :

- la décalcification des coquilles, lorsque les individus sont très petits ;
- des caractéristiques déterminantes impossibles à observer parce que les organismes sont incomplets et/ou abimés ;
- la préservation non adaptée à certains groupes spécifiques, notamment Nematoda et Nemertea.

Aucune espèce aquatique envahissante n'a été répertoriée, ni aucune nouvelle espèce ou nouvelle mention pour le Saint-Laurent.

Parmi les stations inventoriées, aucune espèce végétale n'a été observée à l'exception d'une espèce végétale de zostère (*Zostera marina*) dont la présence a été notée à 15 stations.

Alors que les oligochètes étaient dominants en termes d'abondance relative en 2021, ils arrivent en 2$^{e}$ place en 2022, tout juste après les nématodes, et presque ex aqueo avec l'amphipode *Gammarus* sp. et le cumacé *Pseudoleptocuma minus* (**Figure 10**). En termes de biomasse relative, ce sont les bivalves *Mya arenaria* et *Macoma balthica* qui dominent, comme c'était le cas en 2021 (**Figure 11**).

En 2022, cinq taxons sont présents dans plus de 50% des stations (coefficient de fréquence $\geq$ 50, taxons dits fréquents, Annexe 1) : *Macoma balthica*, Oligochaeta, Nematoda, *Gammarus* sp. et *Mya arenaria*. Douze taxons sont dits communs et possèdent un coefficient de fréquence de 11 à 49 % : *Pseudoleptocuma minus*, *Hediste diversicolor*, Harpacticoida, *Wecomedon nobilis*, Nemertea, *Eteone longa*, *Pygospio elegans*, *Gammarus lawrencianus*, *Parexogone hebes*, *Ameroculodes edwardsi*, *Mesodesma arctatum* et *Ophelia bicornis*. Les 51 autres taxons inventoriés en 2022 étaient présents à $\leq$ 10 % des stations ; ces taxons sont dits rares (**Annexe 1**).

Cet important nombre de taxons rares est conséquent à la courbe d'accumulation d'espèces présentées à la **Figure 12**. Cette courbe, malgré les deux années d'étude, n'atteint toujours pas un plateau, indiquant que plusieurs espèces restent à identifier sur ce site.

En 2022, la richesse spécifique atteint 24 taxons/station, avec une moyenne de 6,7 ± 4,6 taxons/station. L'abondance d'organismes, toutes espèces confondues, atteint 119 939 individus/m$^2$ (moyenne de 9614 ± 17261 individus/m$^2$), alors que la biomasse totale atteint 187 226 g/m$^2$ (moyenne de 987 ± 11606 g/m$^2$). L'indice d'équitabilité de Pielou (J') moyen est de 0,69 ± 0,18 et l'indice de diversité de Shannon-Wiener (H') est de 1,12 ± 0,59.

Il est à noter qu'aucun organisme n'a été dénombré à 23 stations des sites recharge ouest (11 stations), recharge est (9 stations), référence ouest (1 station) et référence est (2 stations).

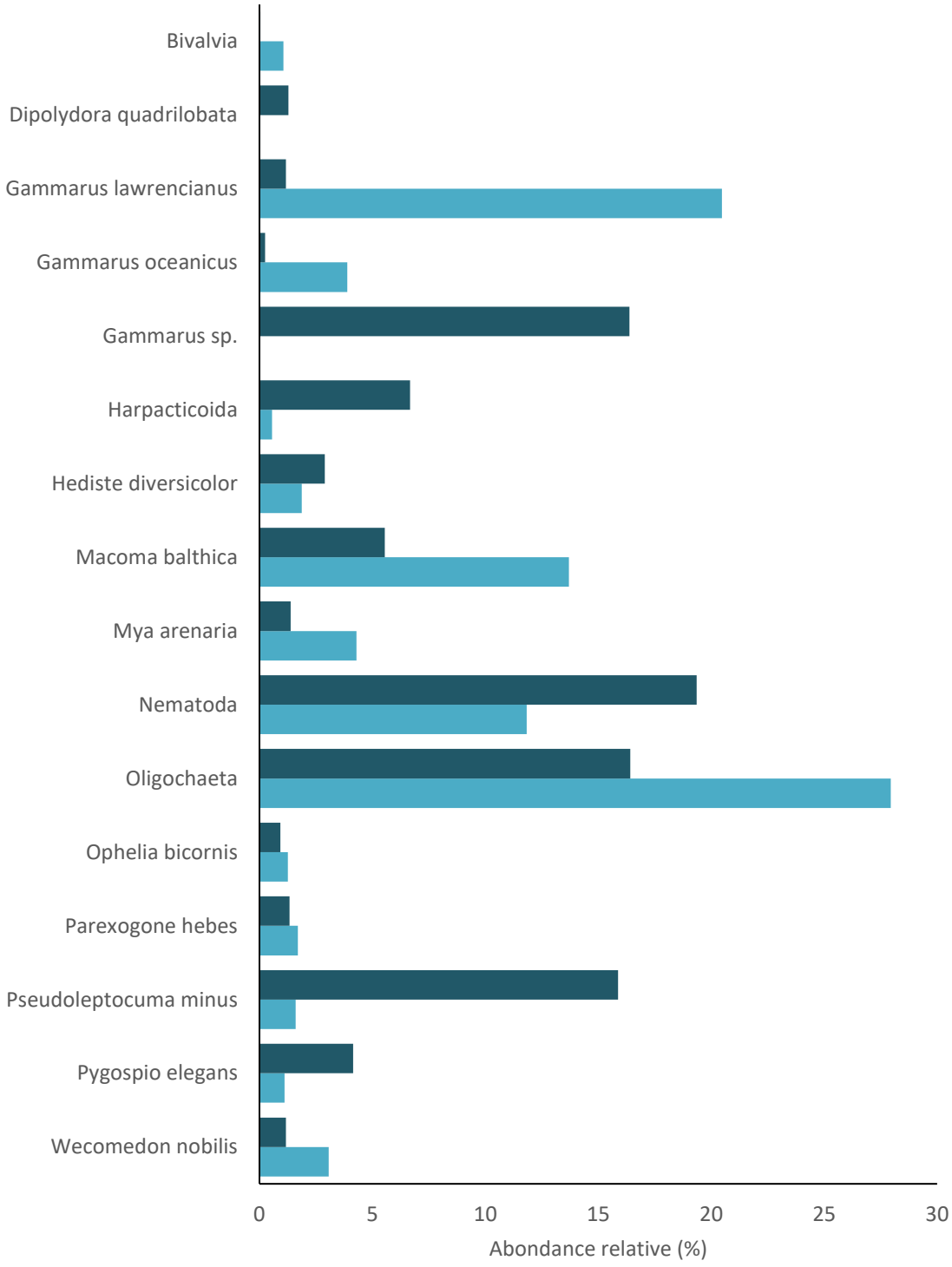



**Figure 10.** Abondance relative (%) des invertébrés benthiques prélevés à Pointe-aux-Outardes en 2021 ( ■ ) et 2022 ( ■ ).

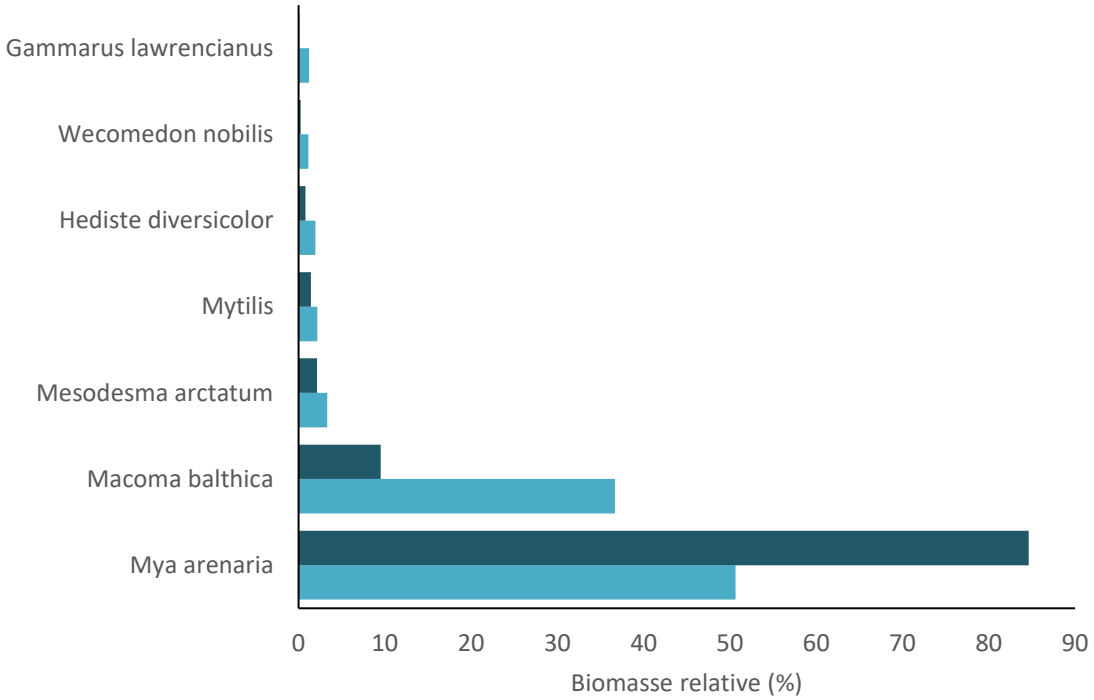



**Figure 11.** Biomasse relative (%) des invertébrés benthiques prélevés à Pointe-aux-Outardes en 2021 ( ) et 2022 ( ).

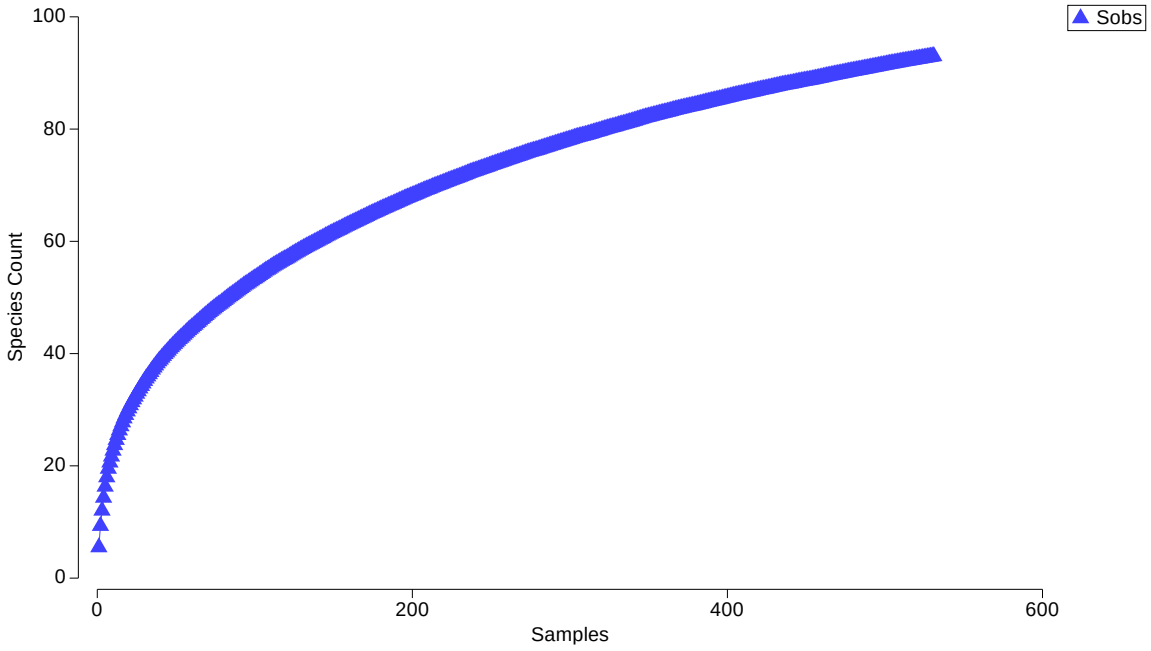



**Figure 12.** Courbe d'accumulation d'espèces en fonction du nombre d'échantillons pour les travaux faits à Pointe-aux-Outardes en 2021 et 2022.

### 3.2.1 Analyses univariées

Des analyses univariées ont été réalisées sur les caractéristiques des communautés : richesse spécifique (nombre de taxons/station), abondance totale (nombre d'individus/$m^2$) biomasse totale (g/$m^2$), indice d'équitabilité de Pielou et indice de diversité de Shannon-Wiener. Les analyses de variance montrent une interaction significative entre les facteurs *année*, *site* et *profil* et ce, pour toutes les caractéristiques univariées à l'exception de l'indice d'équitabilité (**Tableau 6**). Pour y voir plus clairement, les analyses ont été refaites distinctement pour chaque site.

**Richesse spécifique (Figure 13)**
**RfO :** La richesse spécifique est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021. Elle est aussi significativement moindre aux stations rive comparativement aux stations à l'équilibre et au large.
**SiO :** La richesse spécifique est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021. Elle est aussi significativement moindre aux stations rive comparativement aux stations à l'équilibre et au large.
**ReO :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; la richesse augmente de la rive vers le large et elle est significativement plus grande en 2022 comparativement à 2021 aux stations au large.
**ReE :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; la richesse augmente de la rive vers le large et elle est significativement plus grande en 2022 comparativement à 2021 aux stations au large.
**SiE :** La richesse spécifique est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021. Elle est aussi significativement moindre aux stations rive et équilibre comparativement aux stations au large.

**RfE :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; la richesse augmente de la rive vers le large et elle est significativement plus grande en 2022 comparativement à 2021 aux stations au large.

**Abondance (Figure 14)**
**RfO :** L'abondance est significativement moindre aux stations rive comparativement aux stations à l'équilibre et aux stations au large.
**SiO :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; l'abondance aux stations rive est significativement plus grande en 2022 comparativement à 2021.
**ReO :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; l'abondance augmente de la rive vers l'équilibre puis se maintien vers le large en 2021 alors qu'elle augmente de la rive vers le large en 2022.
**ReE :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; l'abondance augmente de la rive vers l'équilibre puis se maintien vers le large en 2021 alors qu'elle augmente de la rive vers le large en 2022.
**SiE :** L'abondance est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021. Elle est aussi significativement moindre aux stations rive et équilibre comparativement aux stations au large.
**RfE :** L'abondance est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021. Elle est aussi significativement moindre aux stations rive et équilibre comparativement aux stations au large.

**Biomasse (Figure 15)**
**RfO :** La biomasse est significativement moindre aux stations rive comparativement aux stations à l'équilibre et aux stations au large.
**SiO :** La biomasse est significativement moindre aux stations rive comparativement aux stations à l'équilibre et aux stations au large.
**ReO :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; la biomasse augmente de la rive vers l'équilibre puis se maintien vers le large en 2021 alors qu'elle est similaire aux stations rive et à l'équilibre puis augmente vers le large en 2022.
**ReE :** La biomasse est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021. Elle augmente aussi significativement de la rive vers le large.
**SiE :** La biomasse augmente significativement de la rive vers le large.
**RfE :** La biomasse est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021. Elle augmente aussi significativement de la rive vers l'équilibre puis se maintien vers le large.

**Équitabilité (Figure 16)**
**RfO :** L'équitabilité est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021.
**SiO :** L'équitabilité est significativement plus grande en 2021 qu'en 2022.
**ReO :** L'équitabilité est significativement plus grande près de la rive, comparativement aux stations à l'équilibre.
**ReE :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; l'équitabilité diminue de la rive vers l'équilibre puis augmente vers le large en 2021 alors qu'elle ne varie pas suivant le profil en 2022.
**SiE :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; l'équitabilité diminue de la rive vers l'équilibre puis augmente vers le large en 2021 alors qu'elle ne varie pas suivant le profil en 2022.
**RfE :** L'équitabilité est significativement plus grande près de la rive, comparativement aux stations à l'équilibre et à celles au large.

**Diversité (Figure 17)**

**RfO :** La diversité est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021. Elle est aussi significativement moindre aux stations rive comparativement aux stations à l'équilibre et au large.

**SiO :** La diversité est significativement moindre près de la rive, comparativement aux stations à l'équilibre et aux stations au large.

**ReO :** La diversité augmente significativement de la rive vers le large.

**ReE :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil*; la diversité aux stations à l'équilibre est significativement plus grande que celles aux mêmes stations en 2021 alors qu'il n'y a pas de différence entre les années à la rive et au large.

**SiE :** Il y a une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil;* la diversité aux stations à l'équilibre est significativement plus grande que celles aux mêmes stations en 2021 alors qu'il n'y a pas de différence entre les années à la rive et au large.

**RfE :** La diversité est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021. Elle augmente aussi significativement de la rive vers le large.

**Tableau 6.** Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de l'année, du site, du profil et leurs interactions sur les caractéristiques univariées des assemblages benthiques soit la richesse spécifique, l'abondance, la biomasse, l'indice d'équitabilité de Pielou (J') et l'indice de diversité de Shannon-Wiener (H').

| Sources de variation | dl | Richesse spécifique | | | Indice d'équitabilité (J') | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SC | *F-ratio* | *p* | SC | *F-ratio* | *p* |
| Année | 1 | 597,4281 | 85,8430 | **< 0,0001** | 0,0002 | 0,0063 | 0,9370 |
| Site | 5 | 203,4146 | 5,8456 | **< 0,0001** | 0,5345 | 3,5961 | **0,0034** |
| Profil | 2 | 3612,781 | 259,5559 | **< 0,0001** | 0,9191 | 15,4598 | **< 0,0001** |
| An × Si | 5 | 124,2090 | 3,5695 | **0,0035** | 0,7952 | 5,3501 | **< 0,0001** |
| An × Pr | 2 | 184,0926 | 13,2259 | **< 0,0001** | 1,0366 | 17,4351 | **< 0,0001** |
| Si × Pr | 10 | 587,4176 | 8,4405 | **< 0,0001** | 0,7949 | 2,6741 | **0,0036** |
| An × Si × Pr | 10 | 155,9430 | 2,2407 | **0,0147** | 0,5311 | 1,7865 | 0,0611 |
| Résidus | 494 | 3438,014 | | | 11,9501 | | |
| Total | 529 | 9015,593 | | | 16,4185 | | |

| Sources de variation | dl | $Log_{10}$ (Abondance + 1) | | | Indice de diversité (H') | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SC | *F-ratio* | *p* | SC | *F-ratio* | *p* |
| Année | 1 | 7,7347 | 10,5891 | **0,0012** | 7,8635 | 40,1198 | **< 0,0001** |
| Site | 5 | 56,4687 | 15,4616 | **< 0,0001** | 4,1186 | 4,2027 | **0,0009** |
| Profil | 2 | 203,5899 | 139,3613 | **< 0,0001** | 72,5578 | 185,0954 | **< 0,0001** |
| An × Si | 5 | 29,1524 | 7,9822 | **< 0,0001** | 3,5019 | 3,5733 | **0,0035** |
| An × Pr | 2 | 6,0662 | 4,1524 | **0,0163** | 2,4146 | 6,1596 | **0,0023** |
| Si × Pr | 10 | 57,7779 | 7,9100 | **< 0,0001** | 12,4129 | 6,3331 | **< 0,0001** |
| An × Si × Pr | 10 | 35,8007 | 4,9013 | **< 0,0001** | 5,7650 | 2,9413 | **0,0013** |
| Résidus | 494 | 360,8369 | | | 96,8245 | | |
| Total | 529 | 761,4836 | | | 205,7167 | | |

| Sources de variation | dl | $Log_{10}$ (Biomasse + 1) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | SC | *F-ratio* | *p* |
| Année | 1 | 1,2304 | 2,9247 | 0,0879 |
| Site | 5 | 86,1028 | 40,9344 | **< 0,0001** |
| Profil | 2 | 379,2567 | 450,7596 | **< 0,0001** |
| An × Si | 5 | 9,6783 | 4,6012 | **0,0004** |
| An × Pr | 2 | 1,3147 | 1,5625 | 0,2106 |
| Si × Pr | 10 | 34,4684 | 8,1934 | **< 0,0001** |
| An × Si × Pr | 10 | 7,9096 | 1,8802 | **0,0456** |
| Résidus | 494 | 207,8190 | | |
| Total | 529 | 737,5277 | | |

*dl = degré de liberté*
*SC = somme des carrés*

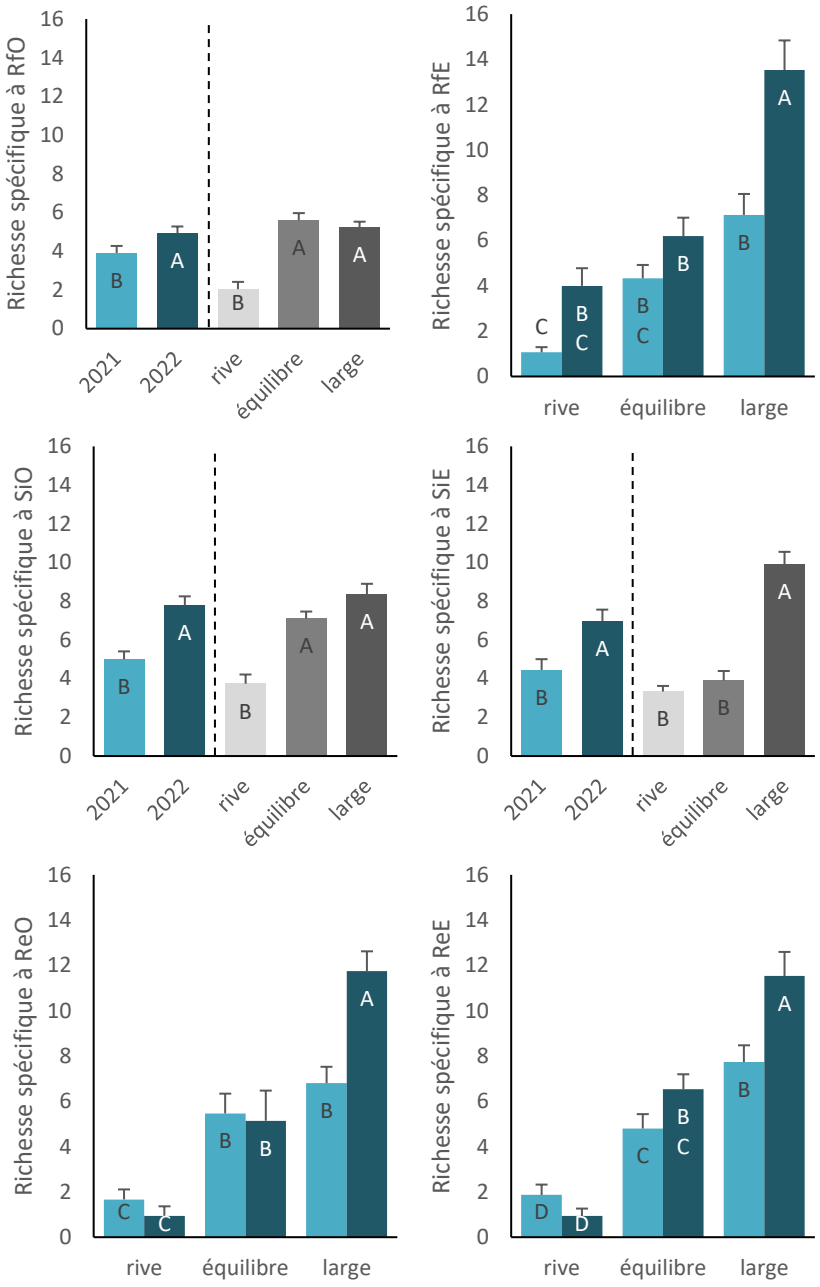



**Figure 13.** Richesse spécifique des assemblages benthiques (nombre de taxons/station, moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 ( ■ ) et 2022 ( ■ ) pour les profils près de la rive ( ■ , n = 15/site), à l'équilibre ( ■ , n = 15/site) et vers le large ( ■ , n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. La barre pointillée indique que 2 tests de comparaisons multiples ont été fait, l'un pour le facteur *année* et l'autre pour le facteur *profil*.

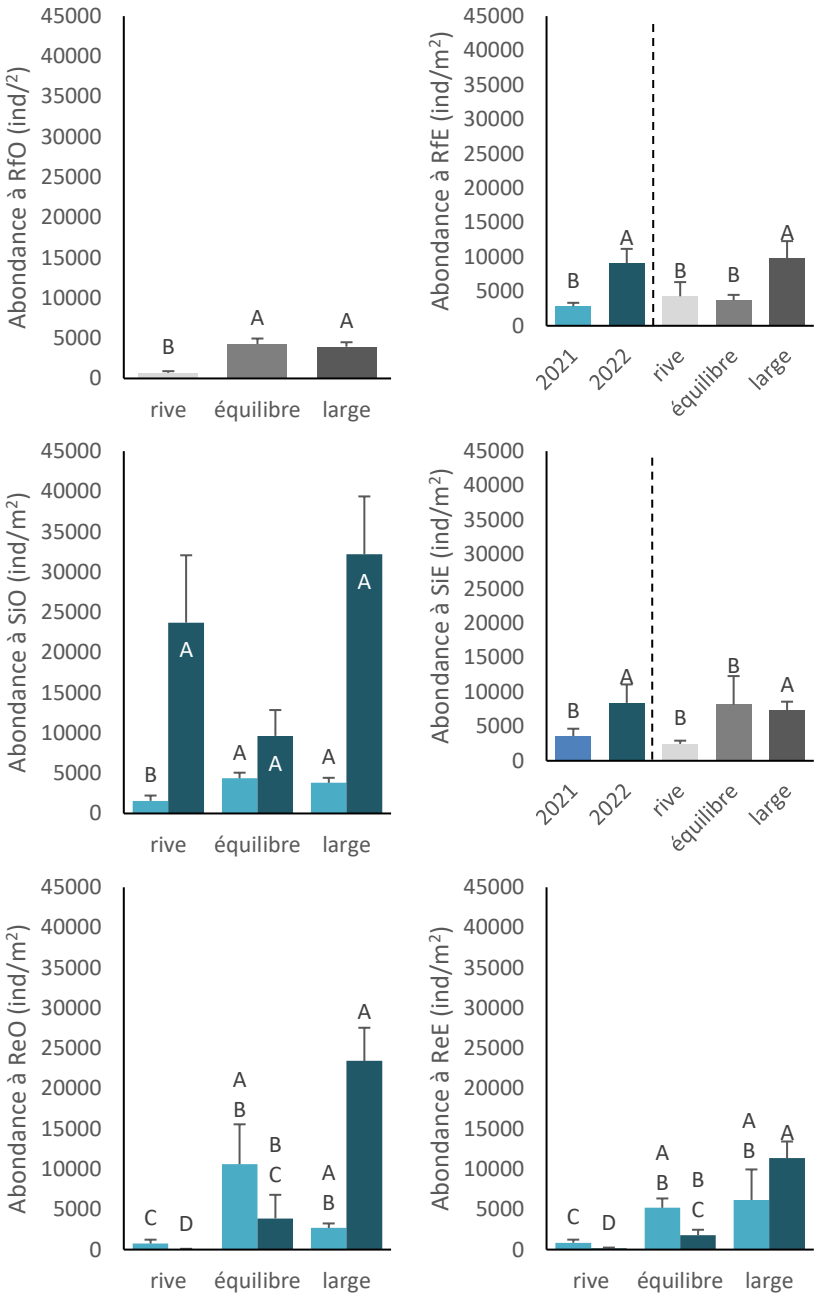



**Figure 14.** Abondance totale (nombre total d'individus/m$^2$, moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 ( ) et 2022 ( ) pour les profils près de la rive ( , n = 15/site), à l'équilibre ( , n = 15/site) et vers le large ( , n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. La barre pointillée indique que 2 tests de comparaisons multiples ont été fait, l'un pour le facteur *année* et l'autre pour le facteur *profil*.

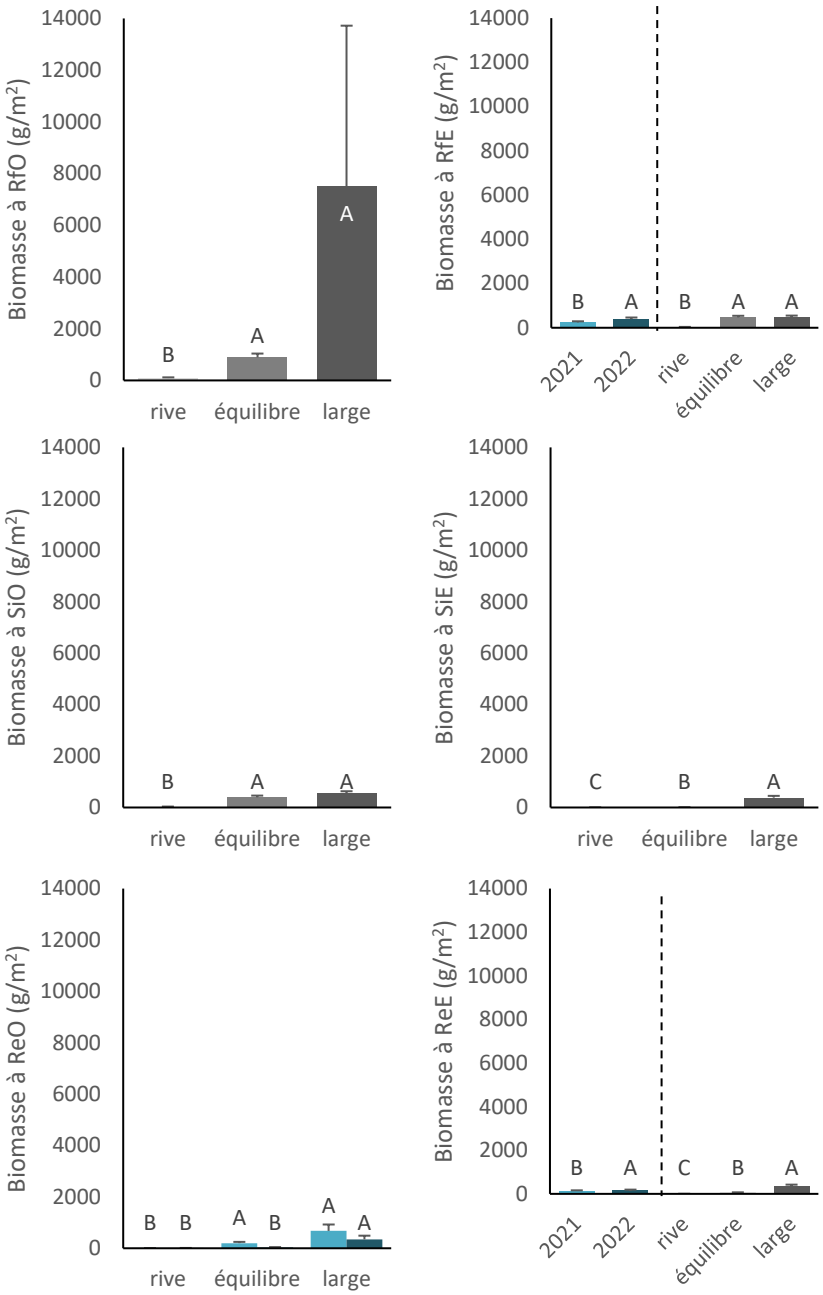



**Figure 15.** Biomasse totale (g/m$^2$, moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 (■) et 2022 (■) pour les profils près de la rive (■, n = 15/site), à l'équilibre (■, n = 15/site) et vers le large (■, n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. La barre pointillée indique que 2 tests de comparaisons multiples ont été fait, l'un pour le facteur *année* et l'autre pour le facteur *profil*.

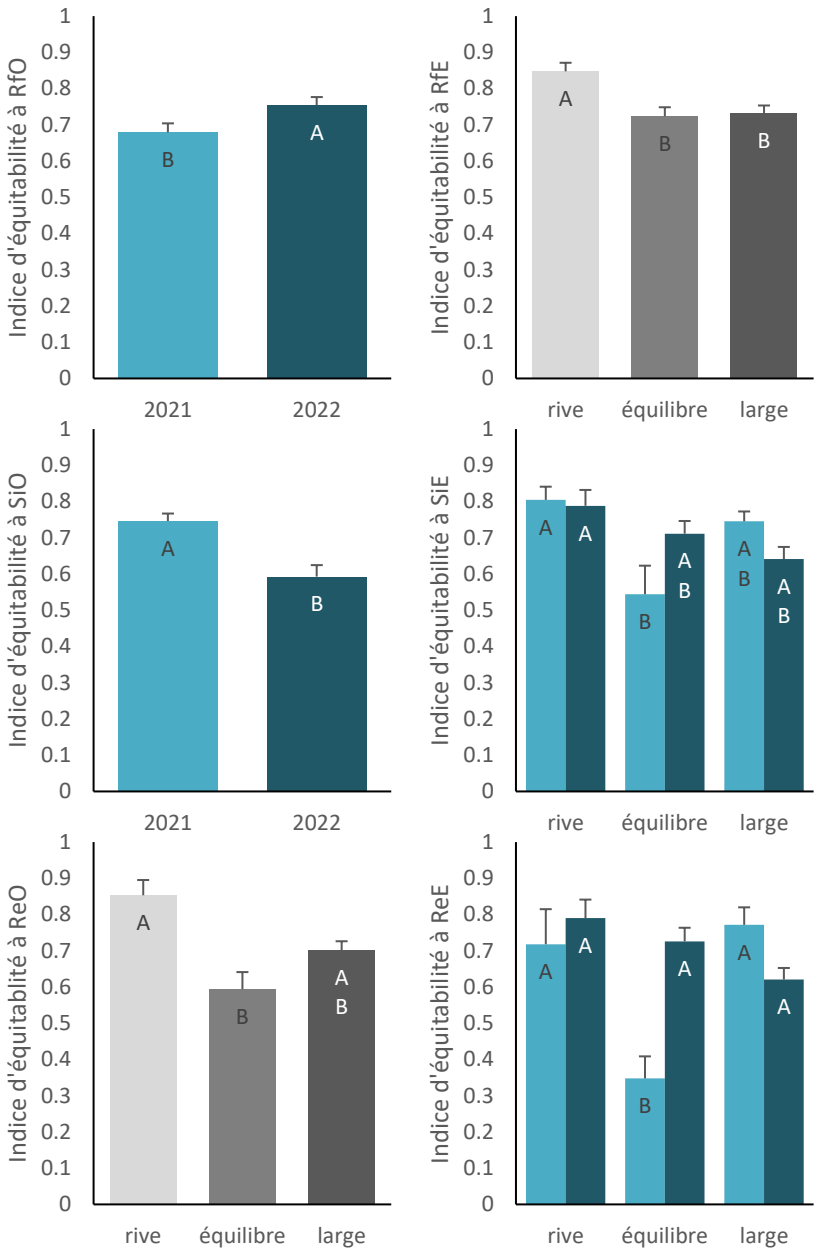



**Figure 16.** Indice d'équitabilité de Pielou (moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 (■) et 2022 (■) pour les profils près de la rive (■, n = 15/site), à l'équilibre (■, n = 15/site) et vers le large (■, n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey.

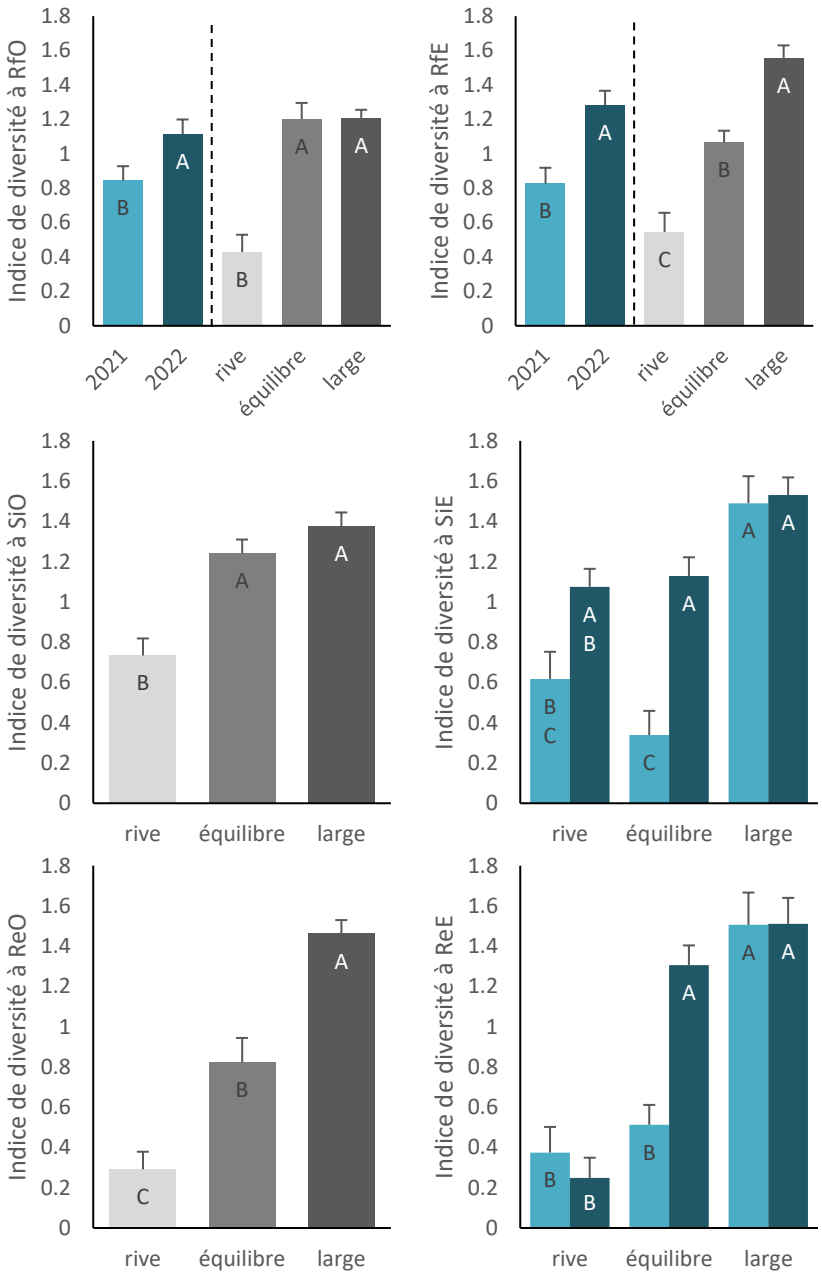



**Figure 17.** Indice de diversité de Shannon-Wiener (moyenne ± erreur-type) aux sites référence ouest (ReO), sous influence ouest (SiO), recharge ouest (ReO), recharge est (ReE), sous influence est (SiE) et référence est (RfE) en 2021 (■) et 2022 (■) pour les profils près de la rive (■, n = 15/site), à l'équilibre (■, n = 15/site) et vers le large (■, n = 15/site). Les différentes lettres représentent les différences significatives entre les facteurs, telles que révélées par le test de comparaisons multiples de Tukey. La barre pointillée indique que 2 tests de comparaisons multiples ont été fait, l'un pour le facteur *année* et l'autre pour le facteur *profil*.

### 3.2.2 Analyses multivariées

Les analyses de variance par permutation ont été faites sur les bases de données d'abondances d'organismes.

Les analyses multivariées ont révélé des différences significatives des assemblages d'organismes benthiques pour toutes les sources de variation et leurs interactions, et ce, lorsque les analyses sont faites sur les données brutes d'abondance tout comme lorsqu'elles sont faites sur des données transformées en présence/absence (**Tableau 7**).

Les analyses *a posteriori* indiquent que (**Tableau 8**) :

- aux sites recharge ReO et ReE, les assemblages benthiques des années 2021 et 2022 sont significativement différents pour chacun des profils;
- aux sites sous influence SiO et SiE, les assemblages benthiques des années 2021 et 2022 sont significativement différents pour chacun des profils, sauf pour le profil rive du site SiE;
- au site référence RfO, les assemblages benthiques des années 2021 et 2022 sont significativement différents pour le profil large;
- au site référence RfE, les assemblages benthiques des années 2021 et 2022 sont significativement différents pour les profils équilibre et large;
- il n'y a pas de différence significative entre les assemblages benthiques des années 2021 et 2022 aux stations de la rive et à l'équilibre au site RfO ni aux stations de la rive du site RfE.

**Tableau 7.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'année, du site, du profil et leurs interactions sur les abondances des assemblages d'invertébrés benthiques de Pointe-aux-Outardes en 2021 et 2022. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis, sur des données brutes et sur des données transformées en présence/absence.

| Sources de variation | dl | Données brutes | | | Présence/absence | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SC | *pseudo-F* | *p(perm)* | SC | *pseudo-F* | *p(perm)* |
| Année | 1 | 58153 | 19,1890 | **0,0001** | 73489 | 38,4560 | **0,0001** |
| Site | 5 | 159430 | 10,5210 | **0,0001** | 135660 | 14,1980 | **0,0001** |
| Profil | 2 | 142480 | 23,5070 | **0,0001** | 19860 | 51,9640 | **0,0001** |
| An × Si | 5 | 39630 | 2,6154 | **0,0001** | 21737 | 2,2749 | **0,0003** |
| An × Pr | 2 | 44730 | 7,3797 | **0,0001** | 16727 | 4,3766 | **0,0002** |
| Si × Pr | 10 | 12130 | 4,0026 | **0,0001** | 94896 | 4,9658 | **0,0001** |
| An × Si × Pr | 10 | 75318 | 2,4853 | **0,0001** | 42065 | 2,2012 | **0,0001** |
| Résidus | 495 | 1500100 | | | 945930 | | |
| Total | 530 | 2151600 | | | 1540000 | | |

**Tableau 8.** Résultats des analyses *a posteriori* permettant d'identifier les différences significatives entre les années 2021 et 2022 pour l'interaction *site* × *profil*. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis, sur des données brutes d'abondances.

| Site | Profil | *t* | *p(perm)* |
|---|---|---|---|
| RfO | Rive | 1,3055 | 0,1105 |
| | Équilibre | 1,4633 | 0,0521 |
| | Large | 2,8540 | **0,0001** |
| SiO | Rive | 1,7171 | **0,0028** |
| | Équilibre | 2,0041 | **0,0002** |
| | Large | 2,8634 | **0,0001** |
| ReO | Rive | 2,0421 | **0,0091** |
| | Équilibre | 1,6346 | **0,0006** |
| | Large | 3,4761 | **0,0001** |

| Site | Profil | *t* | *p(perm)* |
|---|---|---|---|
| RfE | Rive | 1,1402 | 0,2109 |
| | Équilibre | 1,7837 | **0,0034** |
| | Large | 2,0363 | **0,0005** |
| SiE | Rive | 1,3206 | 0,0630 |
| | Équilibre | 1,8695 | **0,0001** |
| | Large | 1,9264 | **0,0006** |
| ReE | Rive | 1,5261 | **0,0386** |
| | Équilibre | 2,3143 | **0,0001** |
| | Large | 2,9210 | **0,0001** |

## 3.3 Synthèse des résultats de l'année 1 après les travaux de recharge

- Le contenu en matière organique des sédiments est très faible.

- Les sédiments sont majoritairement des sables fins (125 – 250 µm, Wentworth 1922) pour tous les sites, à l'excetion des sites ReE et ReO qui montrent également une forte proportion de gravier. Une variation important dans la composition des sédiments d'un site à l'autre et suivant le profil pour un même site est observée en 2022.

- La granulométrie des sédiments est significativement différente entre 2021 et 2022 pour chaque combinaison des facteurs *site* et *profil*, sauf pour les échantillons prélevés au profil équilibre du site sous influence est.

- 71 taxons d'invertébrés benthiques ont été inventorié.

- L'espèce végétale *Zostera marina* a été obersée à 15 stations. Aucune espèce aquatique envahissante n'a été répertoriée, ni aucune nouvelle espèce ou nouvelle mention pour le Saint-Laurent.

- En termes d'abondance relative, les nématodes dominent, suivi des oligoghètes qui sont presque ex aqueo avec l'amphipode *Gammarus* sp. et le cumacé *Pseudoleptocuma minus*. En 2021, ce sont les oligochètes qui dominaient en termes d'abondance relative.

- En termes de biomasse relative, ce sont les bivalves *Mya arenaria* et *Macoma balthica* qui dominent, comme c'était le cas en 2021.

- Observation de 5 taxons (*Macoma balthica*, Oligochaeta, Nematoda, *Gammarus* sp. et *Mya arenaria*) dits fréquents (présents dans plus de 50% des stations).

- Observation de 12 taxons (*Pseudoleptocuma minus*, *Hediste diversicolor*, Harpacticoida, *Wecomedon nobilis*, Nemertea, *Eteone longa*, *Pygospio elegans*, *Gammarus lawrencianus*, *Parexogone hebes*, *Ameroculodes edwardsi*, *Mesodesma arctatum* et *Ophelia* bicornis) sont dits communs (présents dans 11 à 49 % des stations)

- Observation de 51 taxons dits rares (présents à $\leq$ 10 % des stations)

- La courbe d'accumulation d'espèces, malgré les deux années d'étude, n'atteint toujours pas un plateau, indiquant que plusieurs espèces restent à identifier sur ce site.

- La richesse spécifique augmente généralement de la rive vers le large. La richesse spécifique est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021 aux sites RfO, SiO et SiE alors qu'une interaction significative entre les facteurs *année* et *profil* est observée aux sites RfE, ReO, ReE.

- Les tendances par rapport à l'abondance relative varient d'un site à l'autre et d'une année à l'autre. L'abondance est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021 pour les sites SiE et RfE.

- Les tendances par rapport la biomasse varient d'un site à l'autre et d'une année à l'autre. La biomasse est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021 pour le site ReE et RfE.

- Les tendances par rapport à l'équitabilité (indice de Pielou) varient d'un site à l'autre et d'une année à l'autre.

- Les tendances par rapport à la diversité (indice de Shannon-Wiener) varient d'un site à l'autre et d'une année à l'autre. La diversité est significativement plus grande en 2022 qu'en 2021 pour les sites RfO et RfE.

- Les analyses multivariées montrent des différences significatives des assemblages d'organismes benthiques pour toutes les sources de variation et leurs interactions. En résumé, les résultats indiquent :

    - Sites ReO et ReE : Assemblages benthiques significativement différents pour chacun des profils pour les deux années
    - Sites SiO et SiE : Assemblages benthiques significativement différents pour chacun des profils, sauf pour le profil rive du site SiE, pour les deux années
    - Site RfO : Assemblages benthiques significativement différents pour le profil large pour les deux années
    - Site RfE : Assemblages benthiques significativement différents pour les profils équilibre et large pour les deux années
    - Aucune différence significative entre les assemblages benthiques aux stations de la rive et à l'équilibre au site RfO ni aux stations de la rive du site RfE pour les deux années

# 4 Compilation des principaux des résulats du suivi biologique

Les principaux résultats pour les deux années (avant recharge et année 1 après recharge) sont synthétisés au **Tableau 9**.

**Tableau 9.** Synthèse des principaux résultats pour chacune des années du suivi biologique de Pointe-aux-Outardes.

| | Avant recharge | Année 1 après recharge |
|---|---|---|
| **Portrait des sédiments** | | |
| **Contenu en MO** | Très faible | Très faible |
| **Type de sédiments** | Majoritairement du sable fins; peu de variation d'un site à l'autre | Majoritairement du sable fins; beaucoup de variation d'un site à l'autre<br>Granolumétrie significativement différente entre 2021 et 2021 |
| **Portrait des algues** | | |
| **Espèces d'algues** | Aucune plante observée<br>Aucune observation d'espèce envahissante, ni nouvelle mention | Présence de zostères à 15 stations<br>Aucune observation d'espèce envahissante, ni nouvelle mention |
| **Portrait des assemblages benthiques** | | |
| **Nombre de taxons** | 57 taxons | 71 taxons |
| **Espèces envahissantes** | Aucune | Aucune |
| **Nouvelles mentions** | Aucune | Aucune |
| **Espèces dominantes** | AR : Oligochètes, *Gammarus lawrencianus*, *Macoma balthica* et nématodes<br>BR : *Mya arenaria* et *Macoma balthica* | AR : Nématodes, Oligochètes, *Gammarus* sp. et *Pseudoleptocuma minus*<br>BR : *Mya arenaria* et *Macoma balthica* |
| **Espèces fréquentes** (> 50% des stations) | 2 taxons; *Macoma balthica* et *Mya arenaria* | 5 taxons; *Macoma balthica*, Oligochaeta, Nematoda, *Gammarus* sp. et *Mya arenaria* |
| **Espèces communes** (11%-49% des stations) | 10 taxons | 12 taxons |
| **Espèces rares** (≤10% des stations) | 45 taxons | 51 taxons |
| **Richesse spécifique** | Augmente généralement de la rive vers le large | Augmente généralement de la rive vers le large |
| **Abondance** | Augmente de la rive vers la zone à l'équilibre puis diminue ou continue d'augmenter de la zone d'équilibre vers le large, selon les sites | Significativement plus grande en 2022 qu'en 2021 pour les sites SiE et RfE |
| **Biomasse** | Augmente généralement de la rive vers le large | Variable d'un site à l'autre et d'une année à l'autre. |
| **Indice d'équitabilité de Pielou** | Augmente généralement de la rive vers le large | Variable d'un site à l'autre et d'une année à l'autre. |
| **Indice de diversité de Shannon-Wiener** | Augmente de la rive vers le large à tous les sites, sauf au site SiE | Variable d'un site à l'autre et d'une année à l'autre. |
| **Analyses multivarées** | Différences significatives selon l'interaction entre les facteurs site et profil | Différences significatives des assemblages d'organismes benthiques pour toutes les sources de variation et leurs interactions |

# 5 Références


Anderson MJ (2001) A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. Austral Ecology 26: 32-46.

Archambault P, Banwell K, Underwood AJ (2001) Temporal variation in the structure of intertidal assemblages following the removal of sewage. Marine Ecology Progress Series 222: 51-62.

Baca BJ, Lankford TE (1988) Myrtle beach nourishment project: biological monitoring. Report to City of Myrtle Beach, South Carolina.

Baptist MJ, Tamis JE, Borsje BW, van der Werf JJ et Holzhauer H (2009) Review of the geomorphological, benthic ecological and biogeomorphological effects of nourishments on the shoreface and surf zone of the Dutch coast. Wageningen IMARES report C113/08, Deltares report Z4582.50: 68 p.

Bergquist DC, Crowe SE (2009) Using historical data and meta-analyses to improve monitoring and management of beach nourishment in South Carolina. Final report prepared by the South Carolina Department of Natural Resources, Marine Resources Research Institute. SC Department of Health and Environmental Control (SCDHEC), Charleston, SC. 99 pp.

Bernatchez P, Dubois JM (2004) Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. Géographie physique et Quaternaire, 58(1), 45-71.

Bernatchez P, Drejza S, Dugas S (2012) Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des îles de la Madeleine. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, juillet 2012, 71 p. + annexes.

Bernatchez P, Dugas S, Fraser C, Da Silva L (2015) Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis à Ouranos, mai 2015, 53 p. + annexes.

Bird E, Lewis N (2015) Beach Renourishment. Springer Briefs in Earth Sciences. 137 p.

Carley JT, Cox RJ (2017) Guidelines for Sand Nourishment Science and Synthesis for NSW. NSW Office of Environment and Heritage's Coastal Processes and Responses Node -Technical Report 263. 54 p.

Clarke DG, Wilber DH (2000) Assessment of potential impacts of dredging operations due to sediment resuspension. DOER Technical Note Collection (ERDCTN-DOER-E9), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg.

Clarke KR, Gorley RN (2006) PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, UK, 190 p.

Clarke KR, Warwick RM (1994) Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory. Plymouth, UK, 141 pp.

Clarke KR, Warwick RM (2001) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth, UK.

Corriveau M, Bernatchez P, Belzile M, Senneville S (2018) Influence de la réduction du couvert de glace sur l'érosion côtière en bordure des infrastructures routières de l'Est du Québec dans un contexte de changements climatiques (CC04.1) : Rapport final. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, avril 2019, 457 p. + annexes

Defeo O, McLachlan A, Schoeman DS, Schlacher TA and others (2009) Threats to sandy beach ecosystems: a review. Estuar Coast Shelf Sci 81: 1−12.

Downes BJ, Barmuta LA, Fairweather PG, Faith DP, Keough MJ, Lake PS, Mapstone BD, Quinn GP (2002) Monitoring ecological impacts: concepts and practices in flowing waters. Cambridge University Press, Cambridge, 434 pp.

DREAL Languedoc-Roussillon (2011) Document de cadrage préalable des études d'impact relatives aux opérations côtières de protection du littoral sableux du Languedoc-Roussillon. 209 p.

Drejza S, Friesinger S, Bernatchez P (2014) Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Caractérisation des côtes, dynamique hydrosédimentaire et exposition des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion, Est du Québec, Volume I, Projet X008.1. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, mars 2014, 226 p. + annexes.

DesJarlais C, Allard M, Blondot A, Bourque A, Chaumont D, Gosselin P, Houle D, Larrivée C, Lease N, Roy R, Savard JP, Turcotte R, Villeneuve C (2010) Savoir s'adapter aux changements climatiques. (En ligne). Ouranos, Montréal, Québec. 128 p.
Fraschetti S, Bianchi CN, Terlizzi A, Fanelli G, Morri C, Boer F (2001) Spatial variability and human disturbance in shallow subtidal hard substrate assemblages: a regional approach. Marine Ecology Progress Series 212: 1-12.

Forbes DL, Parkes GS, Manson GK, Ketch LA (2004) Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence. Marine Geology, 210(1-4): 169-204.

Glasby TM (1997) Analysing data from post-impact studies using asymmetrical analyses of variance: a case study of epibiota on marinas. Australian Journal of Ecology 22: 448-459.

Greene, K (2002) Beach nourishment a review of the biological and physical impacts. ASMFC, Habitat Management Series no. 7. Atlantic States Marine Fisheries Commission, Washington, DC. 179 p.

Groupe-conseil LaSalle, "Pointe-aux-Outardes – Modélisation numérique des vagues, des courants littoraux et du transport sédimentaire », Mars 2013, Rapport GCL R.1832, Rapport présenté à DESSAU

Hackney CT, Posey MH, Ross SW, Norris AR (1996) A Review and Synthesis Of Data: Surf Zone Fishes and Invertebrates in the South Atlantic Bight and the Potential Impacts from Beach Nourishment. Prepared for the U.S. Army Corps of Engineers, Wilmington District, Wilmington, NC.

Hébert S (2005) Le Saint-Laurent - La qualité des eaux du fleuve 1990-2003, Québec, Ministère de l'Environnement, 25 p.

Jutte PC, Van Dolah FR, Gayes TP (2002) Recovery of benthic communities following offshore dredging, Myrtle Beach, South Carolina. Shore and Beach, 70: 25-30.

Lasalle|NHC (2020) Projet de protection du littoral de Pointe-aux-Outardes. Modélisation numérique des conditions hydro-sédimentaires. Rapport R.0235, projet 08003855.

Leclerc M, Dupuis P (2008) Recherche d'une solution économique et durable à la problématique d'érosion littorale à Pointe-aux-Outardes, Pour le compte de la Ville de Pointe-aux-Outardes et du Ministère de la Sécurité publique, en collaboration avec OURANOS et divers partenaires. Rapport de recherche INRS-ÉTÉ R990 et Aquapraxis Inc. 10136-100.

Plan d'action Saint-Laurent (2014) Données générales sur le Saint-Laurent. Milieu marin. (En ligne). Plan d'action Saint-Laurent. [http://planstlaurent.qc.ca/fr/gestion_integree/forum_saint_laurent/octobre_2014/documentation/donnees_generales_sur_le_saint_laurent_milieu_marin.html]

Plan d'action Saint-Laurent (2019) Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2019. Environnement et Changement climatique Canada, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Parcs Canada, Pêches et Océans Canada, Stratégie Saint-Laurent. 60 pages.

Pearson TH, Rosenberg R (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanography and Marine Biology. An Annual Review 16: 229-311.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2017) Direction de l'évaluation environnementale des projets hydriques et industriels. Rapport d'analyse environnementale de la demande de soustraction à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement du projet de protection et de réhabilitation du littoral de l'Anse du Sud sur le territoire de la Ville de Percé. Dossier 3216-02-052. 43 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2015) Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, Direction des politiques de l'eau, 131 p.

Ministère de la Sécurité Publique (MSP) (2012) S'adapter au littoral maritime - Ouvrages de protection. Gouvernement du Québec. [https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/publications/erosion/erosion-ouvrage_protection.pdf]

Naqvi SM, Pullen EJ (1982) Effects of Beach Nourishment and Borrowing on Marine Organisms. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg MS. Miscellaneous rept. no. 82-14.

Nelson WG (1985) Physical and Biological Guidelines for Beach Restoration Projects. Part I. Biological Guidelines. Report No. 76. Florida Sea Grant College, Gainesville.

Peterson CH, Bishop MJ (2005) Assessing the environmental impacts of beach nourishment. BioScience, 55(10): 887-896.

Peterson CH, Bishop MJ, D'Anna LM, Johnson GA (2014) Multi-year persistence of beach habitat degradation from nourishment using coarse shelly sediments. Sci. Total Environ. 487: 481-492.

Quinn GP, Keough MJ (2002) Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, Cambridge, 560 p.

Ropars Y (2020) « Érosion des berges – Réalisation de travaux de stabilisation – Pointe-aux-Outardes – Dossier P031725 », Mai 2013, Rapport remis à DESSAU.

Rosenberg R, Blomqvist M, Nilsson HC, Cederwall H, Dimming A (2004) Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union water framework directive. Marine Pollution Bulletin 49: 728-739.

Rosov B, Bush S, Briggs TR, Elko N (2016) The state of understanding the impacts of beach nourishment activities on infaunal communities. Shore & Beach. Vol. 84, No. 3: 51-55.

Speybroeck J, Bonte D, Courtens W, Gheskiere T, Grootaert P, Maelfait JP, Mathys M, Provoost S, Sabbe K, Stienen E, Van Lancker V, Vincx M, Degraer S (2006) Beach nourishment: An ecologically sound coastal defence alternative? A review. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 16: 419 - 435.

Underwood AJ (1993a) How not to design an environmental monitoring program: a case study from the FAC (up in Botany Bay). Australian Biologist 6:194-197.

Underwood AJ (1993b) The mechanics of spatially replicated sampling programs to detect environmental impacts in a variable world. Australian Journal of Ecology 18: 99-116.

Underwood AJ (1994) Things environmental scientists (and statisticians) need to know to receive (and give) better statistical advice. In: Fletcher DJ, Manly BFJ (eds) Statistics in ecology and environmental monitoring. University of Otago Press, Dunedin, pp. 33-61.

Underwood AJ (2000a) Importance of experimental design in detecting and measuring stresses in marine populations. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery 7: 3-24.

Underwood AJ (2000b) Trying to detect impacts in marine habitats: comparisons with suitable reference areas. In: Sparks T (ed) Statistics in Ecotoxicology. John Wiley & Sons, LTD, Toronto, pp. 279-308.

Underwood AJ, Chapman MG (2003) Power, precaution, Type II error and sampling design in assessment of environmental impacts. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 296: 49-70.

US Army Corps of Engineers (USACE) (2014) Final integrated feasability report and environmental impact statement; coastal storm damage reduction. Appendix I cumulative impacts. Bogue Banks, Carteret County, North Carolina. 28 p.

Wentworth CK (1922) A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol. 30: 377-392.

WoRMS Editorial Board (2021) World Register of Marine Species. [http://www.marinespecies.org] doi:10.14284/170.

Wooldridge T, Henter HJ, Kohn JR (2016) Effects of beach replenishment on intertidal invertebrates: a 15 month, eight beach study. Estuarine, Coastal and Shelf Science. Volume 175: 24-33.

**Annexe 1.** Taxons inventoriés à Pointe-aux-Outardes aux été 2021 et 2022 avec leur abondance relative (Ab rel, %), leur biomasse relative (Bio rel, %) et leur coefficient de fréquence (CF, %).

| | | | | | | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aphia** | **Phylum** | **Classe** | **Ordre** | **Famille** | **Nom** | **Ab rel** | **Ab rel** | **Bio rel** | **Bio rel** | **CF** | **CF** |
| 102866 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Oedicerotidae | *Aceroides (Aceroides) latipes* | < 0,01 | 0,45 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 3,07 |
| 136340 | Arthropoda | Malacostraca | Tanaidacea | Akanthophoreidae | *Akanthophoreus gracilis* | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 158019 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Talitridae | *Americorchestia megalophthalma* | 0,04 | < 0,01 | 0,06 | < 0,01 | 1,11 | < 0,01 |
| 547000 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Oedicerotidae | *Ameroculodes edwardsi* | < 0,01 | 0,63 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 12,64 |
| 981 | Annelida | Polychaeta | Terebellida | Ampharetidae | *Ampharetidae* | 0,03 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,74 | < 0,01 |
| 1135 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | | *Amphipoda* | 0,62 | 0,09 | 0,36 | 0,01 | 3,33 | 1,53 |
| 882 | Annelida | | | | *Annelida* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,77 |
| 129868 | Annelida | Polychaeta | | Arenicolidae | *Arenicola marina* | < 0,01 | 0,02 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,77 |
| 106215 | Arthropoda | Thecostraca | Balanomorpha | Balanidae | *Balanus crenatus* | < 0,01 | 0,01 | 0,18 | 0,23 | < 0,01 | 2,30 |
| 105 | Mollusca | Bivalvia | | | *Bivalvia* | 1,06 | 0,04 | < 0,01 | < 0,01 | 14,07 | 2,68 |
| 146744 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Calliopiidae | *Calliopiidae* | 0,04 | 0,10 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | 2,68 |
| 102178 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Calliopiidae | *Calliopius laeviusculus* | 0,03 | < 0,01 | < 0,01 | 0,05 | 0,74 | < 0,01 |
| 158056 | Arthropoda | Malacostraca | Decapoda | Cancridae | *Cancer borealis* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 158057 | Arthropoda | Malacostraca | Decapoda | Cancridae | *Cancer irroratus* | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 2,68 |
| 129211 | Annelida | Polychaeta | | Capitellidae | *Capitella* | 0,05 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,74 | 0,77 |
| 921 | Annelida | Polychaeta | | Capitellidae | *Capitellidae* | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 919 | Annelida | Polychaeta | Terebellida | Cirratulidae | *Cirratulidae* | 0,04 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 1,11 | < 0,01 |
| 238377 | Annelida | Polychaeta | Terebellida | Pectinariidae | *Cistenides granulata* | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 131121 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Dipolydora quadrilobata* | 0,01 | 1,28 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | 4,98 |
| 131124 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Dipolydora socialis* | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 123082 | Echinodermata | Echinoidea | | | *Echinoidea* | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 574096 | Mollusca | Gastropoda | Littorinimorpha | Hydrobiidae | *Ecrobia truncata* | 0,12 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 1,11 | < 0,01 |
| 157884 | Arthropoda | Malacostraca | Isopoda | Idoteidae | *Edotia montosa* | 0,01 | 0,06 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | 3,83 |
| 129443 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Phyllodocidae | *Eteone* | 0,04 | < 0,01 | 0,02 | 0,03 | 1,11 | < 0,01 |
| 130613 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Phyllodocidae | *Eteone flava* | 0,32 | 0,32 | < 0,01 | < 0,01 | 8,15 | 19,54 |
| 130616 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Phyllodocidae | *Eteone longa* | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 157820 | Arthropoda | Malacostraca | Cumacea | Leuconidae | *Eudorellopsis integra* | 0,01 | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |

**Annexe 1 (suite).** Taxons inventoriés à Pointe-aux-Outardes aux été 2021 et 2022 avec leur abondance relative (Ab rel, %), leur biomasse relative (Bio rel, %) et leur coefficient de fréquence (CF, %).

| | | | | | | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aphia** | **Phylum** | **Classe** | **Ordre** | **Famille** | **Nom** | **Ab rel** | **Ab rel** | **Bio rel** | **Bio rel** | **CF** | **CF** |
| 1207 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | | *Gammaridea* | 0,85 | < 0,01 | 1,22 | 0,11 | 2,96 | < 0,01 |
| 101537 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Gammaridae | *Gammarus* | 20,47 | 1,17 | 0,30 | 0,05 | 37,78 | 16,09 |
| 158093 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Gammaridae | *Gammarus lawrencianus* | 3,89 | 0,25 | < 0,01 | 0,04 | 10,74 | 7,66 |
| 102285 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Gammaridae | *Gammarus oceanicus* | < 0,01 | 16,38 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 55,56 |
| 101 | Mollusca | Gastropoda | | | *Gastropoda* | 0,08 | 0,07 | < 0,01 | < 0,01 | 1,48 | 3,45 |
| 1484 | Arthropoda | Arachnida | Trombidiformes | Halacaridae | *Halacaridae* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 1,15 |
| 1102 | Arthropoda | Copepoda | Harpacticoida | | *Harpacticoida* | 0,56 | 6,67 | < 0,01 | < 0,01 | 2,59 | 31,03 |
| 102973 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Phoxocephalidae | *Harpinia plumosa* | < 0,01 | 0,01 | 1,94 | 0,82 | < 0,01 | 0,38 |
| 152302 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Nereididae | *Hediste diversicolor* | 1,88 | 2,90 | < 0,01 | < 0,01 | 28,52 | 37,16 |
| 946 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Hesionidae | *Hesionidae* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 102412 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Ischyroceridae | *Ischyrocerus anguipes* | 0,04 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,74 | < 0,01 |
| 1131 | Arthropoda | Malacostraca | Isopoda | | *Isopoda* | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 264171 | Arthropoda | Malacostraca | Isopoda | Janiridae | *Jaera (Jaera) albifrons* | 0,03 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,74 | < 0,01 |
| 264171 | Arthropoda | Malacostraca | Isopoda | Janiridae | *Jaera (Jaera) albifrons* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 138135 | Mollusca | Gastropoda | Littorinimorpha | Littorinidae | *Littorina* | 0,04 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,74 | 0,38 |
| 140263 | Mollusca | Gastropoda | Littorinimorpha | Littorinidae | *Littorina obtusata* | 0,07 | 0,27 | 0,02 | 0,02 | 1,85 | 4,6 |
| 140264 | Mollusca | Gastropoda | Littorinimorpha | Littorinidae | *Littorina saxatilis* | < 0,01 | 0,02 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,77 |
| 382213 | Mollusca | Gastropoda | Littorinimorpha | | *Littorinimorpha* | < 0,01 | 0,13 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 2,68 |
| 101395 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Lysianassidae | *Lysianassidae* | 0,05 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 141579 | Mollusca | Bivalvia | Cardiida | Tellinidae | *Macoma balthica* | 13,70 | 5,55 | 36,65 | 9,51 | 64,44 | 61,69 |
| 131135 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Marenzellaria viridis* | 0,16 | 0,12 | 0,06 | 0,04 | 3,7 | 6,13 |
| 156805 | Mollusca | Bivalvia | Venerida | Mesodesmatidae | *Mesodesma arctatum* | 0,15 | 0,09 | 3,32 | 2,14 | 12,59 | 12,26 |
| 129313 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Microphthalmidae | *Microphthalmus* | 0,04 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | 0,38 |
| 130174 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Microphthalmidae | *Microphthalmus sczelkowii* | 0,03 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | 0,38 |
| 101694 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Oedicerotidae | *Monoculodes* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,77 |
| 140430 | Mollusca | Bivalvia | Myida | Myidae | *Mya arenaria* | 4,30 | 1,38 | 50,65 | 84,63 | 59,63 | 54,02 |
| 149668 | Arthropoda | Malacostraca | Mysida | | *Mysida* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 138228 | Mollusca | Bivalvia | Mytilida | Mytilidae | *Mytilus* | 0,23 | 0,08 | 2,18 | 1,41 | 9,63 | 7,66 |

**Annexe 1 (suite).** Taxons inventoriés à Pointe-aux-Outardes aux été 2021 et 2022 avec leur abondance relative (Ab rel, %), leur biomasse relative (Bio rel, %) et leur coefficient de fréquence (CF, %).

| | | | | | | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aphia** | **Phylum** | **Classe** | **Ordre** | **Famille** | **Nom** | **Ab rel** | **Ab rel** | **Bio rel** | **Bio rel** | **CF** | **CF** |
| 799 | Nematoda | | | | *Nematoda* | 11,83 | 19,35 | 0,04 | 0,01 | 41,48 | 57,85 |
| 152391 | Nemertea | | | | *Nemertea* | 0,37 | 0,67 | 0,38 | 0,31 | 4,44 | 25,67 |
| 129370 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Nephtyidae | *Nephtys* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 157499 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Nephtyidae | *Nephtys bucera* | 0,53 | < 0,01 | 0,11 | < 0,01 | 0,74 | < 0,01 |
| 130355 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Nephtyidae | *Nephtys caeca* | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | 0,77 |
| 101400 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Oedicerotidae | *Oedicerotidae* | < 0,01 | 0,05 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 1,92 |
| 2036 | Annelida | Clitellata | | | *Oligochaeta* | 27,94 | 16,42 | 0,13 | 0,02 | 45,19 | 60,92 |
| 130490 | Annelida | Polychaeta | | Opheliidae | *Ophelia bicornis* | 1,26 | 0,93 | 0,16 | 0,01 | 6,67 | 11,88 |
| 924 | Annelida | Polychaeta | | Opheliidae | *Opheliidae* | 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | 0,38 |
| 123084 | Echinodermata | Ophiuroidea | | | *Ophiuroidea* | 0,03 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 101633 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Tryphosidae | *Orchomene* | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 1078 | Arthropoda | Ostracoda | | | *Ostracoda* | < 0,01 | 0,24 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 10,73 |
| 757970 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Syllidae | *Parexogone hebes* | 1,71 | 1,33 | 0,01 | < 0,01 | 13,33 | 13,03 |
| 130603 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Sigalionidae | *Pholoe minuta* | 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | 0,77 |
| 102989 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Phoxocephalidae | *Phoxocephalus holbolli* | 0,83 | 0,72 | 0,02 | 0,01 | 4,81 | 7,28 |
| 931 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Phyllodocidae | *Phyllodocidae* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 793 | Platyhelminthes | | | | *Platyhelminthes* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 883 | Annelida | Polychaeta | | | *Polychaeta* | 0,01 | 0,02 | 0,36 | 0,15 | 0,37 | 1,15 |
| 131143 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Polydora cornuta* | 0,13 | < 0,01 | 0,02 | < 0,01 | 1,48 | < 0,01 |
| 131143 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Polydora cornuta* | < 0,01 | 0,08 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 1,53 |
| 129472 | Annelida | Polychaeta | | Polygordiidae | *Polygordius* | 0,07 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,74 | < 0,01 |
| 939 | Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Polynoidae | *Polynoidae* | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 130977 | Annelida | Polychaeta | | Scalibregmatidae | *Polyphysia crassa* | 0,01 | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 129620 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Prionospio* | 0,03 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,74 | < 0,01 |
| 157836 | Arthropoda | Malacostraca | Cumacea | Bodotriidae | *Pseudoleptocuma minus* | 1,60 | 15,88 | 0,01 | 0,04 | 11,11 | 39,46 |
| 131170 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Pygospio elegans* | 1,11 | 4,14 | 0,02 | 0,02 | 7,04 | 18,77 |
| 157566 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Scolelepis (Scolelepis) squamata* | 0,03 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,74 | 0,38 |
| 130537 | Annelida | Polychaeta | | Orbiniidae | *Scoloplos armiger* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |

**Annexe 1 (suite).** Taxons inventoriés à Pointe-aux-Outardes aux été 2021 et 2022 avec leur abondance relative (Ab rel, %), leur biomasse relative (Bio rel, %) et leur coefficient de fréquence (CF, %).

| | | | | | | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aphia** | **Phylum** | **Classe** | **Ordre** | **Famille** | **Nom** | **Ab rel** | **Ab rel** | **Bio rel** | **Bio rel** | **CF** | **CF** |
| 129625 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Spio* | < 0,01 | 0,45 | < 0,01 | 0,03 | < 0,01 | 9,58 |
| 157573 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Spio setosa* | 0,34 | 0,08 | 0,62 | < 0,01 | 6,30 | 3,45 |
| 334828 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Spio theeli* | < 0,01 | 0,06 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 3,83 |
| 913 | Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | *Spionidae* | 0,01 | 0,23 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | 3,83 |
| 101409 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Stenothoidae | *Stenothoidae* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |
| 101411 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Talitridae | *Talitridae* | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,77 |
| 234208 | Mollusca | Gastropoda | | Lottiidae | *Testudinalia testudinalis* | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | 0,77 |
| 256 | Mollusca | Bivalvia | | Thraciidae | *Thraciidae* | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,37 | < 0,01 |
| 1255501 | Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Tryphosidae | *Wecomedon nobilis* | 3,07 | 1,17 | 1,13 | 0,26 | 26,30 | 29,50 |
| 142010 | Mollusca | Bivalvia | Nuculanida | Yoldiidae | *Yoldiella solidula* | < 0,01 | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,38 |