

Macrofaune du port de Barneville-Carteret (Manche, France) cinq ans après construction d'un seuil

Jean-Claude DAUVIN^{1*}, Cécile BASUYAUX², Olivier BASUYAUX² & Yakout Nawel MOUSSAOUI³

¹ Université de Caen Normandie, CNRS, UMR 6143 M2C, Laboratoire morphodynamique continentale et côtière, 24 rue des Tilleuls, 14000 Caen, France

² M2e-ec, 22, La Boivinerie, F-50560 Blainville-sur-Mer, France

³ École nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral (ENSSMAL), Laboratoire de Conservation et Valorisation des Ressources Marines (LCVRM), BP 19, campus universitaire de Dely Brahim, Alger, Algérie

* Auteur correspondant : jean-claude.dauvin@unicaen.fr (ORCID : no 0000-0001-8361-5382)

Reçu : 17/06/2026 ; accepté : 02/07/2026 ; mis en ligne : 04/08/2026 ; DOI : <https://doi.org/10.60881/bszf151-3-2>

Résumé Cette étude décrit la macrofaune benthique des sédiments meubles du port de Barneville-Carteret (Manche) à partir de prélèvements dans neuf stations échantillonnées en mai 2026. La faune se caractérise par une faible diversité faunistique avec seulement 19 taxa identifiés et une faune dominée par quelques espèces caractéristiques des milieux estuariens de la Manche et des milieux enrichis en matière organique. Deux habitats EUNIS ont été identifiés : l'habitat A2.322 - *Hediste diversicolor* sur la vase intertidale et l'habitat A5.336 - *Capitella capitata* des sédiments vaseux intertidaux enrichis en matière organique. En termes de qualité écologique, quatre stations sont classées comme modérément à fortement perturbées, classes ordinairement rencontrées dans les milieux portuaires enrichis en matière organique ; les cinq autres stations sont classées comme légèrement perturbées en lien avec la faune caractéristique des milieux estuariens dominés par des polychètes. Les densités mesurées vont de 500 à 7800 individus par m² et sont donc relativement importantes. Cependant, elles n'atteignent pas celles observées dans les ports de plus grande taille où elles peuvent atteindre 150 000 individus par m² dans les zones les plus confinées et les plus polluées. La faune récoltée en mai 2026 montre une recolonisation de la zone en amont du seuil du port depuis sa mise en eau alors qu'en mai 2015 cette zone était décrite comme azoïque.

Mots-clés faune portuaire ; diversité ; abondance ; macrofaune ; polychètes ; matière organique

Macrofauna of the Port of Barneville-Carteret (Manche, France) following the construction of a weir

Abstract This study describes the benthic macrofauna of the soft-bottom sediments of the port of Barneville-Carteret based on sampling carried out in May 2026 at nine stations. The fauna is characterized by a low faunal diversity with only 19 taxa identified, a fauna dominated by a few species' characteristic of the estuaries of the English Channel and environments enriched in organic matter. Two EUNIS habitats were identified: habitat A2.322 - *Hediste diversicolor* on intertidal mud and habitat A5.336 - *Capitella capitata* on intertidal muddy sediments enriched in organic matter. In terms of ecological quality, four stations were classified as moderately to strongly disturbed as classic port environments enriched in organic matter, and the other five stations were classified as slightly disturbed in accordance with the fauna typical of estuarine environments dominated by polychaetes. The densities measured in 2026, ranging from 500 to 7800 individuals per m², were significant but did not reach those observed in larger ports, where they can reach 150,000 individuals per m² in the most confined and polluted environments. The fauna collected in May 2026 indicates that the area upstream of the harbour weir has been colonised since the harbour was filled with water, whereas in May 2015 this area was described as azoic.

Keywords port fauna; diversity; abundance; macrofauna; polychaetes; organic matter

Introduction

La macrofaune des substrats meubles des milieux portuaires est bien connue dans les grands ports notamment les ports méditerranéens (BELLAN, 1967 ; BELLAN *et al.*, 1980 ; REBZANI-ZAHAF, 1992 ; REBZANI-ZAHAF *et al.*, 1997 ; MENIOUI & BENABDALLAH, 1995 ; DAUVIN *et al.*, 2017). Les conditions de vie dans ces écosystèmes fermés ou semi-fermés par des seuils ou des écluses font de ces milieux des zones d'accumulation de sédiments meubles sablo-vaseux associés le plus souvent à de très fortes concentrations en matière organique dans des conditions d'hypoxie, voire d'anoxie (BELLAN, 1967 ; BELLAN *et al.*, 1980). Une autre particularité de ces bassins portuaires qui correspondent à des milieux confinés est l'arrivée directe d'eau douce via des fleuves côtiers ou d'émissaires urbains entraînant une dessalure (à proximité des embouchures) et des situations proches de celles rencontrées dans des estuaires (McLUSKY & ELLIOTT, 2004 ; BRETON, 2005). Dans la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE), les masses d'eau de ces zones sont considérées comme fortement modifiées ou artificielles et leur état écologique est rapporté comme étant très difficile à évaluer dans de telles conditions de forte anthropisation (EUROPEAN COMMISSION, 2003).

D'un point de vue général, la macrofaune des habitats de substrat meuble des milieux portuaires se singularise par trois caractéristiques principales : une faible diversité ; la présence d'espèces ubiquistes et opportunistes liées aux milieux enrichis en matière organique, principalement des annélides polychètes, et enfin de très fortes abondances. Outre ces particularités générales, il est souvent observé un gradient de confinement depuis le fond des bassins, aux eaux faiblement renouvelées jusqu'à l'entrée des ports aux eaux plus influencées par leur connexion avec les eaux marines. Il y a par conséquent le passage d'une zone de pollution maximale, où il n'y a pas de macrofaune, à une zone polluée essentiellement occupée par des polychètes opportunistes puis une zone subnormale plus diversifiée mais toujours dominée par des polychètes (BELLAN *et al.*, 1980).

Ce système de gradient de pollution décrit pour les ports méditerranéens de Marseille puis d'Alger (BELLAN *et al.*, 1980 ; REBZANI-ZAHAF *et al.*, 1997) a moins été étudié dans les milieux portuaires de la Manche, probablement en raison d'un moindre confinement hydrodynamisme dû à la présence de brassage des eaux lié aux marées notamment lors des vives-eaux. Néanmoins, BRETON (1981, 2005) et BRETON *et al.* (2005) ont repris le concept de domaine paralique (confiné) pour les bassins portuaires du grand port international du Havre ouvert sur la baie de Seine. La macrofaune des ports de Boulogne-sur-Mer, Calais et Dunkerque ont également fait l'objet de prospections sédimentaires et faunistiques, le plus souvent en lien avec les pollutions organiques ou métalliques (ROMONT, 1996 ; DHAINAUT-COURTOIS *et al.*, 2000 ; DHAINAUT-COURTOIS & DHAINAUT, 2002 ; PAVARD *et al.*, 2026). La macrofaune des ports bretons, notamment celui de Brest, a servi de base à la description de groupes écologiques en fonction de l'enrichissement

en matière organique (HILY, 1984 ; GLÉMAREC & GRALL, 2000 ; GRALL *et al.*, 2003) alors que la macrofaune des bassins à flot du port de Saint-Nazaire a été étudiée par GRUET *et al.* (1978). Le concept de groupes écologiques a d'ailleurs été repris plus tard par BORJA *et al.* (2000) pour la construction de l'indice benthique AMBI très largement utilisé par la communauté scientifique internationale (BORJA *et al.*, 2019).

Pour les petits ports normands, les données de la littérature scientifique sur la macrofaune des substrats meubles sont inexistantes. Cependant, des études ont été réalisées à la commande de la région Normandie (pour les Ports de Normandie) ou des ports départementaux (par les trois conseils départements de la Manche, le Calvados et la Seine-Maritime) mais ces travaux ont été confiés à des bureaux d'étude et ont fait l'objet de rapports non publiés et à diffusion donc limitée. En revanche, la faune des substrats durs vient de faire l'objet de plusieurs travaux de recherche ayant permis d'en décrire les principales caractéristiques. CHARLES *et al.* (2018) ont étudié la faune associée aux récifs de la polychète *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel, 1923) dans 12 marinas normandes de Cherbourg au Havre et ont trouvé des récifs dans six d'entre elles présentant des eaux de faible salinité (<18). Les *Ficopomatus* dominaient la faune fixée en abondance ; dans les récifs, le petit crabe décapode introduit *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) présentait la plus forte occurrence (> 80%) avec une densité moyenne > 300 ind/m². PEZY *et al.* (2021, 2022) ont équipé 17 marinas normandes de Granville à Dieppe de plaques immergées, à 1,5 m sous la surface, afin d'en étudier la colonisation et de détecter les espèces non indigènes (Non-Indigenous-Species, NIS). Leurs résultats montrent la présence d'une forte diversité (141 taxa) avec une faune dominée par des arthropodes (75 taxa) suivis par des annélides (31 taxa) et des mollusques (15 taxa). Récemment KATSANEVAKIS *et al.* (2023) ont montré qu'il était impératif de considérer les interactions entre le changement climatique et les espèces introduites invasives dans l'élaboration de stratégies de gestion et de conservation des milieux portuaires.

L'analyse des paramètres abiotiques (salinité, température, oxygène dissous, turbidité) montre la partition des ports et marinas en quatre ensembles selon (1) l'aspect géographique (Manche, Calvados ou Seine-Maritime), (2) l'hydrologique avec des eaux plus salées en Manche occidentale qu'en Manche orientale en raison des apports de la Seine et des autres fleuves côtiers de la baie de Seine, (3) de systèmes ouverts aux influences marines ou fermées par des seuils et écluses et enfin selon (4) la taille des bassins (PEZY *et al.*, 2022 ; DAUVIN, 2024). Enfin, les ports sont connus comme une des principales voies d'introduction des espèces non indigènes, notamment ceux assurant des transits transmanche ou internationaux (Cherbourg, Ouistreham, Le Havre et Dieppe) (BRETON *et al.*, 1996 ; BRETON, 2014 ; PEZY *et al.*, 2021). Ainsi au niveau de la Normandie, 15 % des nouvelles NIS ont été recensées pour la première fois dans le port du Havre (PEZY *et al.*,

2021). Sur les 141 taxa recensées dans PEZY *et al.* (2022), 20, soit 14 %, sont NIS. Ces espèces sont plus présentes dans les ports présentant un trafic maritime international (Cherbourg, Dielette et les deux marinas du Havre) (PEZY *et al.*, 2022 ; DAUVIN, 2024). Dans le contexte du biofouling affectant les structures portuaires, VIAL *et al.* (2025, 2026) ont étudié la faune sessile dans trois ports normands (Granville, Cherbourg et Saint-Vaast-La-Hougue) à partir de plaques à coloniser en relation avec les facteurs hydrologiques et la contamination chimique de ces milieux portuaires. Ces auteurs ont montré que les faunes étaient similaires dans les trois ports prospectés.

Dans le cadre du « plan nautisme », le port de Barneville-Carteret, géré par la Société Publique Locale des Ports de la Manche, côte ouest du Cotentin (Fig. 1) a fait l'objet, au début des années 2020, d'un projet d'aménagement consistant à une mise en eau permanente d'une partie du chenal du havre de Barneville-Carteret par la construction d'un seuil submersible de 6,30 m et d'une porte abattante (Fig. 1). Le port a ainsi été doté de places de plaisance supplémentaires grâce à l'installation de nouveaux pontons et l'extension des pontons existants, doublant sa

capacité d'accueil. Des études sur la fonctionnalité des habitats pour l'ensemble des compartiments faunistiques du site (entrée du port, port et havre de Barneville-Carteret), le macrobenthos, la faune de la laisse de mer, les oiseaux et poissons ont été réalisées avant la phase de travaux permettant de caractériser l'état initial (BAFFREAU *et al.*, 2017). De plus, des dragages d'entretien sont nécessaires pour garder fonctionnels ces nouveaux aménagements et garder un tirant d'eau suffisant pour les plus gros voiliers. C'est dans ce cadre qu'a été réalisée cette étude de la macrofaune du port de Barneville-Carteret. L'objectif de cette publication est de décrire le benthos vivant actuellement dans ce milieu portuaire et de le comparer avec l'état observé dix ans auparavant.

Méthodes

Site d'étude

Le port de Barneville-Carteret se situe sur la côte ouest du Cotentin (Fig. 1).



Figure 1. Localisation du port de Barneville-Carteret et des neuf stations échantillonnées dans cette étude, vue du seuil.
Location of the Barneville-Carteret harbour and of the nine stations sampled in this study and view from the dam.

Il a été construit dans le havre le plus au nord de la Côte des Havres et communique avec la mer par un chenal entretenu pour permettre au navire de fort tirant d'eau de remonter jusqu'au port de plaisance. Le port regroupe diverses activités, principalement la plaisance avec 700 places dans le bassin à flot mais aussi une vingtaine de bateaux de pêches débarquant quotidiennement sur le quai à l'entrée du port, les liaisons maritimes vers les îles anglo-normandes et un pôle nautique.

Les traces des activités maritimes du havre de Barneville-Carteret remontent au XVIII^e siècle, mais ce n'est qu'en 1995 que le premier bassin à flot fut construit pour accueillir 370 bateaux sur 4,7 ha. Des travaux d'extension ont été réalisés, incluant un dragage d'approfondissement du chenal (d'octobre 2019 à avril 2020), le déplacement du seuil vers l'aval du chenal (d'avril 2020 à décembre 2020) puis l'installation de pieux par battage et de pontons (entre janvier 2021 et juillet 2021). Cela a permis de quasi-doubler l'accueil des plaisanciers sur 13 ha et d'inclure un pôle d'activités nautiques (Fig. 2).



Figure 2. Port de Barneville-Carteret, bassin à basse mer et à haute mer.
Barneville-Carteret harbour and view from the basin à low tide and at high tide.

De plus, le bassin à flot a fait l'objet d'un dragage des sédiments (47 204 m³) entre novembre 2024 et mars 2025 en particulier sur le secteur Est du port (E-4 à E-9) qui avait accumulé plus d'un mètre de sédiments en une décennie. Ces sédiments dont la qualité physico-chimique est inférieure aux seuils N1, ont été rejetés en mer via une canalisation de plus 1,5 km. Le prochain dragage d'entretien est prévu dans 4 ans (2030).

Echantillonnage et traitement des échantillons

Les neuf stations sont toutes localisées en amont du seuil : six d'entre elles sont situées sur la rive droite du port (E-1 à E-6), une sur la rive gauche (E-9), les deux dernières sous les pontons du port de plaisance (E-7 et E-9) (Fig. 1).

Les prélèvements ont été effectués le 6 mai 2026 à marée-basse, à bord d'un zodiac à l'aide d'une petite benne Van Veen de 0,04 m² de surface unitaire. Quatre

prélèvements ont été réalisés, trois pour l'étude de la macrofaune soit une surface totale de 0,12 m² par station et un pour la granulométrie et la mesure de la matière organique. Le sédiment a été tamisé sur un tamis à ouverture circulaire de 1 mm ; les refus de tamis ont été stockés à sec dans des bidons dans une chambre froide à 4°C avant le tri qui a été réalisé sur le vivant dans les 48 heures. Suite au tri, les taxa récoltés ont été fixés dans de l'alcool à 70° avant identification des espèces. Les données sont fournies pour 0,12 m² puis converties par m² afin de les comparer avec des valeurs de la bibliographie.

Le dernier prélèvement a servi pour l'analyse de la granulométrie (série 20 tamis de 63 µm à 6 300 µm) et de la matière organique (par calcination 4 h à 450°C).

La température et salinité ont été mesurées à l'aide d'un conductimètre WTW 3110 muni d'une sonde Tetracon 325.

Analyses des données faunistiques

Pour chacune des neuf stations, quatre indices écologiques classiques en biocénologie ont été calculés sur la base des matrices abondance ou présence/absence des espèces $\times$ stations. La richesse taxonomique (RT) correspond au nombre total de taxa fauniques identifiés et l'abondance totale (N) représente la somme des individus observés par station pour une surface d'échantillonnage de 0,12 m² (cumul de la faune recueillie dans les trois bennes Van Veen). Les indices H' et J' ont été calculés à partir des abondances relatives des espèces afin de caractériser la structure des communautés fauniques. L'indice de Shannon-Weaver H' (SHANNON & WEAVER, 1949), exprimé en logarithme de base 2, intègre simultanément la richesse en espèces et la distribution des abondances, permettant ainsi d'évaluer le niveau global de diversité des communautés. L'équitabilité de Pielou J, obtenue en standardisant H' par sa valeur maximale théorique, fournit des informations sur l'homogénéité de la distribution individuelle entre espèces (PIELOU, 1966). L'indice J' varie de 0 à 1 et des valeurs élevées reflètent une répartition équilibrée des abondances, tandis que des valeurs faibles indiquent une dominance marquée de quelques espèces.

Pour compléter la caractérisation de l'état écologique de la macrofaune, l'Indice AMBI de l'AZTI (BORJA *et al.*, 2000) a été calculé pour chacune des neuf stations à partir des matrices d'abondance faunique. Cet indice classe les espèces en cinq groupes écologiques : Groupe I, espèces très sensibles aux perturbations ; Groupe II : espèces indifférentes ou peu affectées ; Groupe III : espèces tolérantes à un enrichissement organique modéré ; Groupe IV : espèces opportunistes de second ordre et Groupe V : espèce opportuniste du premier ordre, associées aux milieux fortement perturbés. L'AMBI prend des valeurs continues de 0 (environnement non perturbé) à 6 (environnement azoïque). Les seuils de qualité écologique adoptés sont ceux définis par BORJA *et al.* (2000) : Non perturbé (< 1,2), Légèrement perturbé (1,2–3,3), Modérément perturbé (3,3–5,0), Fortement perturbé (5,0–6,0), Extrêmement perturbé (> 6,0). L'assignement des espèces en groupe écologique a été recherché dans la base de données WORMS consultée le 28 mai 2026 (<https://www.marinespecies.org/>).

Deux indices de similarité ont également été calculés sur toutes les paires possibles de stations (9 $\times$ 9 = 81 paires) : l'indice de Jaccard sur les données de présence/absence et l'indice de Bray-Curtis qui intègre les abondances. Les similarités ont été visualisées à l'aide de dendrogrammes obtenus par regroupement hiérarchique agglomératif avec la méthode du groupe de paires non pondéré utilisant des moyennes arithmétiques (UPGMA), méthode adaptée aux indices écologiques allant de 0 à 1. Tous les calculs ont été effectués sous le logiciel PAST 4 'Statistical Analysis' pour les indices de diversité, et CLUSTER pour les classifications hiérarchiques.

Résultats

Caractéristiques générales de l'environnement portuaire

Début mai 2026, la température de l'eau de mer était de 15 °C et la salinité dans le port de plaisance voisine de 32,00. Un suivi estival (de juin à septembre) des températures et des salinités (2024 & 2025) a montré des températures variant de 14,9 à 21,5°C (18,5 $\pm$ 2,2°C) et des salinités comprises entre 26,1 et 34,8 (*données non publiées* 32,5 $\pm$ 1,3). Le bassin de plaisance montre des dessalures en relation avec des événements pluvieux.

Les sédiments ne présentent pas d'odeur de putréfaction caractéristique de très fortes accumulations de matière organique et de milieu anoxique (Tableau 1). La granulométrie des sédiments est variée allant des sables grossiers aux vases (Fig. 3). En effet, le % de particules fines (< 63 μ m) varie depuis des faibles valeurs pour les stations à l'entrée du chenal et sur les rives droite et gauche du port (entre 0,89 et 8,99), à des valeurs beaucoup plus élevées pour les quatre stations les plus en amont (E-5 à E-9) avec des valeurs minimales de 20,40 pouvant atteindre 74,24 en la station E-7 sous les pontons (Tableau 1 ; Fig. 3). Les valeurs des % de matière organique sont fortement liées aux particules fines et varient de 0,81 en la station E-2 à 7,78 en E-7 ; les deux stations sous les pontons E-7 et E-8 sont les plus riches en matière organique (Tableau 1).

En conclusion, les sédiments des deux stations aval E-1 et E-2 sont composés de sables moyens à grossiers avec très peu de particules fines. Dans les stations E-3, E-4 et E-9, le sédiment est sableux. Les trois stations E-5, E-6 et E-8 présentent des courbes granulométriques caractéristiques des sables envasés (20 % à 35 % de particules fines). Enfin le sédiment de la station E-7 est de la vase portuaire avec un pourcentage de fines à plus de 74 %. On note ainsi un gradient sédimentaire depuis l'entrée du port pour les stations juste en amont du seuil vers des vases sous les pontons, sédiments également enrichis en matière organique.

Caractéristiques générales de la macrofaune

Un total de 3189 individus répartis en 19 taxa a été identifié, dont 10 annélides (neuf polychètes et des oligochètes très rares dans le port de Barneville-Carteret) et 6 mollusques (Tableau 2). La richesse taxonomique par station varie de 5 (E-3) à 13 (E-4). Les abondances totales s'étendent de 57 individus pour 0,12 m² (E-5) à 941 individus pour 0,12 m² (E-8). Quatre espèces sont très largement dominantes : les trois annélides polychètes *Capitella capitata* (Fabricius, 1780), *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1776) et *Malacoceros fuliginosus* (Claparède, 1868) et le mollusque gastéropode *Peringia ulvae* (Pennant, 1777). Il y a très peu de crustacés et les crabes *Carcinus maenas* sont tous des juvéniles. L'isopode *Cyathura carinata* (Krøyer, 1847) est une espèce typique des habitats vaseux estuariens.

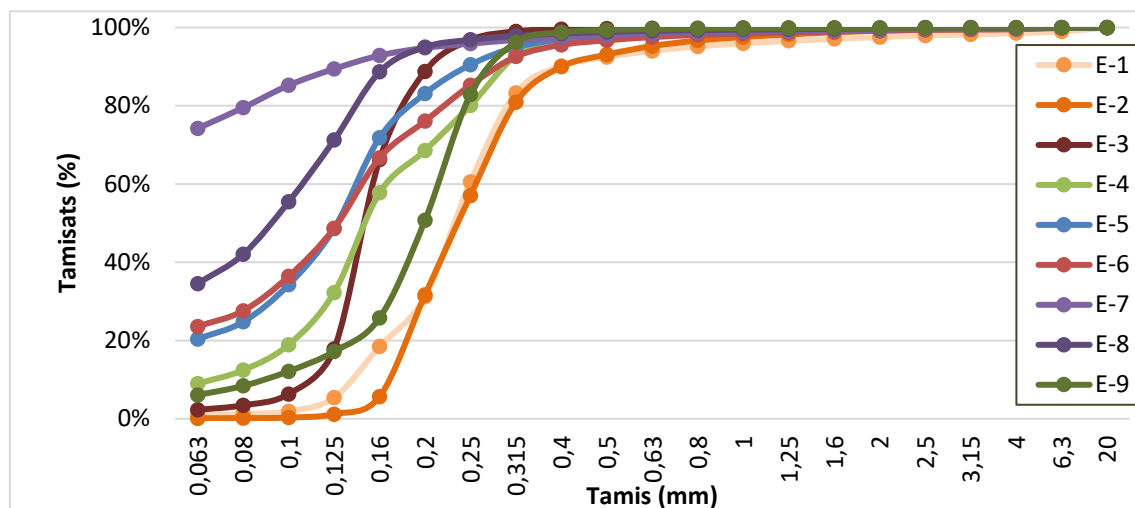


Figure 3. Enveloppe granulométrique des neuf stations d'échantillonnage.
Particle size envelope of the nine sampling stations.

Tableau 1. Localisation et caractéristiques des neuf stations d'échantillonnage. St : station ; coordonnées géographiques ; évaluation macroscopique des sédiments ; % fines : pourcentage de particule inférieure à 63 μm ; M.O. : % matière organique par rapport au poids sec de sédiment.

Location and characteristics of the nine sampling stations. St: station; geographic coordinates macroscopic sediment assessment; % fine: percentage of particles less than 63 μm ; M.O.: % organic matter in relation to dry weight of sediment.

St	Latitude (N)	Longitude (W)	Odeur	Couleur	% fines	% M.O.
E-1	49°22,536'	1°47,225'	Aucune	Grise mais fine couche (1 cm) beige en surface	0,89	0,99
E-2	49°22,576'	1°47,173'	Aucune	Grise mais fine couche (3 cm) beige en surface	0,14	0,81
E-3	49°22,596'	1°47,026'	Légère	Noire	2,28	1,27
E-4	49°22,596'	1°46,868'	Légère	Grise mais fine couche (1 cm) beige en surface	8,99	1,69
E-5	49°22,612'	1°46,748'	Légère	Dégradé de gris foncé à gris clair en surface	20,40	2,85
E-6	49°22,645'	1°46,668'	Aucune	Dégradé de gris foncé à beige en surface	23,61	2,83
E-7	49°22,678'	1°46,621'	Aucune	Dégradé de gris foncé à beige en surface	74,24	7,78
E-8	49°22,638'	1°46,795'	Aucune	Gris foncé avec des traces noirâtres	34,57	4,59
E-9	49°22,635'	1°47,056'	Aucune	Beige trace grisâtre	6,08	1,22

La structure écologique de la faune portuaire (Fig. 4) se caractérise par :

- Une dominance des espèces tolérantes (Groupe III) *Peringia ulvae*, *Hediste diversicolor*, *Abra tenuis*, espèces typiques des sédiments fins estuariens ;
- La présence systématique sur la plupart des stations des deux polychètes opportunistes majeurs du Groupe V : *Capitella capitata* et *Malacoceros fuliginosus* espèces bioindicatrices d'enrichissement organique ;
- Une quasi-absence d'espèces sensibles (Groupe I) : seule *Bathyporeia pelagica* a été observée (un seul individu, station E-2) ;
- La présence ponctuelle d'un opportuniste de 2^e ordre (Groupe IV, *Caulleriella bioculata*) à E-5.

La richesse taxonomique est faible à l'échelle du port (5 à 13 espèces). La station E-4 se distingue avec $RT = 13$, mais cette « richesse » s'accompagne de la plus faible équitabilité ($J' = 0,37$) et d'une dominance écrasante de

Peringia ulvae (77 %) (Tableaux 2 et 3). Cette composition faunistique est caractéristique d'un environnement portuaire soumis à un enrichissement organique chronique et où les espèces les plus exigeantes ont disparu, les communautés résiduelles étant structurées autour de quelques taxons tolérants avec de fortes capacités de colonisation.

Diversité du macrozoobenthos

Les valeurs de la diversité de SHANNON & WEAVER H' s'échelonnent de 0,82 bit/individu (E-7) à 1,89 bit/individu (E-5) correspondant à des diversités faibles à moyennes ($H' < 2$) (Tableau 3). Les valeurs d'équitabilité de PIELOU sont globalement faibles : six stations sur neuf affichent une valeur de $J' < 0,5$, signe d'une forte dominance d'une ou deux espèces et seule E-3 dépasse 0,7. Ces valeurs peu équitables sont caractéristiques de communautés perturbées où quelques espèces opportunistes constituent la majorité de l'effectif total.

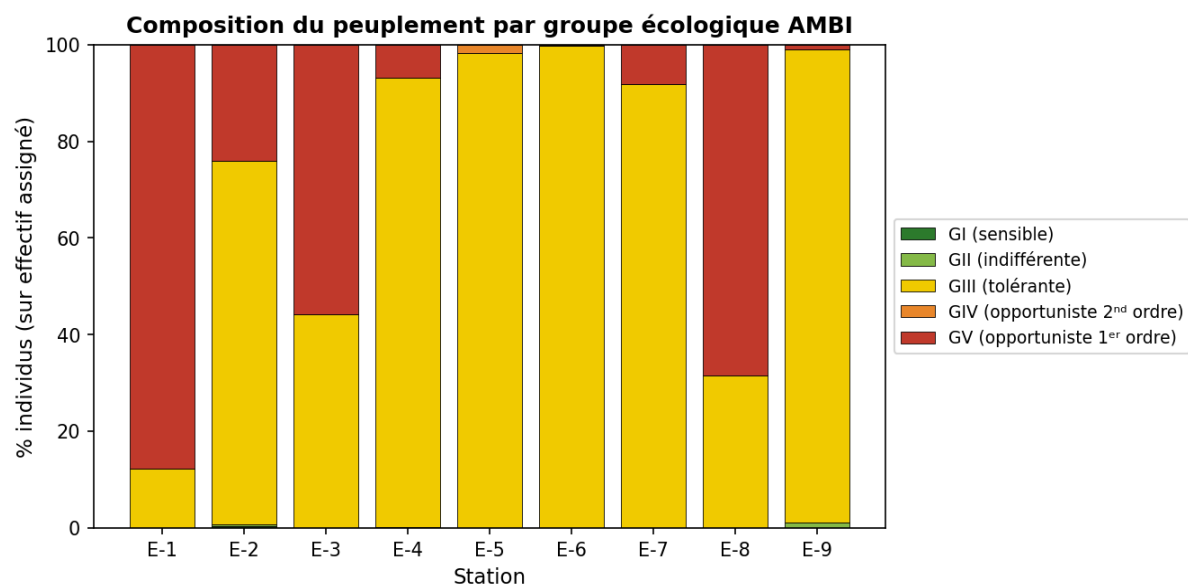


Figure 4. Composition faunistique par groupe écologique AMBI (% d'individus assignés).
Faunistic composition by AMBI ecological group (% of individuals assigned).

Tableau 2. Liste des taxa échantillonnés dans chacune des neuf stations par m² et indication du Groupe Ecologique de GI à GV.
List of sampled taxa in each of the nine stations for 1 m² and indication of Ecological Group, GI to GV.

	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9
Polychètes									
<i>Arenicola marina</i> (Linnaeus, 1758) - GIII	25	17	-	100	-	-	-	17	
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780) - GV	42	33	258	150	-	-	167	2567	8
<i>Caulleriella bioculata</i> (Keferstein, 1862) - GIV	-	-	-	-	8	-	-	-	-
<i>Eteone longa</i> (Fabricius, 1780) - GIII	8	17	-	58	-	-	-	-	25
<i>Hediste diversicolor</i> (O.F. Müller, 1776) - GIII	17	8	50	67	283	1342	142	192	675
<i>Malacoceros fuliginosus</i> (Claparède, 1868) - GV	433	483	633	258	-	8	84	2800	-
<i>Notomastus latericeus</i> M. Sars, 1851 - GIII	-	-	-	-	8	-	-	-	-
<i>Phyllodoce lineata</i> (Claparède, 1870) - GII	-	8		17	-	-	-	8	8
<i>Scoloplos armiger</i> (Müller, 1776) - GIII	-	67		25	8	-	-		8
Oligochètes - GV	-	-	-	33	-	-	-	8	8
Crustacés									
<i>Bathyporeia pelagica</i> (Spence Bate, 1857) - GI	-	8	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carcinus maenas</i> (Linnaeus, 1758) - GIII	8	-	-	8	8	25	17	17	-
<i>Cyathura carinata</i> (Krøyer, 1847) - GIII	-	-	-	-	42	25	-	-	-
Mollusques									
<i>Abra tenuis</i> (Montagu, 1803) - GIII	-	-	8	608	92	242	8	-	25
<i>Cerastoderma edule</i> (Linnaeus, 1758) - GIII	8	-	-	17	-	8	-	-	-
<i>Peringia ulvae</i> (Pennant, 1777) - GIII	-	1500	667	4542	17	2558	2633	2233	25
<i>Macoma balthica</i> (Linnaeus, 1758) - GIII	-	-	-	33	-	-	-	-	-
<i>Scrobicularia plana</i> (da Costa, 1778) - GIII	-	-	-	-	-	-	-	-	8
<i>Tapes philippinarum</i> (A. Adams & Reeve, 1850) - GIII	-	-	-	-	8	8	-	-	-
Total	541	2141	1616	5916	474	4216	3051	7842	790

Tableau 3. Synthèse des indices faunistiques par station (N = abondance totale, RT = richesse taxonomique). H' en log₂, J', AMBI et classification AMBI.

Synthesis of indices by station (N= total abundance, RT= taxonomic richness); H' in log₂; J'; AMBI and AMBI classification.

Station	N	RT	H' (log ₂)	J'	AMBI	Classification AMBI
E-1	65	7	1,179	0,420	5,631	Fortement perturbé
E-2	257	9	1,296	0,409	3,706	Modérément perturbé
E-3	192	5	1,636	0,705	4,672	Modérément perturbé
E-4	710	13	1,379	0,373	3,204	Légèrement perturbé
E-5	57	9	1,892	0,597	3,026	Légèrement perturbé
E-6	506	8	1,340	0,447	3,006	Légèrement perturbé
E-7	366	6	0,824	0,319	3,246	Légèrement perturbé
E-8	941	8	1,764	0,588	5,054	Fortement perturbé
E-9	95	9	1,014	0,320	3,016	Légèrement perturbé

Classification des stations en fonction de l'indice biotique AMBI

L'AMBI place cinq stations sur neuf dans la classe « légèrement perturbée » ($3,0 \leq \text{AMBI} \leq 3,3$) et deux stations (E-2 et E-3) dans « modérément perturbée » (3,71 et 4,67) (Tableau 3). En revanche, deux stations dépassent largement le seuil critique de 5,0 :

- E-1 (AMBI = 5,63) « fortement perturbée »,

- E-8 (AMBI = 5,05) « fortement perturbée »,
Ces deux stations concentrent à elles seules respectivement 88 % et 69 % d'opportunistes GV parmi leurs effectifs assignés, signature très claire d'un enrichissement organique localisé (Fig. 4).

Le diagramme diversité H' *versus* les valeurs de l'AMBI permet de visualiser le positionnement des neuf stations dans cet espace à deux dimensions (Fig. 5).

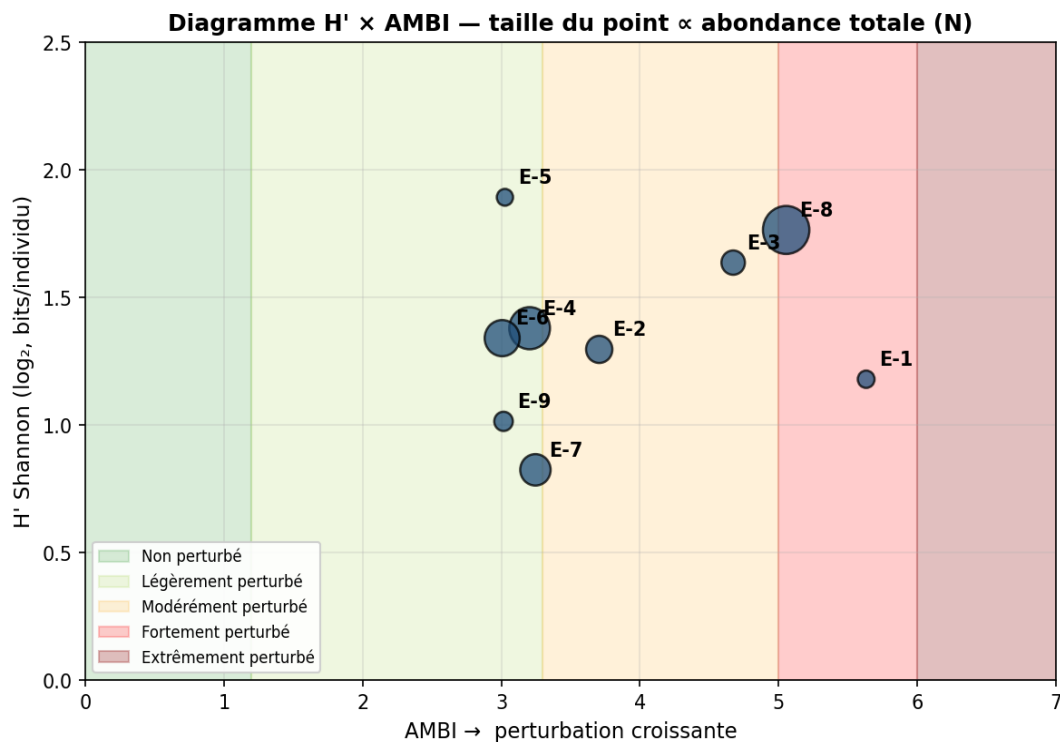


Figure 5. Diagramme H' × AMBI. Le fond coloré matérialise les classes AMBI ; la taille du point est proportionnelle à l'abondance N.

Diagram H' × AMBI. The colored background materializes the AMBI classes; the size of the point is proportional to the abundance N.

Stations fortement perturbées

E-1 (AMBI : 5,63 ; J' : 0,42). Bien que peu riche en individus (N = 65), cette station présente la signature de pollution la plus marquée et *Malacoceros fuliginosus* (52 individus de GV) y représente 80 % du peuplement. La quasi-absence d'autres taxons et l'absence totale de mollusques (sauf un individu de *Cerastoderma edule*) suggèrent un sédiment localement très enrichi en matière organique.

E-8 (AMBI : 5,05 ; J' : 0,59). Cette station combine la plus forte abondance totale (N = 941) et une part d'espèces appartenant au GV de 69 % (336 individus de *M. fuliginosus* et 308 individus de *C. capitata*). L'équitabilité plus élevée (0,59) traduit le fait que la dominance est partagée entre trois espèces codominantes, mais le diagnostic reste sévère : c'est un point de fort enrichissement organique, possiblement associé à un dépôt sédimentaire en lien avec un confinement relativement important et un faible hydrodynamisme.

Stations modérément perturbées

E-3 (AMBI : 4,67 ; J' : 0,705). Faible richesse taxonomique et contribution du GV atteignant 56 % : la station relève d'un fonctionnement dégradé, à la frontière haute de la classe modérée. Elle constitue une zone de transition entre les stations fortement perturbées (E-1, E-8) et les autres stations.

E-2 (AMBI : 3,71 ; J' : 0,41). Station dans le chenal d'entrée au port de plaisance modérément perturbée avec une dominance partagée entre *P. ulvae* (180 individus, GIII) et *M. fuliginosus* (58 individus, GV). C'est aussi la seule station où une espèce sensible (GI, *Bathyporeia pelagica*) a été récoltée.

Stations légèrement perturbées

Les stations E-4, E-5, E-6, E-7 et E-9 (AMBI entre 3,01 et 3,25) relèvent toutes de la classe « légèrement perturbée ». Cette catégorie est cependant à nuancer :

- E-5 est la plus particulière : faible abondance (N = 57), bonne diversité ($H' = 1,89$), équitabilité modérée ($J' : 0,60$) et dominance d'*H. diversicolor* (GIII).

- E-6 et E-4 affichent des effectifs très élevés (506 et 710 individus) en raison de fortes abondances de *P. ulvae* suggérant un milieu enrichi mais abritant une communauté encore équilibrée par la présence d'espèces tolérantes.

- E-7 est la station la plus pauvre en termes de diversité H' (0,82) avec néanmoins un diagnostic AMBI de « faiblement perturbé ». La forte dominance de *P. ulvae* (86 %) masque ici un certain appauvrissement.

- E-9 montre la même particularité ($J' = 0,32$) avec une dominance de *H. diversicolor* (81 individus sur un total de 95). L'absence de GV explique le « bon » score AMBI, mais la structure du peuplement reste très déséquilibrée.

Indices de similarité entre stations selon la faune benthique

L'analyse des similarités de Jaccard (présence/absence des taxa) entre les neuf stations à partir de l'ensemble des taxa recensés à une similarité de 40 % montre que les faunes des deux stations portuaires amont E-5 et E-6 se distinguent des autres stations formant le second groupe qui se divise en trois sous-groupes à une similarité de 50 % (Fig. 6). Le premier sous-groupe renferme uniquement la station E-9, le second les deux stations E-3 et E-7 et le troisième les quatre dernières stations, de l'entrée du port au milieu des pontons.

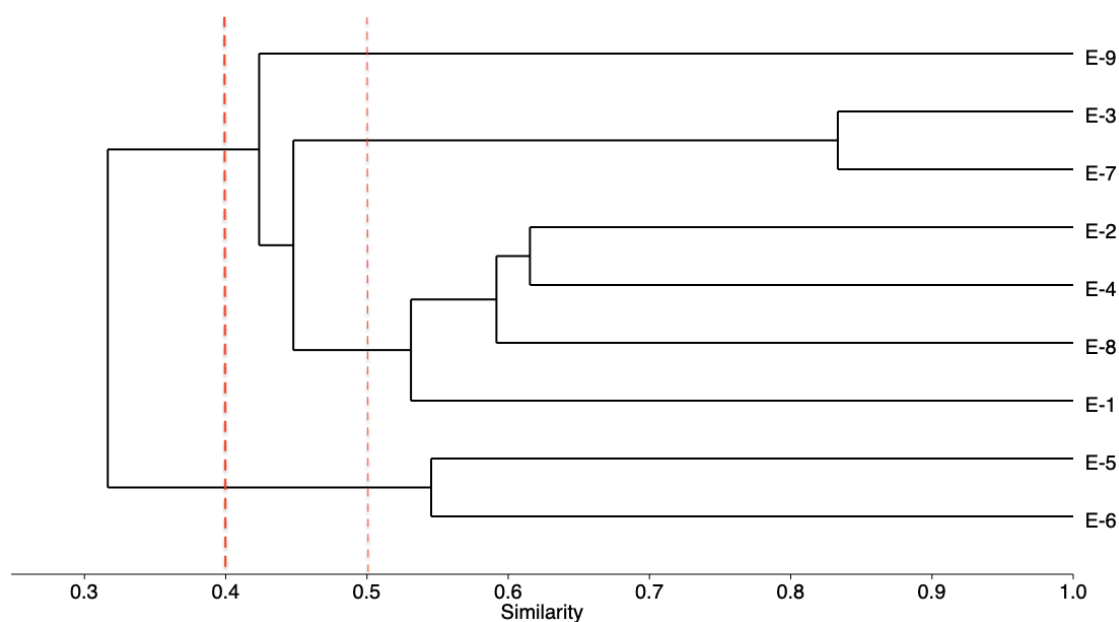


Figure 6. Classification ascendante hiérarchique construite à partir de l'indice de similarité de Jaccard entre les neuf stations.
Ascendant hierarchical classification constructed within the Jaccard's similarity with the nine stations.

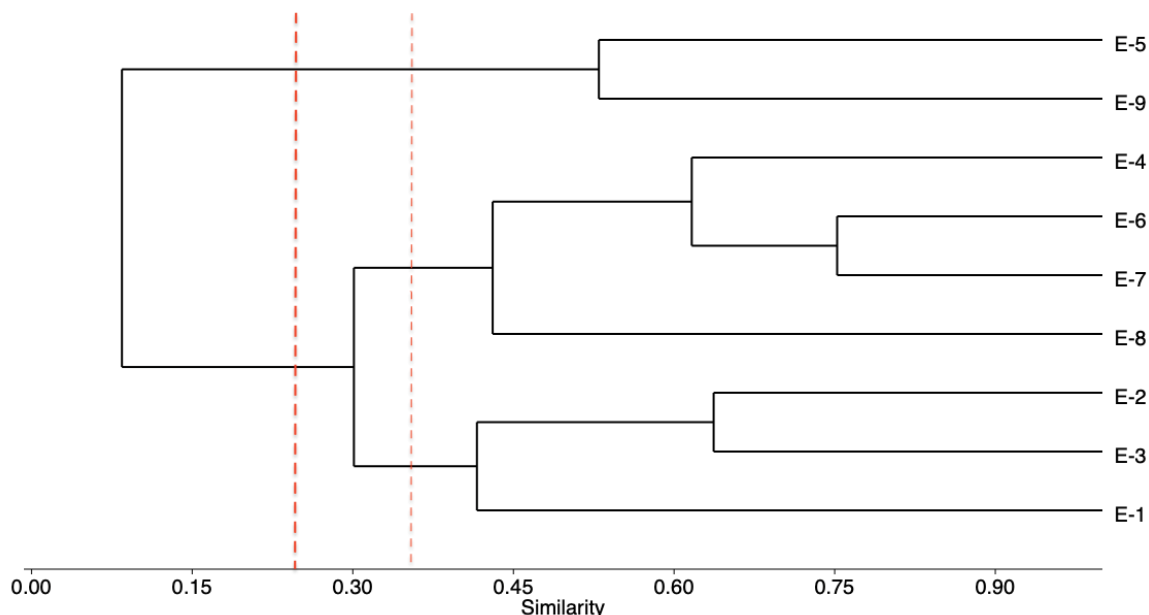


Figure 7. Classification ascendante hiérarchique construite à partir de l'indice de similarité de Bray-Curtis calculé entre les neuf stations.

Ascendant hierarchical classification constructed within the Bray-Curtis similarity with the nine stations.

L'analyse des similarités de Bray-Curtis (abondance des taxa) entre les neuf stations à partir de l'ensemble des taxa recensés et au niveau d'une similarité de 25 % montre que les faunes des deux stations portuaires amont les plus pauvres E-5 et E-9 se distinguent des autres stations formant le second groupe qui se divise en deux sous-groupes à une similarité de 35 % (Fig. 7). Le premier sous-groupe renferme uniquement les stations amont les plus riches en espèces opportunistes de GV (E-4, E-6, E-7 et E-8), le second les trois stations aval E-1, E-2 et E-3.

Discussion et conclusion

Cette étude réalisée en mai 2026 fournit pour la première fois un état détaillé de la macrofaune d'un port de la côte ouest du Cotentin : le port de plaisance de Barneville-Carteret. Elle permet une comparaison avec un état initial avant la construction du seuil en 2020.

En effet, une étude avant les travaux de construction du seuil à l'entrée du port de Barneville-Carteret a été effectuée il y a 11 ans, en mai 2015 (BAFFREAU *et al.*, 2017). Un total de 21 stations de prélèvement avait été réalisé sur tout le gradient estuarien depuis l'entrée du havre jusqu'à sa partie amont. Les deux espèces *C. capitata* et *M. fuliginosus* étaient présentes lors de des échantillonnages mais en très faibles abondances (BAFFREAU *et al.*, 2017) : total de 360 individus de *C. capitata* et de 15 individus de *M. fuliginosus* dans les 21 stations échantillonnées (échantillonnage à l'aide d'un carottier à main de 15 cm de diamètre sur 15 cm de profondeur).

La faune récoltée en 2026 correspond à deux ensembles faunistiques. L'habitat A2.322 - *Hediste diversicolor* de la classification européenne EUNIS rencontré au niveau de vasières intertidales (marnage de 5,5m au maximum). *Hediste diversicolor* est la seule

espèce présente dans les neuf stations avec des abondances comprises entre 8 et 1345 individus par m². Ses densités augmentent entre les quatre stations aval et les cinq stations amont avec une densité maximale à la station E-6 ; la densité est également importante en la station de la rive gauche E-9. Outre *H. diversicolor* l'habitat A2.322 se caractérise aussi par l'hydrobie *P. ulvae*, présent dans toutes les stations sauf en E-1 et avec des densités importantes dans cinq stations : de 1500 à 4550 individus par m². *Peringia ulvae* est une espèce très commune des estrans sablo-vaseux du Cotentin, aussi bien de la côte ouest du Cotentin comme dans le havre de Regnéville-sur-Mer (DAUVIN *et al.*, 2014) (plus de 5000 individus par m²) que dans la baie des Veys sur la côte est du Cotentin (TIMSIT *et al.*, 2004).

Le second habitat A5.336 - *Capitella capitata* correspond à des sédiments vaseux sublittoraux enrichis en matière organique où cette espèce peut être surabondante. Cependant, cet habitat peut également se trouver en zone intertidale et dans les estuaires. Dans les zones très polluées/perturbées, seuls des individus de *C. capitata* et de *Malacoceros fuliginosus* ainsi que des oligochètes peuvent être présents (GLEMAREC & GRALL, 2000). Dans le port de Barneville-Carteret, *C. capitata* est récolté dans sept des neuf stations mais il ne présente des densités remarquables que dans la station sous les pontons E-8 avec une densité de 2 472 individus par m² pour des % de M.O. de plus de 4,5. Cette densité reste toutefois très modérée en comparaison à certaines qui peuvent dépasser 10 000 individus par m² (25 000 individus par m² dans le port d'Alger ; REBZANI-ZAHAF, 1992 ; REBZANI-ZAHAF *et al.*, 1997), voire même 100 000 individus par m² dans certains milieux portuaires comme dans les ports de Marseille (BELLAN *et al.*, 1980) ou de Brest (GLEMAREC & GRALL, 2000).

Les densités des deux polychètes *H. diversicolor* et *C. capitella* estimées dans le port de Barneville-Carteret sont du même ordre de grandeur que celles rencontrées au printemps 2010 dans le havre de Blainville-sur-Mer, un des huit havres de la côte ouest du Cotentin comme celui de Barneville-Carteret (DAUVIN *et al.*, 2014). On retrouve également *C. Capitella* en rade de Cherbourg, à proximité des cages d'élevage de saumons, dans une zone plus ouverte que les havres de la côte ouest du Cotentin et dans un régime hydrodynamique plus fort (jusqu'à 350 individus par m²) (BAUX *et al.*, 2017).

En termes de qualité écologique, quatre stations sont classées comme modérément à fortement perturbées, dont deux avec des % en M.O. très élevés (E-7 et E-8) correspondant à un état écologique dégradé typique des milieux portuaires enrichis en matière organique (BELLAN *et al.*, 1980 ; DAUVIN *et al.*, 2017). Les deux stations E-1 et E-2 présentent de faibles valeurs en M.O. avec *M. fuliginosus* présentant une forte dominance. Les cinq autres stations sont classées comme légèrement perturbées et elles abritent une faune caractéristique des milieux estuariens dominés par des polychètes.

Dans la partie interne du port du Havre, à proximité du quai de l'Atlantique, il a été observé une forte densité de *C. capitata* représentant 91 % de la faune avec une densité de 2211 individus par m², conséquence de l'enrichissement en matière organique du sédiment lié à la proximité du rejet de la station d'épuration (BRETON *et al.*, 2005). Dans les 10 ports algériens étudiés par DAUVIN *et al.* (2017), *C. capitata* et *M. fuliginosus* présentaient une occurrence de, respectivement, 66 % et 23 % et des abondances maximales correspondantes de 21 600 ind·m⁻² et 13 000 ind·m⁻², densités bien inférieures aux valeurs les plus élevées observées dans le port de Boulogne-sur-Mer dans les bassins les plus confinés (> 150 000 ind·m⁻²; DHAINAUT-COURTOIS *et al.* (2000).

De même que *C. capitata*, *M. fuliginosus* est présent dans sept stations sur neuf avec des abondances notables dans les quatre stations aval (E-1 à E-4) : de 258 à 633 individus par m² et une densité maximale (2 800 individus par m²) atteinte dans la station E-8. C'est dans cette station que la densité tous taxons confondus est la plus forte avec 7 842 individus par m² et des densités du même ordre de grandeur pour les trois espèces dominantes *M. fuliginosus*, *C. capitata* et *P. ulvae*. Les deux espèces de polychètes opportunistes du Groupe Ecologique V sont typiques des milieux très enrichis en matière organique et rencontrés dans tous les milieux portuaires prospectés et en fortes abondances : port de Marseille (BELLAN, 1967 ; BELLAN *et al.*, 1980), Alger (REBZANI-ZAHAF, 1992 ; REBZANI-ZAHAF *et al.*, 1997), M'Diq (MENIOUI & BENABDALLAH (1995), pour les ports méditerranéens et les ports de Brest (GLEMAREC & GRALL, 2000), de Boulogne-sur-Mer (DHAINAUT-COURTOIS *et al.*, 2000) et de Dunkerque (PAVARD *et al.*, 2026), pour la façade Manche-Atlantique.

Outre les trois espèces de polychètes et l'hydrobie très dominantes, il convient de noter la quasi-absence

d'oligochètes dans cet environnement vaseux portuaires alors que c'est un taxon connu pour fréquenter les deux habitats sablo-vaseux identifiés. Autre fait remarquable est la présence en nombre du petit bivalve *A. tenuis* dans les trois stations les plus amont (E-4 à E-6). Les densités par m² de cette espèce sont comprises entre 92 et 608 individus par m². Cette espèce de petite taille ne dépasse pas les 10 mm de longueur maximale ; elle vit dans les vases intertidales, en particulier dans les zones à faible salinité comme les estuaires. Elle se nourrit de détritus organiques aspirés par le siphon. (<https://conchsoc.org/spAccount/abra-tenuis>)

Il est surprenant que les sédiments meubles du port de Barneville-Carteret ne renferment pas de NIS. Ce port localisé en dehors de transport international hormis une ligne estivale vers les îles anglo-normandes dans le même environnement hydrologique semble donc protégé de cette pollution biologique. L'extension du port à la plaisance internationale présente un risque de colonisation par des NIS liée au biofouling sur des navires provenant de la mer du Nord ou de la Méditerranée. Il est à noter que de nouvelles signalisations continuent à être documentées dans les ports internationaux comme Dunkerque et Le Havre avec de nouvelles espèces signalées récemment comme la polychète *Euchone limnicola* Reish, 1959 dans le port de Dunkerque (GUYONNET & BORG, 2015) et dans le port du Havre (GUYONNET, 2017) et le bivalve *Yoldia limatula* (Say, 1831) dans les bassins portuaires historiques du Havre (DAUVIN *et al.*, 2022). Le crabe sanguin *Hemigrapsus sanguineus* (DE HAAN, 1835) introduit dans le port du Havre en 1997 (PEZY *et al.*, 2021) a été signalé dans les enrochements côte nord à l'entrée du port de Barneville-Carteret pour la première fois en juillet 2010 (DAUVIN & DUFFOSE, 2011) et une population de moins d'une dizaine d'individus par m² se maintient depuis cette première récolte (observation personnelle de JCD).

Dans l'étude de BAFFREAU *et al.* (2017) pouvant être considérée comme un état des lieux initial avant travaux, sur les 21 stations, six (stations Haz1 à Haz 6) s'étaient révélées azoïques. Elles correspondent géographiquement à nos six stations localisées sur la rive droite côté sud de l'estuaire de E-1 à E-6. Il est à noter qu'aucune de ces stations s'est avérée azoïque en 2026 et qu'on assiste donc, depuis la création du seuil, à un envasement et un enrichissement faunistique de cette partie ennoyée de l'estuaire de Barneville-Carteret correspondant à l'habitat EUNIS A2.322 - *Hediste diversicolor* dans de la vase intertidale.

Nous n'avons pas de chronique temporelle de suivi à court terme de la recolonisation de la macrofaune après la mise en eau de la partie amont du seuil du port de plaisance de Barneville-Carteret. A l'image de l'étude de GUERRA-GARCIA *et al.* (2003) sur le port de l'enclave CEUTA en Afrique du Nord, il est possible que la colonisation après dragage d'entretien ait été très rapide. Ainsi, deux sites ont été choisis dans ce port méditerranéen (station de référence et station impactée) et cinq séries d'échantillonnages ont été effectués après dragage (3, 15, 30, 90, 180 jours). L'effet négatif sur le

macrofaune benthique s'est traduit par une réduction de 65 % de la richesse en espèces (15 jours après le dragage) et de 75 % pour l'abondance (3 jours après le dragage). Entre 15 et 30 jours après le dragage, l'abondance de certaines espèces comme le polychète *Scolecipis tridentata* (Southern, 1914) avait considérablement augmenté sur le site dragué. Environ 6 mois a été nécessaire pour que la zone perturbée se rétablisse avec une structure sédimentaire et une communauté macrobenthique similaire à la zone non impactée avec notamment des abondances importantes de *C. capitata* à la fin du suivi.

En conclusion, cette étude décrit la macrofaune benthique des sédiments meubles du port de Barneville-Carteret, dans le havre le plus au nord de la côte ouest du Cotentin. La faune se caractérise par une faible diversité faunistique avec seulement 19 taxa identifiés, une faune dominée par quelques espèces caractéristiques des milieux estuariens de la Manche (avec le polychète *H. diversicolor* et l'hydrobie *P. ulvae*) et des milieux enrichis en matière organique classique des milieux portuaires en Atlantique nord-est et de Méditerranée. Deux habitats EUNIS ont été identifiés : l'habitat A2.322 - *Hediste diversicolor* sur la vase intertidale et l'habitat A5.336 - *Capitella capitata* des sédiments vaseux intertidaux enrichis en matière organique. En termes de qualité écologique, quatre stations sont classées comme modérément à fortement perturbées typique des milieux portuaires enrichis en matière organique et les cinq autres stations sont classées comme légèrement perturbées en lien avec la faune caractéristique des milieux estuariens dominés par des polychètes. Il est noté une quasi-absence d'amphipodes, espèces sensibles aux pollutions, et très peu d'autres espèces de crustacés. Les densités mesurées en mai 2026, de 500 à 7800 individus par m², sont importantes mais m'atteignent pas celles observées dans les ports de plus grande taille où elles peuvent atteindre 150,000 individus par m² dans les milieux les plus confinés et pollués.

La faune récoltée en mai 2026 montre une colonisation de la zone en amont du seuil du port depuis sa mise en eau alors qu'en mai 2015 (avant travaux), cette zone était décrite comme azoïque. Un nouvel échantillonnage dans une dizaine d'années serait intéressant pour observer l'évolution à long terme de cette faune portuaire. Enfin, comme il a été montré ailleurs dans des ports de la région normande, il serait intéressant d'étudier la faune des substrats durs artificiels du port de Barneville-Carteret : quais, pontons, enrochements afin d'en identifier la diversité. En effet, dans l'étude de PEZY *et al.* (2022), les plaques immergées pendant un an dans le port de Barneville-Carteret entre novembre 2019 et novembre 2020, présentaient une richesse taxonomique de 17 taxa dont 14 crustacés, y compris huit espèces d'amphipodes connues pour leur sensibilité (GI) aux pollutions. Les abondances des deux espèces d'amphipodes *Monocorophium sextonae* (Crawford, 1937) et de *Monocorophium acherusicum* (A.

Costa, 1853) atteignaient chacune 12 000 individus par m² et celle du tanaïdacé *Zeuxo holdichi* (Bamber, 1990) plus de 2 000 individus par m² pour des densités maximales dépassant les 25 000 individus par m² (*données non publiées*). Il existe donc par conséquent un contraste important entre la faune des sédiments meubles vaseux riches en matière organique avec un diagnostic écologique de la masse d'eau de modéré à fortement perturbé selon les seuils de la DCE, et la faune des substrats durs essentiellement représentée par des crustacés sensibles aux pollutions. Une interrogation est donc posée sur la possibilité de croiser les diagnostics écologiques de ces masses d'eau fortement modifiée en intégrant à la fois la faune des substrats meubles et substrats durs des milieux portuaires.

Remerciements

Les auteurs remercient la SPL des ports de la Manche pour le financement de cette étude et Pierrick Ledard (SPL Ports de la Manche) pour les photos prises par drone. Les auteurs remercient Madame Katherine Costil, enseignante-chercheuse à l'université de Caen Normandie, laboratoire MERSEA pour ses corrections et suggestions très constructives sur la première version de cette note et également le professeur René Lafont, directeur de la publication, pour la mise en forme de notre texte.

Références

- BAFFREAU, A., GARCIA, A. & TIMSIT, O. (2017).- Mise en eau partielle du chenal de Barneville-Carteret, Etude des fonctionnalités associées aux habitats identifiés. Rapport GEMEL au Département de la Manche, 171 pp.
- 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.
- BELLAN, G. (1967).- Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille, II, L'ensemble portuaire marseillais. *Revue Internationale d'Océanographie Médicale*, **8**, 51-95.
- BELLAN, G., BELLAN-SANTINI, D. & PICARD, J. (1980).- Mise en évidence de modèles éco-biologiques dans des zones soumises à perturbations par matières organiques. *Oceanologica Acta*, **3**, 383-390.
- BORJA, A., FRANCO, J. & PEREZ, V. (2000).- A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European Estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, **40**, 1100-1114.
- BORJA, A., CHUST, G. & MUXIKA, I. (2019).- Chapter Three – Forever young: The successful story of a marine biotic index. *Advances in Marine Biology*, **82**, 93-127.

- BRETON, G. (1981).- Observations sur l'écologie et les peuplements des bassins du port du Havre (France). *Bulletin trimestriel de la Société géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, **68**, 45-58.
- BRETON, G., (2005).- Le Port du Havre (Manche orientale, France) et ses peuplements : un exemple de domaine paralique en climat tempéré. *Bulletin de la Société zoologique de France*, **130**, 381-423.
- BRETON, G. (2014).- Espèces introduites ou invasives des ports du Havre, d'Antifer et de Rouen (Normandie, France). *Hydroécologie Appliquée*, **18**, 23-65.
- BRETON, G., GIRARD, A., LAGARDÈRE, J.P., MONNIOT, F., MONNIOT, C., NOËL, P. & VINCENT, T. (1996).- Espèces animales benthiques des bassins du port du Havre (Normandie, France) rares, peu connues ou nouvelles pour la région. *Bulletin trimestriel de la Société géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, **82**, 7-28.
- BRETON, G., VINCENT, T., PAINBLANC, A. & DUCHEMIN, A. (2005).- L'endofaune des bassins du port du Havre (Manche orientale). *Bulletin de la Société géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, **92**, 5-18.
- CHARLES, M., FAILLETTAZ, R., DESROY, N., FOURNIER, J. & COSTIL, K. (2018).- Distribution, associated species and extent of biofouling "reefs" formed by the alien species *Ficopomatus enigmaticus* (Annelida, Polychaeta) in marinas. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **212**, 164-175.
- DAUVIN, J.C. & DUFOSSE, F. (2011).- *Hemigrapsus sanguineus* (De Haan, 1835) (Crustacea: Brachyura: Grapsoidea) a new invasive species in European waters: the case of the French English Channel coast (2008-2010). *Aquatic Invasions*, **6**, 329-338.
- DAUVIN, J.C., DELHAY, J.B., HACQUEBART, P., DE SAINT-LEGER, E., IZABEL, G., TOMAS, L. & LEVOY, F. (2014).- The evolution of surfaces and carrying capacity for Western Cotentin Estuaries. *Cahiers de Biologie Marine*, **55**, 77-89.
- DAUVIN, J.C., BAKALEM, A., BAFFREAU, A. & GRIMES, S. (2017).- Benthic ecological Status of Algerian harbours. *Marine Pollution Bulletin*, **125**, 378-388.
- DAUVIN, J.C., GOFAS, S., RAOUX, A., BOUCHET, V.M.P., PAVARD, J.C. & PEZY, J.P. (2022).- The American protobranch bivalve *Yoldia limatula* (Say, 1831) in European waters. *BioInvasions Records*, **11**, 473-481.
- DAUVIN, J.C. (2024).- Eco-blocs, cuvettes rocheuses artificielles, ouvrages biomimétiques : une réponse aux besoins de nouvelles conceptions techniques d'infrastructures tout en développant la biodiversité marine. 18^{ième} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Anglet. *Paralia*, 1001-1026. DOI:10.5150/jngcgc.2024.103
- DHAINAUT-COURTOIS, N., PRUVOT, C., EMPIS, A. & BAUDET, K. (2000).- Les peuplements macrozoobenthiques, indicateurs des qualités physicochimiques et chimiques des sédiments portuaires – exemple du port de Boulogne-Sur-Mer (Manche). *Bulletin de la Société zoologique de France*, **125**, 49-62.
- DHAINAUT-COURTOIS, N. & DHAINAUT, A. (2002).- Vers une évaluation plus performante de l'écotoxicologie des boues de dragage des ports maritimes grâce à l'utilisation combinée d'indices biotiques et de scores de risque. *Bulletin de la Société zoologique de France*, **127**, 57-76.
- EUROPEAN COMMISSION (2003).- Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies: Guidance Document No 4. *Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg*.
- GLÉMAREC, M. & GRALL, J. (2000).- Les groupes écologiques et zoologiques d'invertébrés marins face aux dégradations de l'environnement côtier. *Bulletin de la Société zoologique de France*, **125**, 37-48.
- GRALL, J., QUINIOU, F., GLÉMAREC, M. (2003).- Bioévaluation de la qualité environnementale des milieux portuaires : programme PNETOX, In : ALZIEU, C. (coordinateur). Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion, Editions IFREMER, pp. 89-117.
- GRUET, Y., MAILLARD, Y. & MARCHAND, J. (1978).- Etude écologique des bassins à flot du port de Saint-Nazaire. *Bulletin d'Ecologie*, **9**, 157-168.
- GUERRA-GARCIA, J.M., CORZO, J., GARCIA-GOMEZ, J.C. (2003).- Short-Term Benthic Recolonization after Dredging in the Harbour of Ceuta, North Africa. *P.S.Z.N.: Marine Ecology*, **24**, 217-229.
- GUYONNET, B. & BORG, D. (2015).- Premier signalement de l'espèce introduite *Euchone limnicola* Reish, 1959 (Polychaeta: Sabellidae) sur les côtes françaises de la Mer du Nord (Grand Port Maritime de Dunkerque). *An Aod*, **4**, 15-23.
- GUYONNET, B. (2017).- Présence de l'espèce introduite *Euchone limnicola* Reish, 1959 (Polychaeta: Sabellidae) en Manche orientale : premier signalement dans le Grand Port Maritime du Havre (France, Normandie). *An Aod*, **5**, 13-19.
- HILY, C. (1984).- Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hypertrophiques de la rade de Brest. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 696 pp.
- KATSANEVAKIS, S., OLENIN, S., PUNTILA-DODD, R., RILOV, G., STÆHR, P., TEIXEIRA, H., TSIRINTANIS, K., BIRCHENOUGH, S.N.R., JAKOBSEN, H.H., KNUDSEN, S.W., LANZEN, A., MAZARIS, A.D., PIRAINO, S., TIDBURY, H.J. (2023).- Marine invasive alien species in Europe: 9 years after the IAS Regulation. *Frontiers in Marine Science*, **10**, 1271755.
- McLUSKY, D.S., ELLIOTT, M. (2004).- *The estuarine ecosystem, ecology, threats and management*. Third edition, Oxford University Press, Oxford, UK, 224 pp.

- MENIOUI, M. & BENABDALLAH, M.Z. (1995).- Impact d'une pollution de type portuaire sur la macrofaune benthique dans un port méditerranéen du Maroc (Port de M'diq). *Rapport de la Commission Internationale de la Mer Méditerranée*, **34**, 141.
- PAVARD, J.C., HENNION, C., COURLEUX, A., HENRY, F., RIBOULLEAU, A. & BOUCHET, V.M.P. (2026).- Moving beyond the overrated perception of harbors as polluted ecosystems: unexpected high diversity of meio- and macro-benthic communities in the Port of Dunkirk, France. *Journal of Environmental Management*, **108**, 129893.
- PEZY, J.P., BAFFREAU, A., RUSIG, A.M., MUSSIO, I., RAOUX, A. & DAUVIN J.C. (2021).- Non-Indigenous species in marine and brackish waters along the Normandy coast. *BioInvasions Records*, **10**, 755-774. <https://doi.org/10.3391/bir.2021.10.4.01>.
- PEZY, J.P., RAOUX, A., BOISSERIE, R. & DAUVIN, J.C. (2022).- Enhancing marine coastal biodiversity in Normandy: towards a new species signalling network using Artificial Structures. *IOP Materials Sciences and Engineering*, **1245**, 012007. doi:10.1088/1757-899X/1245/1/012007.
- PIELOU, E.C. (1966).- Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and measure. *American Naturalist*, **100**, 463-465.
- REBZANI-ZAHAF, C. (1992).- Le peuplement macrobenthique du port d'Alger : impact de la pollution. *Hydroécologie appliquée*, **4**, 91-103.
- REBZANI-ZAHAF, C., BELLAN, G., BAKALEM, A. & ROMANO, J.C. (1997).- Cycle annuel du peuplement macrobenthique du port d'Alger. *Oceanologica Acta*, **20**, 461-477.
- ROMONT, R. (1996).- Caractérisation multiparamétrique de la qualité des sédiments et descriptions des communautés macrozoobenthiques associées des ports de Dunkerque Ouest et Boulogne-sur-mer et des estuaires de l'Aa et de la Canche (région Nord/Pas de Calais, France), Thèse de doctorat de l'Université de Lille I, 161 pp.
- SHANNON, C. & WEAVER, W. (1949).- *The mathematical theory of communication*, Urbana: The University of Illinois Press, Urbana, Etats-Unis, 131 pp.
- TIMSIT, O., SYLVAND, B. & LEFEUVRE, J.C. (2004).- Evolution du macrozoobenthos intertidal de la Baie des Veys de 1985 à 2000. *Comptes Rendus Biologies*, **327**, 51-64.
- VIAL, M., COSTIL, K., AGOGUÉ, J., GISSAT, L., GUEUNÉ, H. & CAPLAT, C. (2025). A 15 month-monitoring of biofouling in relationship with hydrological parameters and contaminants in three French harbours of the English Channel. *Environmental Research*, **269**, 120925.
- VIAL, M., COSTIL, K., AGOGUÉ, J., EUSTACHE, S., HEIGHTON, S., GISSAT, L., GUEUNÉ, H. & CAPLAT, C. (2026).- Spatial and temporal variability of biofouling communities during early development in three French harbors of the English Channel. *Environmental Monitoring and Assessment*, **198**, 468. doi: 10.1007/s10661-026-15314-0.