Test de déploiement des suivis du compartiment de la macrofaune benthique sur les fonds meubles du plateau via les campagnes halieutiques de l'Ifremer, au titre de la DCSMM

Rédaction : Marie Pierrejean[1], Pascal Laffargue[2], Nicolas Desroy[1]
Bancarisation des données (Quadrige) : Cossais Amélie[3], Deleys Noémie[3], Pierrejean Marie[1]
Coordination/Comité de suivi : Nicolas Desroy[1], Pascal Laffargue[2], Sophie Beauvais[5], Anne-Laure Janson[6], Alexandre Robert[1], Aurélien Boyé[4]

1. IFREMER, Laboratoire Environnement Ressources de Bretagne Nord (PDG-ODE-LITTORAL-LERBN), Station Ifremer de Dinard - CRESCO - 38 rue du Port Blanc - 35800 Dinard.
2. IFREMER, UMR DECOD/Unité HALGO, Laboratoire Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (PDG-RBE-HALGO-EMH). Centre Atlantique - Rue de l'Ile d'Yeu - BP 21105 - 44311 Nantes Cedex 03
3. IFREMER, Service Valorisation de l'Information pour la Gestion Intégrée et la Surveillance (PDG-ODE-VIGIES)
4. IFREMER, Laboratoire d'Ecologie Benthique Côtière (PDG-ODE-DYNECO-LEBCO)
5. Office Français de la Biodiversité (OFB)
6. Patrinat, Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel (MNHN-OFB)

Contacts : pascal.laffargue@ifremer.fr, nicolas.desroy@ifremer.fr

Fiche documentaire

Titre du rapport : Test de déploiement des suivis du compartiment de la macrofaune benthique sur les fonds meubles du plateau via les campagnes halieutiques de l'Ifremer, au titre de la DCSMM	
Référence interne : R.DEP/UNIT/LABO AN-NUM **Diffusion :** ☒ libre (internet)	**Date de publication :** 2022/08 **Version : 1.0.0** **Langue(s) : Français**

Résumé/ Abstract :

L'objet des travaux présentés dans ce rapport est le développement d'observations de routine pour collecter de la donnée servant aux calculs des indicateurs d'états des habitats benthiques. Ce projet s'inscrit dans le cadre de la surveillance des habitats benthiques sédimentaires circalittoraux du large au titre de la DCSMM* (sous-programme 6). La méthode d'évaluation de l'état écologique de ces habitats et la stratégie de surveillance associée, ne sont pas encore définis à ce jour et restent au stade de la recherche & du développement. Le compartiment ciblé est la macrofaune benthique des fonds meubles circalittoraux. Le site d'étude est situé en Atlantique Nord-est dans le golfe de Gascogne et le sud de la mer Celtique. Les principaux objectifs de cette étude sont (i) de tester *in situ* la faisabilité technique d'un échantillonnage du compartiment benthique au large à la drague Rallier du Baty dans le contexte de la campagne halieutique EVHOE ; (ii) de décrire et de caractériser les communautés de la macrofaune benthique des secteurs Golfe de Gascogne et mer Celtique ; (iii) de proposer des perspectives en matière d'indicateur d'état de santé des habitats benthiques au regard de la pression par la pêche aux arts trainants.

The purpose of the work presented here is the development of routine observations to collect data for the calculation of benthic habitat status indicators. This project is part of the monitoring of offshore circalittoral sedimentary benthic habitats under the MSFD* (sub-program 6). The method for assessing the ecological status of these habitats and the associated monitoring strategy are not yet defined and remain at the research and development stage. The targeted compartment is the benthic macrofauna of circalittoral soft sediment habitats. The study site is located in the Northeast Atlantic in the Bay of Biscay and the southern Celtic Sea. The main objectives of this study are (i) to test in situ the technical feasibility of sampling the offshore benthic compartment with the dredge Rallier du Baty in the context of the EVHOE fisheries survey; (ii) to describe and characterize the benthic macrofauna communities of the Bay of Biscay and Celtic Sea areas ; (iii) to propose perspectives in terms of indicators of the state of health of benthic habitats with regard to the pressure of trawling fisheries.

* directive cadre stratégie milieu marin (DCSMM) / Marine Strategy Framework Directive (MSFD)

Mots-clés/ Key words :

EVHOE, campagne halieutique; drague Rallier du Baty, communautés benthiques, sédiments meubles, DCSMM, Habitats benthiques, biodiversité

EVHOE, fisheries survey, Rallier du Baty dredge, benthic communities, soft bottom, MSFD, Benthic habitat, biodiversity

Comment citer ce document : Pierrejean Marie, Laffargue Pascal, Desroy Nicolas (2022). Test de déploiement des suivis du compartiment de la macrofaune benthique sur les fonds meubles du plateau via les campagnes halieutiques de l'Ifremer, au titre de la DCSMM. https://doi.org/10.13155/92737

Disponibilité des données de la recherche : Quadrige, programme « Etude Prospective campagnes DCSMM », stratégie « BENTHOS_EVHOE_2019 » (Cossais et al.2022). Accès via le portail surval (https://surval.ifremer.fr/).

DOI : https://doi.org/10.13155/92737

Commanditaire du rapport : Office Français de la Biodiversité (OFB)	
Nom / référence du contrat : REF/IFREMER: 20/1001063	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) : Surveillance DCSMM, sous-programme 6, Contrat OFB/DCSMM n° 20/1001063	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
Marie Pierrejean marie.pierrejean.1@ulaval.ca	IFREMER, Laboratoire Environnement Ressources de Bretagne Nord (PDG-ODE-LITTORAL-LERBN), Station Ifremer de Dinard - CRESCO - 38 rue du Port Blanc - 35800 Dinard
Pascal Laffargue pascal.laffargue@ifremer.fr	IFREMER, UMR DECOD/Unité HALGO, Laboratoire Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (PDG-RBE-HALGO-EMH). Centre Atlantique - Rue de l'Ile d'Yeu - BP 21105 - 44311 Nantes Cedex 03
Nicolas Desroy Nicolas.desroy@ifremer.fr	IFREMER, Laboratoire Environnement Ressources de Bretagne Nord (PDG-ODE-LITTORAL-LERBN), Station Ifremer de Dinard - CRESCO - 38 rue du Port Blanc - 35800 Dinard
Encadrement(s) :	
Destinataires : coordination nationale DCSMM (MTE/ OFB / Ifremer), responsables de surveillance DCSMM du descripteur D1-HB, responsables thématiques DCSMM du descripteur D1-HB	
Validé par : Sophie Beauvais, correspondante OFB, RS D1HB	

Table des matières

1. Introduction 2
2. Matériels et méthodes 3
   Site d'étude et stratégie d'échantillonnage 3
   Collecte des échantillons 6
   Données environnementales 8
   Analyses statistiques 10
3. Résultats 11
   Caractéristiques sédimentaires 11
   Caractéristiques faunistiques par habitats 13
      Diversité 13
      Abondance et biomasse 13
   Caractérisation des assemblages benthiques et relations avec les paramètres environnementaux 16
      Assemblage A 18
      Assemblage B 18
      Assemblage C 20
4. Discussion 22
   Analyses de faisabilité technique 22
   Représentativité/validité des communautés observés 24
   Perspectives – pistes d'amélioration 25
5. Bibliographie 27
6. Table des illustrations 29

Annexe 1 30

1. Introduction

Les écosystèmes marins sont influencés par les activités humaines telles que la surpêche, la dégradation des habitats et la pollution. Ces impacts peuvent modifier la structure et le fonctionnement des écosystèmes à différentes échelles spatio-temporelles (Ellis et al. 2000). Parmi les communautés marines les plus à risques, on retrouve les organismes benthiques constituant l'épifaune (vivant sur le fond marin) et l'endofaune (vivant dans le sédiment). La plupart de ces organismes sont sédentaires et longévives ; ils subissent donc toutes les perturbations rencontrées dans le milieu. Afin de protéger les habitats et soutenir leur fonctionnement de façon durable, la Directive Européenne Cadre sur l'Eau (DCE Directive 2000/60/EC) et la Directive Européenne Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM, Directive 2008/56/EC) demandent aux états membres des prises de mesures afin d'atteindre et de maintenir un bon état écologique de l'écosystème. Ce dernier correspond à un bon fonctionnement des écosystèmes, tant sur les plans biologique, physique, chimique que sanitaire, permettant un usage durable du milieu marin.

Actuellement, au sein des communautés benthiques du large du golfe de Gascogne et de la mer Celtique, seules les données d'invertébrés de la mégafaune épibenthique (taille > 10 mm) sont disponibles à large échelle depuis 2008. Ces données sont issues des campagnes halieutiques annuelles menées par l'Ifremer au cours desquelles les organismes méga-benthiques sont récoltés à partir des chaluts et identifiés à bord des navires, dans le cadre d'une approche écosystémique de la gestion des pêches. L'intérêt pour ce compartiment est lié à leur forte vulnérabilité aux techniques de pêches (organismes épigés), leur conférant un caractère de témoin de l'état des communautés benthiques. Cependant, l'étude de la mégafaune épibenthique ne fournit qu'une une vision partielle de l'écosystème benthique. En effet, la macrofaune (organismes entre 0.5/1 et 100 mm) et la méiofaune (entre 0.1 et 0.5/1 mm) jouent un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes benthiques dans le cadre notamment de la production secondaire, de la reminéralisation de la matière organique et des relations trophiques associées. Ce compartiment biologique a souvent été utilisé pour développer des indicateurs d'état des écosystèmes marins côtiers notamment par la Directive-Européenne Cadre sur l'Eau contrairement aux écosystèmes du large (*i.e.*, hors zone DCE; > 1 mile). Les données relatives au large sont généralement anciennes (*e.g.* Glémarec, 1969) ou bien à faible résolution spatiale (Le Loc'h, 2005; Hily 2008; Robert, 2017; Lamarque 2022).

Face aux pressions anthropiques majeures sur les plateaux continentaux, notamment exercées par la pêche, il est nécessaire de mieux connaître les habitats benthiques et la structure des communautés benthiques associées afin de répondre aux exigences de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) et, si besoin, de mettre en œuvre un programme de surveillance adapté. L'une des pistes de développement est la mobilisation des données acquises via les campagnes halieutiques

optimisées menées par l'Ifremer au titre de la politique commune des pêches (PCP, règlement DCF (UE) n°2017/1004), afin de tester la pertinence de différentes méthodes d'échantillonnage (*e.g.* prélèvements semi-quantitatifs des espèces de mégafaune épigées par traits de chalut de fond ou à la drague). L'Ifremer et l'Office Française de la Biodiversité (OFB) ont ainsi testé la possibilité d'échantillonner la macrofaune benthique lors des campagnes halieutiques, en s'appuyant sur la campagne EVHOE se déroulant dans le golfe de Gascogne et la mer Celtique.

À court terme (2020-2022), ce projet de recherche visait à renforcer l'observation et la connaissance du compartiment de la macrofaune benthique sur les fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne et de la mer Celtique, acquise à partir de la campagne halieutique EVHOE 2019 (Evaluation Halieutique de l'Ouest Européen, Garren et al. 2019, https://doi.org/10.17600/18000878).

À long terme, ce projet s'inscrit dans une démarche dédiée d'une part, au développement d'un indicateur d'état de la communauté benthique du plateau au regard de la pression physique d'abrasion générée par la pêche aux arts trainants et d'autre part, à la mise en œuvre, le cas échéant, d'une surveillance opérationnelle desdites communautés *via* les campagnes halieutiques de l'Ifremer ou autres campagnes dédiées.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de la surveillance des habitats benthiques sédimentaires circalittoraux du large au titre de la DCSMM (sous-programme 6). La méthode d'évaluation de l'état écologique de ces habitats et la stratégie de surveillance associée, ne sont pas encore définis à ce jour et restent au stade de la recherche & du développement. Les principaux objectifs de cette étude sont :

(i) de tester *in situ* la faisabilité technique d'un échantillonnage du compartiment macrobenthique au large à la drague dans le contexte de la campagne halieutique EVHOE,

(ii) de décrire et de caractériser les communautés de la macrofaune benthique des secteurs Golfe de Gascogne et mer Celtique,

(iii) De proposer des perspectives en matière d'indicateur d'état de santé des habitats benthiques au regard de la pression par la pêche aux arts trainants.

2. Matériels et méthodes

Site d'étude et stratégie d'échantillonnage

Le site d'étude est situé en Atlantique Nord-est, dans le golfe de Gascogne et le sud de la mer Celtique (

Figure 1). Le golfe de Gascogne est une baie ouverte sur l'océan, bordée au Nord et à l'Est par la France et au Sud par l'Espagne. Son plateau continental s'étend jusqu'au talus continental, où la pente atteint 5 ‰ et une profondeur d'environ 170 m au Nord et 140-150 m au Sud. Le plateau continental de la mer Celtique s'étend au large de la Bretagne jusqu'à l'Irlande au Nord avec une profondeur inférieure à 200 m.

Lors de la campagne halieutique EVHOE, un échantillonnage opportuniste pour collecter la macrofaune a été réalisé dans ces deux régions. Au total, 34 stations (pour un total de 80 prélèvements en prenant en compte les réplicats) ont été échantillonnées du 22 Octobre au 19 Novembre 2019 à bord du navire de recherche le « Thalassa » (Figure 1 ; Tableaux 1 et 2). Les échantillons ont été collectés à l'aide d'une drague Rallier du Baty (Annexe 1) dans l'étage circalittoral côtier, avec une profondeur maximale de 40 m environ, et dans l'étage circalittoral profond à une profondeur maximale de 200 m.

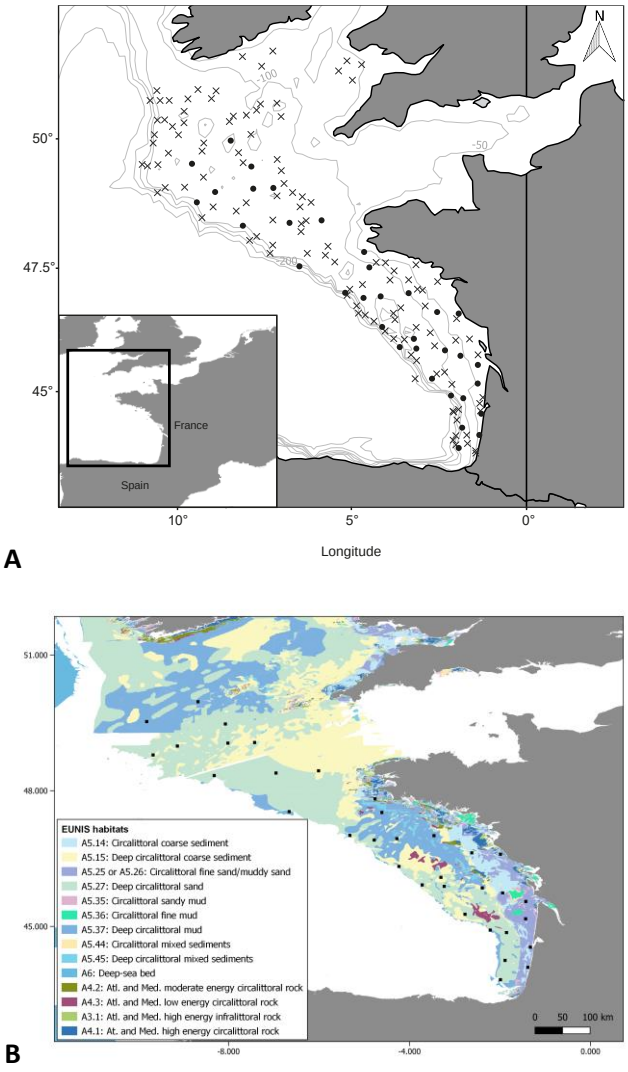


Figure 1 - Carte des stations échantillonnées durant la campagne EVHOE 2019. **A)** stations échantillonnées par la drague et le chalut (points noirs) et stations échantillonnées au chalut de fond seulement (croix), **B)** distribution des habitats EUNIS niveau 3-4 (EU SeaMap 2019, Vasquez et al. 2019) et position des stations échantillonnées à la drague.

Tableau 1 - Compartiments benthiques ciblés lors de la campagne halieutique EVHOE 2019 et échantillonnage réalisé dans le cadre de cette étude en complément des échantillonnages standards liés à la PCP.

SOURCE	Compartiment principal ciblé	Taille des organismes	Engins de prélèvement	Nb de stations
Protocole spécifique DCSMM (objet de cette étude)	Macrofaune benthique endogée	0.5/1 mm -100 mm) >2 mm dans cette étude	Drague Rallier du Bathy	34 (80 prélèvements)
Protocole standard EVHOE (« PCP »)	Mégafaune benthique épigée	>10 mm	Chalut de fond à panneaux (GOV 36/47)	151

Tableau 2 - Coordonnées des stations échantillonnées à la drague Rallier du Baty lors de la campagne EVHOE 2019.

Zone	Date	Station	Longitude (°)	Latitude (°)	Profondeur (m)
DCSMM sous-région Golfe-de-Gascogne nord	22/10/19	XO441	47.82	-4.76	85
	23/10/19	XO442	46.91	-4.78	149
	24/10/19	XO448	46.32	-4.23	170
	01/11/19	XO495	46.62	-2.62	69
	02/11/19	XO496	46.59	-1.99	27
	06/11/19	XO504	47.00	-3.46	105
	06/11/19	XO506	46.08	-3.30	128
	07/11/19	XO510	46.94	-4.28	130
	08/11/19	XO515	47.52	-4.61	113
	09/11/19	XO516	47.01	-5.32	158
	10/11/19	XO523	47.54	-6.66	230
DCSMM sous-région Golfe-de-Gascogne sud	24/10/19	XO452	45.92	-3.72	161
	25/10/19	XO454	45.88	-3.23	131
	26/10/19	XO459	45.27	-2.77	135
	26/10/19	XO463	44.92	-2.22	152
	27/10/19	XO465	44.86	-1.86	113
	28/10/19	XO471	44.25	-1.89	130
	29/10/19	XO477	43.82	-1.99	145
	29/10/19	XO481	44.09	-1.38	35
	30/10/19	XO482	44.54	-1.33	36
	30/10/19	XO486	45.17	-1.43	45
	31/10/19	XO487	45.55	-1.43	39
	31/10/19	XO491	45.74	-1.94	72
	01/11/19	XO492	45.85	-2.39	103
DCSMM sous-région Mer-Celtique Royaume Uni Irlande ZEE	12/11/19	XO528	48.33	-8.32	179
	12/11/19	XO531	49.05	-8.01	149
	13/11/19	XO532	48.99	-9.13	157
	16/11/19	XO538	48.79	-9.67	177
	16/11/19	XO540	49.53	-9.81	150
	17/11/19	XO541	49.97	-8.67	133
	17/11/19	XO544	49.47	-8.07	132
	18/11/19	XO545	49.07	-7.42	134
	18/11/19	XO548	48.39	-6.95	136
	19/11/19	XO549	48.44	-6.01	125

Les stations échantillonnées ont été réparties dans les habitats nommés selon la typologie européenne EUNIS 2019 (EUSeaMap 2019, Vasquez et al. 2019). Nous avons retenu les habitats EUNIS de niveau 3 permettant de prendre en compte la profondeur ainsi que le type de substrat (Tableau 3). La répartition des stations par type d'habitat est illustrée dans les Figure 1 et Figure 2. L'essentiel des stations est localisé dans le domaine circalittoral profond et sur des sables envasés.

Tableau 3 - Habitats EUNIS présents dans cette étude selon la profondeur et le type de substrat.

Zone biologique	***Substrat***				
	Sédiments hétérogènes	Sédiments grossiers	Sables et sables envasés	Vases et vases sableuses	Habitat profond
Circalittoral côtier	A5.44	-	A5.25 et A5.26	A5.35	-
Circalittoral profond	A5.45	A5.15	A5.27	A5.37	A6

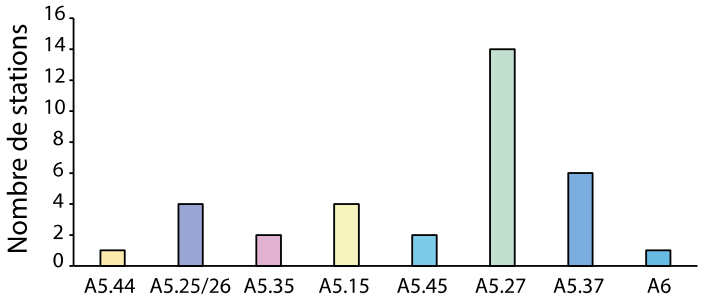


Figure 2 - Répartition du nombre de stations dans chaque habitat échantillonné dans le Golfe de Gascogne et en Mer Celtique.

Collecte des échantillons

À chaque station, trois échantillons (réplicats) de drague Rallier du Baty ont été prélevés le long du transect du chalut, la position de chacun des prélèvements n'étant pas précisément localisée (milieu, début ou en fin de traîne, Figure 3). La drague permet de collecter un maximum de 30L de sédiments environ dont 10L ont été sous-échantillonnés et triés pour extraire la macrofaune benthique. Pour des raisons de contraintes de temps disponible à bord, les réplicats initialement prévus, correspondant à trois prélèvements à la drague pour chaque station, n'ont pu être systématiquement réalisés. Le plan d'échantillonnage a ainsi été modifié dans 21 stations et des pseudo-réplicats ont été réalisés dans le même échantillon afin de garder un effort d'échantillonnage équivalent pour chaque station avec trois sous-échantillons de 10L (Figure 3). Lors de l'analyse des données, les sous-échantillons des dragues ont ensuite été additionnées afin de fournir une meilleure représentation des communautés benthiques sur l'ensemble de la station. Les analyses ont donc été basées sur un échantillon total agrégé de 30L. Le nombre de réplicats ou de pseudo-réplicats ainsi que le type d'habitat sont résumés dans le Tableau 4. A chaque station, des échantillons de sédiments ont été collectés afin de réaliser ultérieurement une analyse granulométrique et de teneur en matière organique.

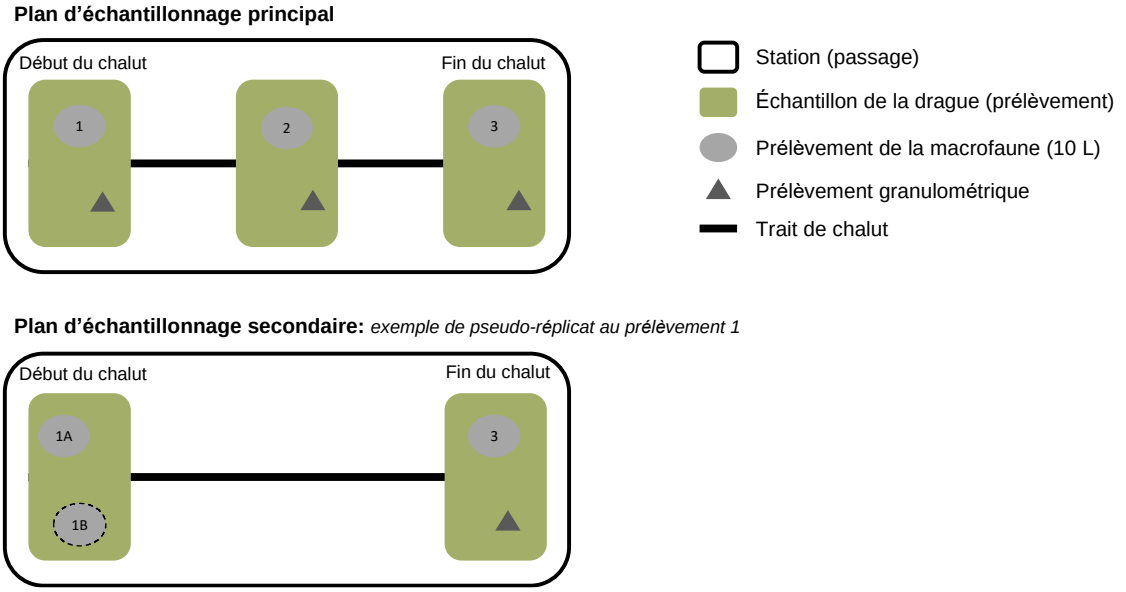


Figure 3 - Plan d'échantillonnage réalisé à bord du Thalassa pour les échantillons de drague. La position des prélèvements indiquée sur la traine au chalut est théorique et n'était pas systématiquement réalisée en début, milieu ou fin de traine.

Les échantillons prélevés dans les dragues ont été tamisés à travers une maille de 2 mm. Le refus du tamis a ensuite été fixé au formaldéhyde à 4%. Au laboratoire, les organismes ont été identifiés au plus bas niveau taxonomique possible exceptés pour quelques phylums (Bryozoa, Hydrozoa, Nemertea, Nematoda, Oligochaeta, Platyhelminthes). Les vertébrés (Actinopterygii) et les invertébrés planctoniques (Chaetognatha et Euphausiacea) ont été enlevés des analyses. En plus de quelques taxa rassemblés sous les phylums Bryozoa, Platyhelminthes, Anthozoa, Nemertea, Sipunculidae (…), quelques individus endommagés n'ont pu être déterminé jusqu'à l'espèce (*e.g. Ampharete*, *Harmothoe*, Maldanidae, Terebellidae). Les noms d'espèces ont été vérifiés et actualisés à l'aide du *World Register of Marine Species* (WORMS Editorial Board, 2021). Les organismes ont été dénombrés et pesés pour obtenir l'abondance et la biomasse humide.

L'ensemble des données a été bancarisé dans la base de données QUADRIGE (Cossais et al. 2022) et est accessible en version libre sur le portail IFREMER « Surval » (https://surval.ifremer.fr/) en utilisant le produit "Données par paramètre".

Tableau 4 - Description des habitats et du nombre de réplicats réalisés par station lors de la campagne EVHOE 2019.

Station	Habitats EUNIS	Nb d'échantillons		
		Réplicat	Pseudo-réplicat	Granulométrie
X0441	A5.27	3		1
X0442	A5.37	2	1	1
X0448	A5.27	2	1	1
X0495	A5.44	2	1	2
X0496	A5.36	2	1	1
X0504	A5.37	3		1
X0506	A5.15	3		1
X0510	A5.37	2	1	
X0515	A5.37	3		3
X0516	A5.45	1	2	1
X0523	A6	2	1	1
X0452	A5.27	2	1	
X0454	A5.27	2	1	2
X0459	A5.27	3		
X0463	A5.27	2	1	
X0465	A5.27	3		
X0471	A5.27	2	1	1
X0477	A5.27	3		1
X0481	A5.25/26	3		1
X0482	A5.25/26	2	1	
X0486	A5.25/26	3		
X0487	A5.35	3		
X0491	A5.25/26	2	1	
X0492	A5.45	3		1
X0528	A5.27	2	1	2
X0531	A5.27	3		1
X0532	A5.27	2	1	3
X0538	A5.15	2	1	
X0540	A5.37	2	1	
X0541	A5.37	2	1	3
X0544	A5.27	2	1	2
X0545	A5.15	2	1	2
X0548	A5.27	2	1	2
X0549	A5.15	3		2

Données environnementales

Afin de déterminer la distribution granulométrique et la teneur en matière organique du sédiment, des échantillons ont été prélevés sur 23 stations à l'aide d'un tube de 7 cm de diamètre sur 10 cm de profondeur. Les échantillons ont été préservés au congélateur -20°C.

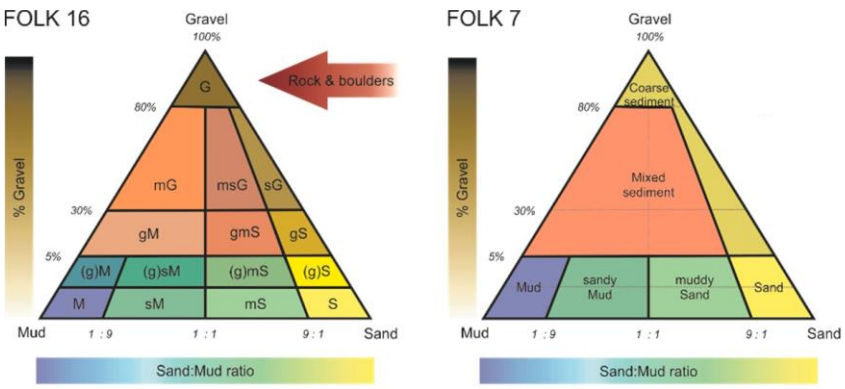
Concernant la granulométrie, le sédiment a été préalablement séparé en deux fractions : fine (< 63 µm) et plus grossière (> 63 µm). Chaque fraction a été séchée dans une étuve à 60°C pendant 48 heures. La fraction inférieure à 63 µm a été directement pesée. La fraction supérieure à 63 µm a été tamisée à sec sur une colonne vibrante de 26 tamis de maille décroissante (de 20 mm à 63 µm). Les

refus de tamis ont ensuite été pesés pour déterminer le pourcentage de chaque classe de sédiment. Les échantillons ont ainsi été caractérisés par : la médiane des tailles de grain (D50), le pourcentage des différentes classes granulométriques (Tableau 5, Wentworth 1922, Folk et Ward 1957) et par classe sédimentaire à partir des diagrammes sédimentaires de Folk (Kaskela et al. 2019; Figure 4). Le pourcentage de matière organique a été déterminé à l'aide de la méthode de pesée des sédiments avant et après calcination à 450°C sur un sous-échantillon de sédiment. Les données de température, de profondeur et de salinité ont été relevées à l'aide d'une sonde fixée au chalut (NKE STPS 300m PR ou NKE SP2T_600-PR).

Tableau 5 - Classes granulométriques selon la classification en 7 classes de Folk.

Taille (µm)	***Classe granulométrique***
<63 µm	Silts et argiles
63 µm – 125 µm	Sables très fins
125 µm - 250 µm	Sables fins
250 µm - 500 µm	Sables moyens
500 µm - 1 mm	Sables grossiers
1 mm - 2 mm	Sables très grossiers
>2 mm	Graviers

La distribution des stations échantillonnées a été caractérisée au regard de la pression d'abrasion exercée par le chalutage de fond. Les données d'abrasion utilisées (Ifremer, 2022) sont issues du traitement des données de suivi des navires de pêche (VMS : *Vessel Monitoring System*) combinées à la qualification des engins utilisées pour en définir l'empreinte (Georges et al. 2021).



FOLK, 16 classes	FOLK, 7 classes
Rock & Boulders	Rock & Boulders
Gravel - G sandy Gravel - sG) gravelly Sand - gS	Coarse sediment
muddy Gravel - mG muddy sandy Gravel - msG gravelly Mud - gM gravelly muddy Sand - gmS	Mixed sediment
(gravelly) Mud - (g)M Mud - M	Mud *(Mud >= 90%; Sand < 10%; Gravel < 5%)*
(gravelly) sandy Mud – (g)sM sandy Mud - sM	sandy Mud *(Mud 50-90%; Sand 10-50%; Gravel < 5%)*
(gravelly) muddy Sand – (g)mS muddy Sand - mS	muddy Sand *(Mud 10-50%; Sand 50-90%; Gravel <5%)*
(gravelly) Sand – (g)S Sand	Sand *(Mud < 10%; Sand >= 90%; Gravel < 5%)*

Figure 4 - Diagramme triangulaire de classification sédimentaire d'après Folk et Ward (1957) et modifié par Kaskela et al. (2019).

Analyses statistiques

Compte tenu de l'homogénéité entre les réplicats d'une même station, ceux-ci ont été agrégés par station pour le reste des analyses. Pour chaque station, nous avons calculé l'abondance (N), correspondant au nombre d'individus présents dans 30L (ind.30L^{-1}), et la biomasse humide totale (g.30L^{-1}). Afin de caractériser les communautés observées, nous avons notamment utilisé les courbes d'abondance-biomasse (Warwick et Clarke, 1994). Ces courbes, et surtout leur position relative, traduisent la dominance d'un type de stratégie écologique r ou K au sein de la communauté benthique et sont souvent utilisées pour traduire le niveau de perturbation d'un milieu. Ainsi, en présence d'une communauté peu perturbée (dominance d'espèces à stratégie K), la courbe de biomasse va se trouver au-dessus de la courbe d'abondance. Des indices de diversité ont également été calculés à chaque station à l'aide du package R « vegan » (R Core Team 2018) : (i) la richesse taxonomique correspondant au nombre de taxa présents dans une communauté, (ii) l'indice de diversité de Shannon (H') et (iii) l'indice d'équitabilité de Piélou (J').

Pour les analyses, certains taxa ont été groupés à un niveau taxonomique supérieur; notamment les taxa non systématiquement déterminables au niveau spécifique (par exemple : *Ampharete* sp, Cirratulidae…). Les analyses multivariées suivantes ont ainsi été faites sur une matrice taxons*station comportant 495 taxons sur les 550 compris dans la matrice initiale. Afin d'identifier des

assemblages de taxons dans la zone d'étude, nous avons procédé à un regroupement hiérarchique basé sur la méthode de Ward (Legendre et Legendre 1998). Les données d'abondances et de biomasse ont été soumises à une transformation d'Hellinger pour diminuer le poids des espèces rares. Le nombre optimal de clusters a été déterminé en utilisant l'algorithme K-means (Legendre et Legendre, 1998). Les taxons caractéristiques de chacun des clusters (appelés assemblages par la suite) ont été identifiés à l'aide de la méthode IndVal qui combine abondance et fréquence d'occurrence des taxons (Dufrêne et Legendre, 1997). Ainsi, une valeur indicatrice est calculée pour chaque taxon dans chaque assemblage précédemment identifié, en fonction de leur spécificité et de leur fidélité à chaque cluster (équation 1).

$$Indval_{ij} = Spécificité_{ij} \times Fidélité_{ij} \times 100 \qquad (Équation\ 1)$$

La spécificité permet de déterminer si un taxon est distribué dans de nombreux assemblages (faible spécificité) ou s'il n'est présent que dans l'assemblage d'intérêt (spécificité élevée). La fidélité permet de déterminer dans quelle mesure un taxon est présent dans toutes les stations (fidélité élevée) ou dans quelques stations (fidélité faible) de l'assemblage d'intérêt. Par exemple, le taxon ayant une valeur d'indicateur de 1, serait trouvé exclusivement dans un assemblage et serait présent dans toutes les stations de cet assemblage.

Afin d'étudier les relations entre les assemblages benthiques (variables réponses) et les paramètres de l'habitat (variables explicatives), nous avons utilisé l'analyse de redondance basée sur la distance euclidienne (dbRDA, Oksanen et al 2020; McArdle and Anderson, 2001). Une ANOVA basée sur la permutation a été utilisée pour tester la signification des axes et des paramètres du modèle.

Enfin, nous avons caractérisé les communautés observées en termes de gradients de pression exercés par le chalutage en utilisant la variable d'abrasion calculée par Ifremer pour l'année 2019 (Ifremer 2022, Georges 2021) et exprimée en ratio de surface chalutée sur une cellule de 1'/1' et intégrée sur une année (unité = année^{-1}). Les données utilisées ne couvrent que la Zone Economique Exclusive (ZEE) française et donc 7 stations échantillonnées en mer Celtique sont exclues de cette analyse.

3. Résultats

Caractéristiques sédimentaires

Les stations situées en mer Celtique présentent des sédiments relativement plus grossiers que les stations situées dans le golfe de Gascogne (Figure 5A). Les valeurs de D50 des stations situées en mer Celtique (variant de 250 à 625 µm, Figure 5B) correspondent à des sédiments de type sable moyen à graviers. Au contraire, les sédiments du golfe de Gascogne sont majoritairement constitués de particules fines (107µm < D50 < 250µm) notamment dans la Grande Vasière où la vase est très

présente. Les stations situées le long du talus continental se composent majoritairement de sédiments plus grossiers (D50 > 250 µm) composés de sables moyens à très grossiers, voire des graviers (Figure 5). Les plus fortes valeurs de pourcentage de matière organique (4.71%) ont été trouvées au coeur de la grande vasière à la station « 504 ». Cette dernière était également caractérisée par un sédiment de type sable vaseux (Figure 5A et C). A contrario, les plus faibles valeurs de matière organique ont été recensées en mer Celtique (< 1%; Figure 5C).

Les résultats de granulométrie obtenus en laboratoire ont été comparés aux types d'habitats EUNIS de niveau 3 (EUSeaMap 2019, Vasquez et al. 2019) qui se limitent à une description physique des habitats benthiques et notamment du type de substrat. Ainsi, 59% des résultats de granulométrie obtenus *in situ* correspondent aux types d'habitats de la cartographie européenne EUNIS 2019. Certaines incertitudes ont été remarquées pour des stations situées dans la Grande Vasière et au nord de la mer Celtique où les habitats EUNIS ne correspondaient pas aux résultats obtenus *in situ* par les analyses granulométriques. Cependant, le jeu de données étant relativement limité (seulement 22 stations sur 34 échantillonnées pour des données granulométriques), le type d'habitat EUNIS extrait des couches EU SeaMap 2019 sera utilisé comme principal descripteur de l'habitat dans les analyses. Nous présentons néanmoins les résultats des analyses multivariées (dbRDA) en utilisant soit la classification EUNIS soit les catégories sédimentaires obtenues par l'analyse granulométrique. Pour ces analyses multivariées, la bathymétrie vient compléter les données environnementales structurantes.

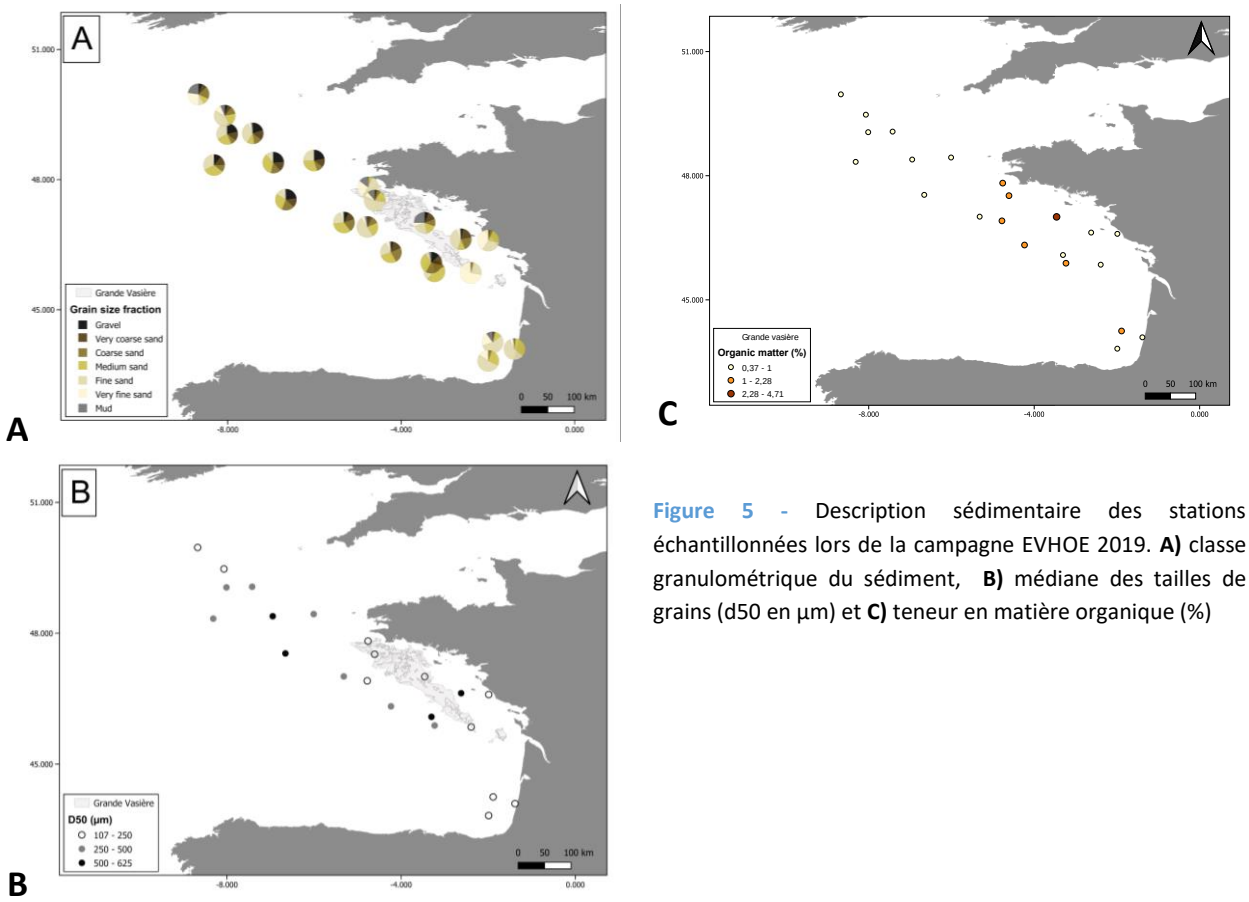


Figure 5 - Description sédimentaire des stations échantillonnées lors de la campagne EVHOE 2019. **A)** classe granulométrique du sédiment, **B)** médiane des tailles de grains (d50 en µm) et **C)** teneur en matière organique (%)

Caractéristiques faunistiques par habitats

Diversité

Sur l'ensemble des stations échantillonnées, 550 taxa ont été observés dont 66% ont été déterminés au niveau spécifique. De façon globale, la macrofaune était dominée par les annélides (278 taxons), les crustacés (121 taxons), les mollusques (92 taxons) et par les échinodermes (39 taxons). Les indices de diversité présentent des valeurs généralement plus élevées dans les habitats du circalittoral profond (Tableau 6).

Abondance et biomasse

Les habitats du circalittoral côtier présentaient globalement des valeurs d'abondance totale moins élevées que les habitats du circalittoral profond (Tableau 6). Les habitats sableux (A5.27) et vaseux (A5.37) du circalittoral profond présentaient les plus fortes valeurs d'abondance totale, en raison notamment de la présence du polychète *Nereis* sp (133 ind $30L^{-1}$). L'unique station échantillonnée dans l'habitat profond (A6) ne permet pas d'effectuer de comparaison fiable avec les autres habitats. Il faut toutefois souligner que cette station présentait des valeurs d'abondances encore plus élevées.

Dans la plupart des habitats, les annélides dominent numériquement excepté dans les habitats vaseux côtiers (A5.35) où les ophiures, *Amphiura* sp (19.5 ind. 30L^{-1}) et *Acrocnida brachiata*, (15.5 ind. 30L^{-1}) ainsi que les mollusques, *Abra alba* (57.5 ind. 30L^{-1}) et *Nucula nitida* (12 ind. 30L^{-1}), dominent (Figure 6A). Dans les habitats hétérogènes côtiers (A5.44), les cnidaires (Actiniaria, 114 ind. 30L^{-1}) sont dominants numériquement, suivis par les annélides (Figure 6A). Les habitats sableux (A5.27) sont caractérisés par la dominance des polychètes *Ditrupa arietina* (32.36 ind. 30L^{-1}) et *Aponuphis bilineata* (22.14 ind. 30L^{-1}) ainsi que du bivalve *Varicorbula gibba* (19 ind. 30L^{-1}). Enfin, les habitats vaseux (A5.37) présentent une forte abondance de polychètes avec notamment *Aponuphis bilineata* (68 ind. 30L^{-1}), *Paradiopatra calliopae* (29.33 ind. 30L^{-1}), *Lumbrineris cingulata* (10.17 ind. 30L^{-1}).

Tableau 6 - Valeurs des moyennes et des erreurs standards (SE) pour chaque indicateur selon les habitats EUNIS (2019) du circa-littoral côtier et profond.

Indices	**Circa-littoral côtier**			**Circa-littoral profond**				
	A5.44	**A5.25**	**A5.35**	**A5.45**	**A5.15**	**A5.27**	**A5.37**	**A.6**
	N = 1	N = 4	N = 2	N = 2	N = 4	N = 14	N = 6	N =1
Abondance totale	295	87.8 (8.8)	201.5 (44.50)	242.5 (188.51)	238.8 (53.2)	322.93 (52.91)	285.67 (99.21)	625
Biomasse totale	40.4	34.0 (20.95)	19.34 (11.53)	14.70 (5.11)	30.94 (23.7)	28.38 (9.33)	11.08 (6.19)	12.8
Richesse spécifique	47	28 (4.65)	21 (4.00)	46.5 (29.49)	60.8 (5.15)	58.4 (6.60)	48.83 (9.07)	112
Indice de Shannon	2.61	2.73 (0.16)	2.30 (0.36)	2.75 (0.13)	3.17 (0.40)	3.12 (0.16)	2.79 (0.15)	3.56
Équitabilité de Pielou	0.68	0.84 (0.02)	0.76 (0.07)	0.79 (0.13)	0.77 (0.10)	0.78 (0.03)	0.74 (0.05)	0.76

Dans l'ensemble, les habitats du circalittoral profond semblent présenter une plus faible biomasse totale en comparaison aux habitats plus côtiers (Tableau 6) même si ce résultat doit être relativisé au regard de la relative faiblesse de l'effort d'échantillonnage notamment pour les habitats côtiers. D'un point de vue pondéral (biomasse), les mollusques dominent dans la plupart des habitats (Figure 6B). Quelques stations échappent à cette tendance, telle l'unique station échantillonnée dans l'habitat à sédiments hétérogènes côtier (A5.44) qui présentait une plus grande proportion de cnidaires (Actiniaria, 32.15 g 30L^{-1}), ou pour les stations dans les habitats sableux et vaseux côtiers (A5.25-26 et A5.35, respectivement) qui sont dominées par des échinodermes comme *Spantagus purpureus* (18.93 g 30L^{-1}; Figure 6B).

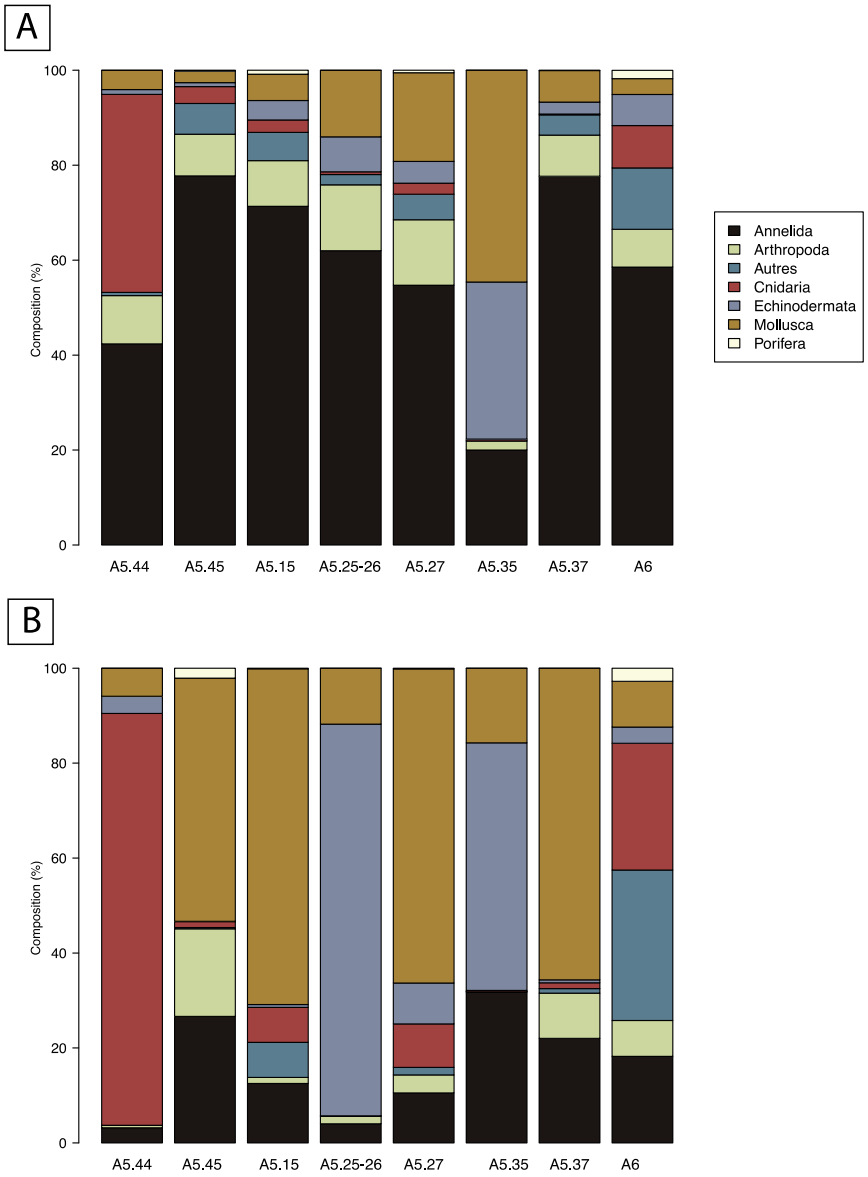


Figure 6 – Composition taxonomique des différents habitats dans le Golfe de Gascogne et la mer Celtique selon l'abondance **(A)** et la biomasse humide **(B)**.

Quelque soit l'habitat considéré, les courbes abondances-biomasses sont toutes de même nature : la courbe d'abondance-biomasse présentait des valeurs de biomasse toujours supérieures à celles de l'abondance (Figure 7). Ce résultat traduit des assemblages benthiques plutôt stables, composés d'espèces relativement peu abondantes.

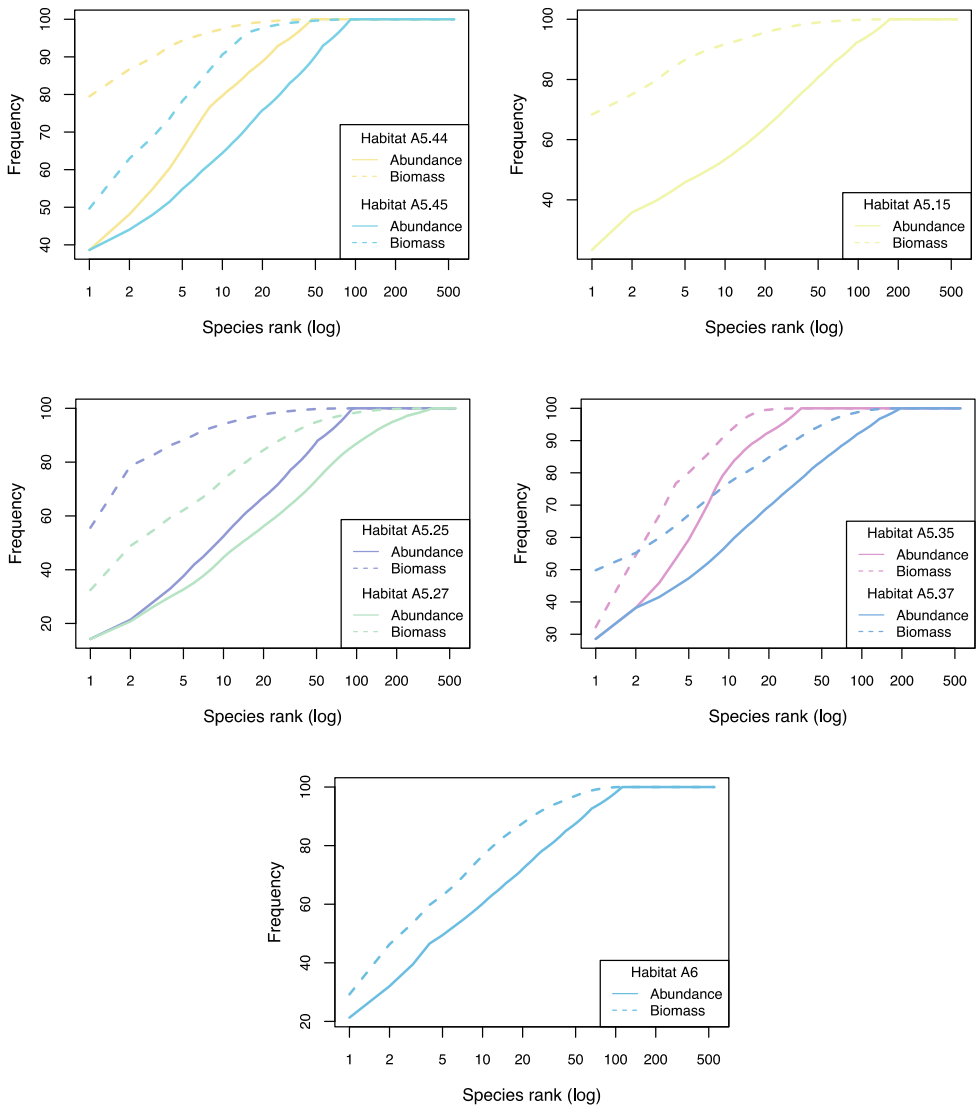


Figure 7 - Valeurs de l'abondance et de la biomasse pour les espèces classées (échelle logarithmique), pour chaque habitat EUNIS (2019).

Caractérisation des assemblages benthiques et relations avec les paramètres environnementaux

L'analyse de classification fait ressortir trois principaux assemblages faunistiques (

Figure 8). L'analyse dbRDA révèle un gradient côte-large (variable « Longitude »), distinguant les stations peu profondes (assemblage A) associées à des habitats du circalittoral côtier sablo-vaseux, des stations profondes (assemblages B et C) associées à des habitats du circalittoral profond (Figure 9A). L'utilisation des catégories sédimentaires déterminées à partir des prélèvements réalisés au cours de cette étude permet d'améliorer significativement la classification des stations (Figure 9B).

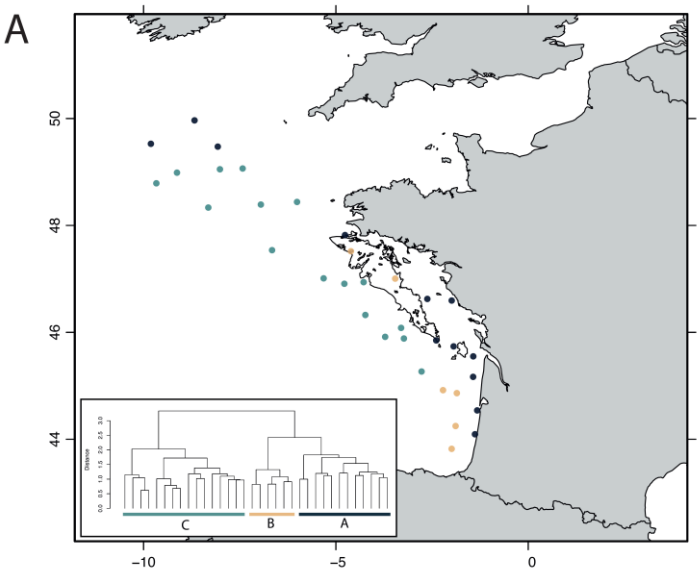
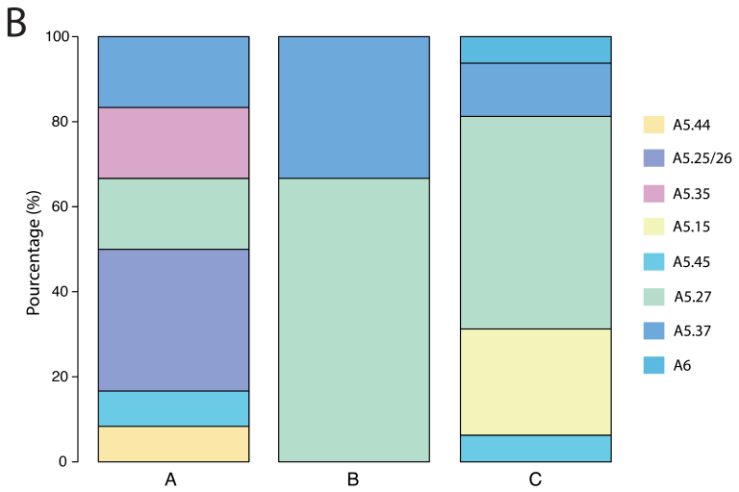


Figure 8 – Caractérisation des assemblages de la macrofaune dans le Golfe de Gascogne et la mer Celtique déterminés par une analyse de regroupement, **A)** Carte des répartitions, les limites de la grande vasière du golfe de Gascogne sont également indiquées, **B)** Répartition des habitats EUNIS dans les trois assemblages et **C)** résumé des principales caractéristiques des assemblages



C

Cluster	A	B	C
Nombre de stations	12	6	16
Gamme bathymétrique (m)	85-103	105-152	125-230
Gamme granulométrique (D50 en µm)	107-544	141-231	230-624
Nombre de taxa	261	151	410

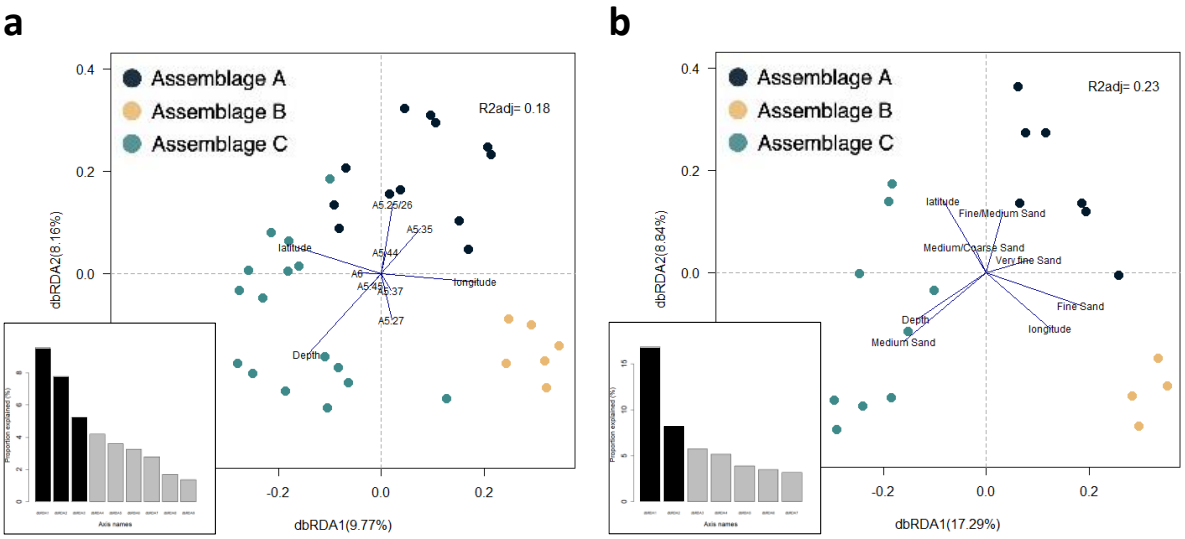


Figure 9 - Graphique d'ordination issue d'une analyse canonique de redondance basée sur la matrice stations-espèces, **a)** les variables environnementales considérées comprennent les habitats EUNIS (EU SeaMap 2019, Vasquez et al.2019) et la profondeur et **b)** les habitats EUNIS sont remplacés par les typologies sédimentaires issues des données de dragues. Dans les deux cas les longitude et latitude ont été également intégrées aux analyses. Les 3 assemblages (A à C) obtenus après classification hiérarchique sont également indiqués. Les barplots illustrent la distribution relative des axes, les axes significatifs sont indiqués en noir (permutation test, p≤0.05).

Assemblage A

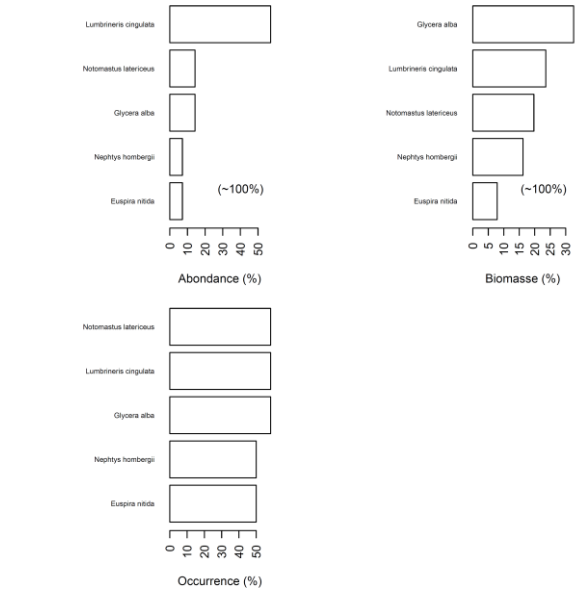
L'assemblage A regroupe 12 stations situées sur les secteurs échantillonnés les plus côtiers et moins profonds du Golfe de Gascogne, en périphéries de la Grande vasière et de la vasière de la mer Celtique (Figure 8A). La profondeur moyenne est de 77 ± 13 m, avec une faible teneur en matière organique (données disponibles sur 7 stations : 0.92 ± 0.19 %). Des différents assemblages identifiés, c'est celui qui montre la plus grande hétérogénéité dans le type d'habitat échantillonné (Figure 8B) avec des substrats majoritairement sableux et vaseux. L'indicateur IndVal ne permet pas de dégager d'espèce spécifique à cet assemblage (Indval toujours <0.5). L'assemblage A se caractérise par des espèces affines des substrats détritiques et des sédiments de type vases à sables fins (Figure 9) telles que les polychètes *Lumbrineris cingulata*, *Notomastus latericeus, Nephtys hombergii* ou encore *Glycera alba* qui dominent en fréquence d'abondance et de biomasse (Figure 10). On peut noter quelques espèces dont peu d'individus peuvent représenter sur certaines stations des biomasses très importantes tels que les échinodermes *Spatangus purpureus, Echinocardium flavescens* et *Paraleptopentacta elongata* ainsi que des anémones.

Assemblage B

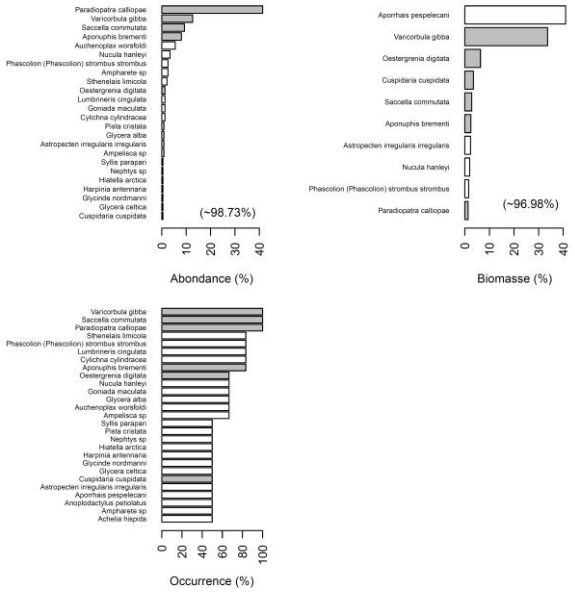
L'assemblage B regroupe 6 stations situées sur le haut du talus continental dans la partie sud du Golfe de Gascogne ainsi que dans la Grande Vasière (Figure 8A). Cet assemblage est majoritairement associé à un substrat vaseux à sable vaseux. La profondeur moyenne est de 127 ± 8

m, avec une forte teneur en matière organique (données disponibles sur quatre stations : 2.26 ± 0.89 %). Ce groupe est caractérisé par six espèces (

Assemblage A (R=261)



Assemblage B (R=151)



Assemblage C (R=410)

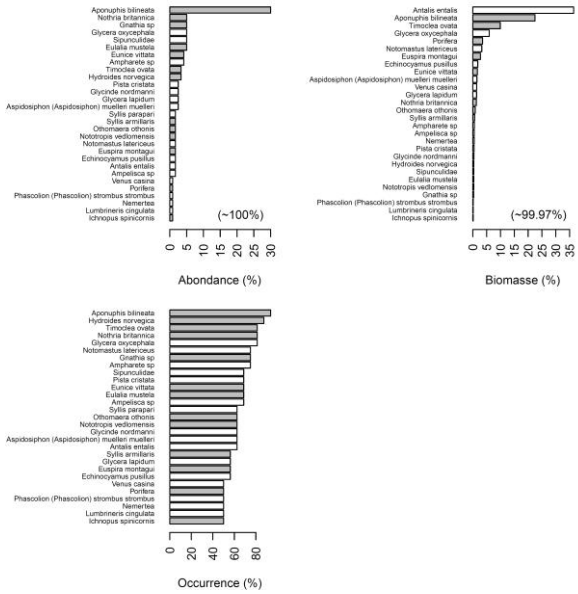


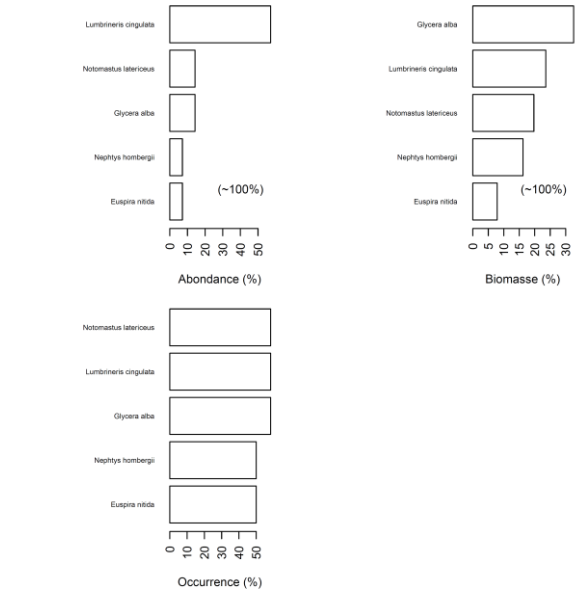
Figure 10 - Distribution des principales espèces en abondance médiane (IndVal significatif ou fréquence≥1%), biomasse médiane (IndVal significatif ou fréquence≥1%) et occurrence (IndVal significatif ou fréquence≥50%) pour chacun des 3 assemblages identifiés (A,B et C). Les barres grises indiquent les espèces pour lesquelles l'indicateur « IndVal » est significatif (valeur>0.5 et p≤0.05). Si nécessaire, la liste d'espèces principales a été étendue jusqu'à l'espèce présentant une fréquence inférieure aux seuils définis mais avec un IndVal significatif. Les valeurs indiquées entre parenthèses fournissent la proportion relative en biomasse ou abondance couverte par les espèces sélectionnées. « R » indique la richesse spécifique totale.

, IndVal≥0.5 et p-value ≤ 0.05) dont les mollusques *Varicorbula gibba*, *Saccella commutata*, les polychètes *Paradiopatra calliopae*, *Aponuphis brementi*, qui dominent aussi en abondance (Figure 10), et l'échinoderme *Oestergrenia digitata*. Ce groupe est notamment caractérisé par des espèces opportunistes et affines des habitats à sédiments fins, envasés (Figure 8 et Figure 9) telles que le polychète *Paradiopatra calliopae* et le bivalve *Varicorbula gibba*. En terme de biomasse, les mollusques *Aporrhais pespelecani* et *Varicorbula gibba* sont dominants.

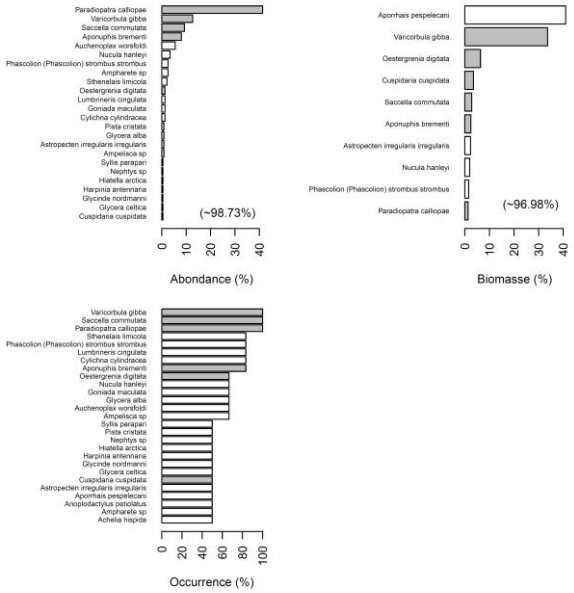
Assemblage C

L'assemblage C regroupe 16 stations situées sur le haut du talus continental dans la partie nord du Golfe de Gascogne ainsi que dans la mer Celtique (Figure 8A). La profondeur moyenne est de 153.1 ± 6.7 m, avec une faible teneur en matière organique (données disponibles sur 11 stations : 0.95 ± 0.12 %). L'assemblage C, caractérisé par les stations les plus profondes et des sédiments détritiques, hétérogènes à sableux (Figure 8B et Figure 9). Ce groupe est caractérisé par 13 espèces significatives selon les valeurs Indval (Figure 10). On y retrouve des espèces caractéristiques de ces habitats telles que l'annélide polychète *Aponuphis bilineata* dominant numériquement et en occurrence, et pondéralement seconde (derrière le Dentaliidae *Antalis entalis*). On peut noter également qu'en quelques stations, la faune est dominée en termes de biomasse, par le mollusque *Venus casina* (12.4 ± 5.8 g $30L^{-1}$) ou encore le polychète *Ditrupa arietina* (1.7 ± 1.1 g $30L^{-1}$).

Assemblage A (R=261)



Assemblage B (R=151)



Assemblage C (R=410)

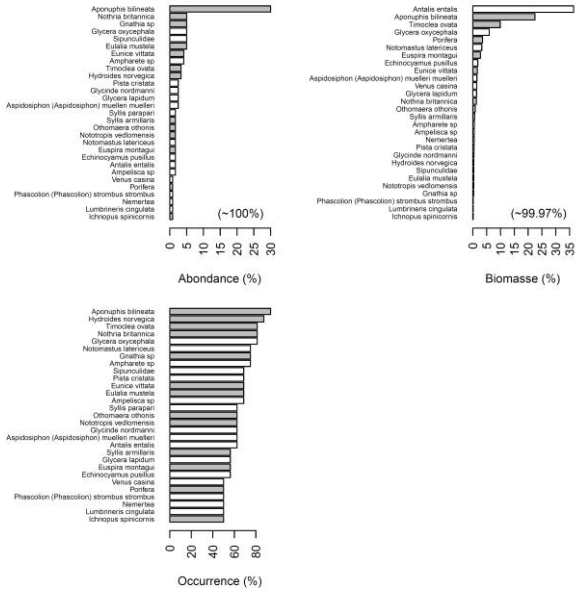


Figure 10 - Distribution des principales espèces en abondance médiane (IndVal significatif ou fréquence≥1%), biomasse médiane (IndVal significatif ou fréquence≥1%) et occurrence (IndVal significatif ou fréquence≥50%) pour chacun des 3 assemblages identifiés (A,B et C). Les barres grises indiquent les espèces pour lesquelles l'indicateur « IndVal » est significatif (valeur>0.5 et p≤0.05). Si nécessaire, la liste d'espèces principales a été étendue jusqu'à l'espèce présentant une fréquence inférieure aux seuils définis mais avec un IndVal significatif. Les valeurs indiquées entre parenthèses fournissent la proportion relative en biomasse ou abondance couverte par les espèces sélectionnées. « R » indique la richesse spécifique totale.

Les stations échantillonnées couvrent un gradient de pression d'abrasion par la pêche depuis des valeurs inférieures à 1 année^{-1} jusqu'aux valeurs les plus élevées supérieures à 14 année^{-1} (Figure 11). Les valeurs et le gradient maximaux se retrouvent dans l'habitat EUNIS A5.37 correspondant à la grande vasière (Figure 11c). Les stations du large (assemblages C) sont caractérisées par des niveaux d'abrasion plus faibles que les stations les plus côtières (assemblage A).

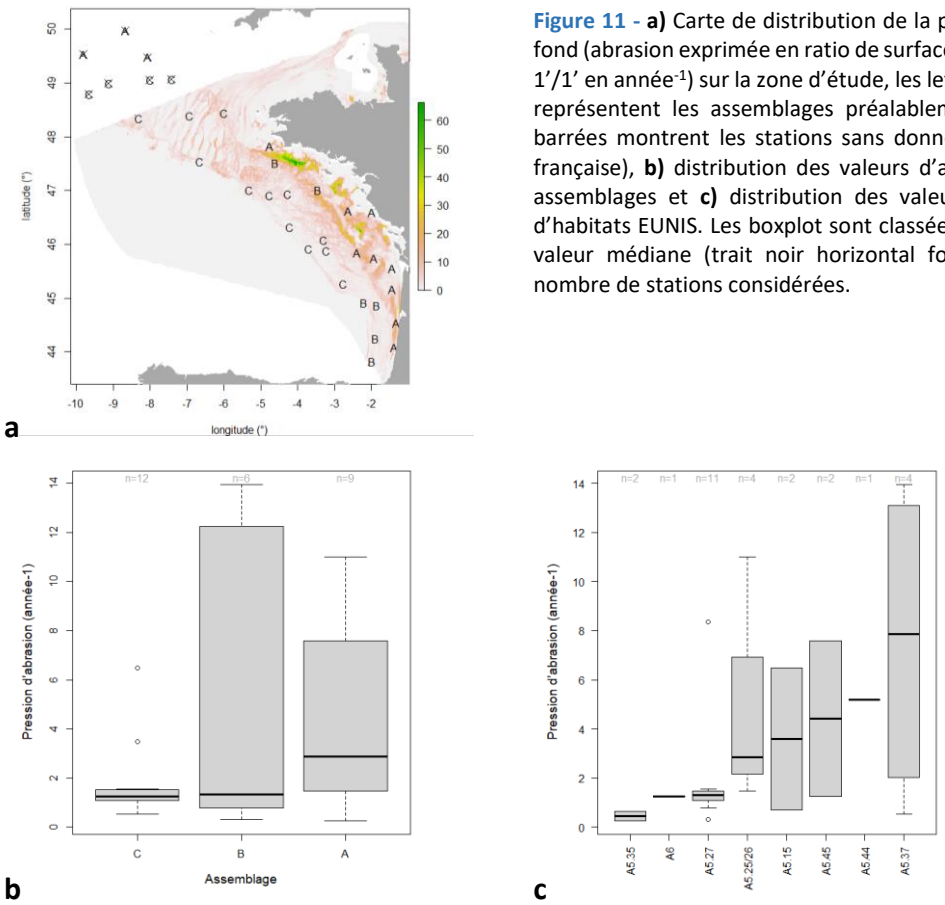


Figure 11 - a) Carte de distribution de la pression de chalutage de fond (abrasion exprimée en ratio de surface impactée par cellule de 1'/1' en année^{-1}) sur la zone d'étude, les lettres majuscules A,B et C représentent les assemblages préalablement définis, les lettres barrées montrent les stations sans donnée d'abrasion (hors ZEE française), **b)** distribution des valeurs d'abrasion regroupées par assemblages et **c)** distribution des valeurs d'abrasion par type d'habitats EUNIS. Les boxplot sont classées par ordre croissant de valeur médiane (trait noir horizontal foncé). « n= » indique le nombre de stations considérées.

4. Discussion

Analyses de faisabilité technique d'un échantillonnage de la macrofaune benthique à la drague

L'échantillonnage de la macrofaune à la drague Rallier du Baty s'est déroulé dans le contexte de la campagne halieutique EVHOE en bénéficiant de façon opportuniste du temps disponible à bord en dehors des autres opérations prioritaires. A bord, ces opérations ont eu lieu principalement en début et fin de journée en mobilisant trois marins sur le pont et deux personnels scientifiques pour le tamisage et le conditionnement des échantillons (Annexe 1, Figure 12). Le plan d'échantillonnage était également contraint par les stations prévues dans le cadre des opérations de chalutage. A raison d'un maximum de deux opérations de dragage par jour, 34 stations avec un total de 80 réplicats ont été échantillonnées sur l'ensemble de la mission.

La drague Rallier du Baty n'est pas l'engin optimal pour la description des communautés benthiques. Cet engin ne permet pas d'échantillonner de façon quantitative la faune, comme peuvent le permettre les bennes ou les carottiers. L'échantillonnage n'est que semi-quantitatif (rapporté à un volume de sédiment). La façon dont la drague prélève sur le fond peut varier d'une station à une autre (remplissage rapide ou progressif) conduisant notamment à des volumes prélevés extrêmement

variables en fonction du type sédimentaire (ex. saturation rapide dans des vases en comparaison à des sédiments plus grossiers). Enfin des problèmes de lessivage du sédiment (et de perte d'une partie des particules fines) peuvent survenir. Un ajustement du protocole, notamment des temps de traine doit donc être effectué à chaque station, dans la mesure où la nature de l'habitat ciblé est connue. Cependant, la drague Rallier du Baty a permis de réaliser l'ensemble des prélèvements dans des contextes sédimentaires variés (de vases à sables grossiers). Cet engin de prélèvement robuste et relativement facile de mise en œuvre présente donc une capacité de prélèvements assez généraliste plutôt appréciable dans le contexte de la mise en place d'un protocole d'observation standard ciblant une grande variété d'habitats. En Manche ouest et central, compte tenu de la dureté des fonds, des conditions hydrodynamiques et de la profondeur, cet engin est le seul utilisable (campagnes BENTHOCLIM et CAMANOC réalisées en Manche ouest en 2012 et 2014, Travers-Trolet 2014, Gaudin et al., 2018). Cet engin a été retenu dans le cadre de cette étude, dans un objectif de comparaison des données entre les différentes zones géographiques, une telle approche ne pouvant être possible qu'avec l'utilisation d'un engin commun.

Le traitement à terre incluait des opérations chronophages et tout particulièrement le tri des échantillons formolés afin d'en extraire les organismes capturés et surtout leur l'identification. L'analyse de l'ensemble des réplicats a nécessité environ 12 mois de travail. La faune s'est en effet révelée très diversifiée (>500 taxa), avec, d'une manière générale, assez peu d'individus par espèce et des organismes de petite taille (généralement <1cm). L'expertise taxonomique représente ici une compétence critique pour mener à bien et de façon efficace ce dépouillement d'autant plus que nous nous intéressons ici à des communautés du large souvent moins connues et décrites que les communautés côtières. Le temps de traitement des échantillons dépend évidemment de la personne en charge des déterminations. Dans le cadre de cette étude, compte tenu des très grandes compétences de Marie Pierrejean en taxonomie, l'enseignement majeur est que cette durée de 12 mois (soit environ 3 jours par réplicat) est difficilement compressible et constitue une valeur minimale. A ce temps doit s'ajouter celui de la saisie (environ 1/2 mois) et de l'analyse des données (environ 2 mois). Cependant, dans le cadre d'un développement opérationnel de ces observations pour en dériver des indicateurs d'états des habitats, il est envisageable de réduire les exigences de précision taxonomique. Cette suffisance taxonomique (*e.g.* Brind'Amour et al. 2014) doit être définie pour atteindre un niveau adéquat selon les indicateurs et les pressions ciblées ce qui nécessite des études complémentaires. Enfin, un délai supplémentaire aurait permis d'aboutir à une analyse de la diversité fonctionnelle des assemblages benthiques. La constitution d'une base de trait reflétant la vulnérabilité de la faune au chalutage, compte tenu du nombre d'espèces et du manque d'informations pour beaucoup d'entre elles est toutefois un travail long, dont on peut estimer la durée à plusieurs mois.

Description et caractérisation des communautés observées

L'échantillonnage réalisé à partir d'EVHOE 2019 ne fournit qu'une vision très partielle des communautés de macrofaune benthique du plateau continental du golfe de Gascogne. Les stations échantillonnées correspondent à huit habitats EUNIS (niveau 3) avec une sur-représentation du domaine circa-littoral profond (principale zone parcourue par la campagne EVHOE), et notamment des habitats de sables circalittoraux (EUNIS A5.27), au détriment des secteurs plus côtiers ou plus profonds situés sur la pente du plateau continental.

Les assemblages caractérisés lors de cette étude s'organisent de façon attendue selon les gradients bathymétriques et les principaux types sédimentaires. Parmi ces assemblages, l'assemblage le plus côtier (A) est le plus hétérogène en regroupant des stations généralement d'habitats sablo-vaseux mais très dispersés dans le golfe de Gascogne et la mer Celtique. Ce groupe hétérogène mériterait certainement d'être subdivisé en sous-habitats ce que l'effort d'échantillonnage relativement faible et la méthodologie d'analyse choisie ne nous permettent pas. Les courbes Abondance/Biomasse, avec des courbes de biomasses toujours supérieures aux abondances, montrent globalement des communautés relativement stables ce qui correspond aux connaissances générales sur la structure et le fonctionnement dans ces habitats circalittoraux soumis à des pressions environnementales naturelles relativement faibles (*e.g.* effet des courants, Churchill et al. 1988, Mengual 2016). En termes de pressions anthropiques, le gradient couvert par les stations échantillonnées apparait relativement faible par comparaison au gradient potentiel d'abrasion à l'échelle de la zone d'étude (un ratio de surface impactée jusqu'à plusieurs dizaines par années). Il reste à déterminer si ce gradient est suffisant pour détecter une réponse de la macrofaune ce qui fera l'objet d'analyses ultérieures.

L'analyse s'est appuyée sur la cartographie EUNIS (EU SeaMap 2019, Vasquez et al. 2019), aujourd'hui largement utilisée comme référence pour définir la distribution des habitats sur les plateaux continentaux européens (*e.g.* typologie EUNIS utilisée pour le développement des indicateurs d'impact au chalutage de fond, ICES 2020). Notre étude a mis en évidence certains défauts de correspondance entre les habitats des cartographies EUNIS et les analyses de typologies sédimentaires réalisées (59% de correspondance). Si les cartographies EUNIS représentent globalement une bonne description à large échelle des habitats, nos résultats confirment que les cartes EUNIS doivent cependant être utilisées avec précaution. Il existe à petite échelle spatiale une hétérogénéité des habitats et de facto des assemblages benthiques largement méconnue. Les travaux de Lamarque (2022) réalisés sur la grande vasière ouest Gironde et qui se sont appuyés sur un échantillonnage exhaustif d'une enclave dominée par des sédiments fins, mettent bien en évidence l'existence de cette hétérogénéité.

Perspectives – pistes d'amélioration

La pertinence d'un suivi de la macrofaune benthique du plateau continental du golfe de Gascogne n'est pas remise en cause par cette étude préliminaire mais sa capacité de réalisation au cours des campagnes halieutiques nécessite des aménagements notamment en termes de couverture spatiale ou encore de personnel dédié (*e.g.* en termes de temps attribué à bord et de compétences taxonomiques). L'effort d'échantillonnage pourrait être accru en disposant à bord d'une équipe dédiée à ces prélèvements en profitant des périodes nocturnes, sous réserve de compatibilité avec les autres opérations menées lors des campagnes au titre du règlement *Data Collection Framework*. Une adaptation du plan d'échantillonnage, au regard des habitats et des pressions qu'ils subissent, deviendrait alors envisageable. Les stations à échantillonner pourraient être mieux ciblées en identifiant des habitats prioritaires croisés avec des gradients de pression.

Les analyses préliminaires réalisées pour ce rapport doivent être complétées notamment en comparant la répartition des communautés de macrofaune à celles observées avec les échantillons de mégafaune chalutée. L'objectif est de compléter la description des assemblages et de vérifier l'apport relatif de l'un et l'autre des jeux de données pour décrire notamment la diversité benthique et sa distribution dans l'espace. Un autre point d'intérêt est l'analyse des caractéristiques fonctionnelles de la communauté. La comparaison des jeux de données de mégafaune et de macrofaune permettra notamment de mettre en évidence les apports relatifs de l'un et l'autre des compartiments en termes de description de certains processus clefs des écosystèmes benthiques (*e.g.* production benthique, recyclage de la matière organique, bioturbation ...).

Ce travail ne permet pas d'émettre des perspectives en matière d'indicateur d'état de santé des habitats benthiques au regard de la pression par la pêche aux arts trainants car, comme dit plus haut, le plan d'échantillonnage opportuniste n'a pas permis de cibler les habitats au regard de la pression "abrasion" exercée par la pêche. Un travail relatif à l'évaluation des indicateurs benthiques doit enfin être mené en ciblant notamment les indicateurs spécifiques à l'impact du chalutage de fond (*e.g.* Jac et al. 2020, Beauchard et al 2021). Le calcul des indicateurs à partir de la macrofaune permettra d'évaluer le potentiel de détection des impacts par ce compartiment. La comparaison avec le « compartiment mégafaune » permettra également de juger de la capacité relative de l'un et l'autre des compartiments pour détecter ces impacts. Notre capacité à détecter une réponse des indicateurs dépendra du nombre de stations disponibles par grand type d'habitats ou encore par la couverture de gradients de pression suffisants. Afin de renforcer nos capacités d'analyses, nous pourront nous appuyer sur des jeux de données complémentaires et équivalents (engin d'échantillonnage et protocoles comparables) collectés notamment en Manche lors des campagnes CGFS et CAMANOC par exemple (Travers-Trolet 2014, Jac et al. 2020). Les indicateurs d'impacts s'appuient souvent sur des traits de réponses des espèces aux pressions identifiées (e.g. vulnérabilité au chalutage de fond : Jac

et al. 2020, Beauchard et al. 2021). Des données sur ces traits existent déjà et ont été publiées (*e.g.* pour la macrofaune et/ou la mégafaune : Clare et al. 2022, Foveau et al. 2016) mais les travaux sur les indicateurs nécessiteront de compléter les informations concernant les espèces collectées et notamment de les caractériser en termes de traits fonctionnels de réponse aux pressions.

5. Bibliographie

Beauchard, O., A. Brind'Amour, M. Schratzberger, P. Laffargue, N. Hintzen, P. J. Somerfield and G. J. Piet (2021). "Developing a trait-based indicator to assess vulnerability of the benthic community to trawling-induced disturbance." Marine Ecology Progress Series **675**: 32-52.

Brind'Amour, A., P. Laffargue, J. Morin, S. Vaz, A. Foveau and H. Le Bris (2014). "Morphospecies and taxonomic sufficiency of benthic megafauna in scientific bottom trawl surveys." Continental Shelf Research 72: 1-9.

Churchill JH, Biscaye PE, Aikman F (1988) The character and motion of suspended particulate matter over the shelf edge and upper slope off Cape Cod. Continental Shelf Research 8:789-809

Clare, D. S., S. G. Bolam, P. S. O. McIlwaine, C. Garcia, J. M. Murray and J. D. Eggleton (2022). "Biological traits of marine benthic invertebrates in Northwest Europe." Scientific Data 9(1): 339.

Cossais Amélie, Deleys Noémie, Pierrejean Marie (2022). Structuration de données dans Quadrige². Suivi de la macrofaune benthique par drague Rallier du Baty lors de la campagne EVHOE 2019. https://archimer.ifremer.fr/doc/00743/85499/

Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-26.

Foveau, A., M. Llapasset, N. Desroy and S. Vaz (2016). Life history traits' scoring to calculate a trawl disturbance indicator on mega- epibenthic fauna, SEANOE.

Garren François, Laffargue Pascal, Duhamel Erwan (2019) EVHOE 2019 cruise, RV Thalassa,https://doi.org/10.17600/18000878

Gaudin F., Desroy N., Dubois S., Broudin C., Fournier J., Gentil F., Grall J., Houbin C., Le Mao P. & Thiébaut E. 2018. Marine sublittoral benthos: the great loser in the race for temperature tracking in response to climate change? ICES Journal of Marine Science 75: 1894-1907.

Georges, V., E. Begot, J. Duchene, M.-C. Fabri, P. Laffargue, E. Leblond, J. Rodriguez, S. Vaz, M. Woillez and L. Menot (2021). Développement d'un indicateur d'abrasion des fonds marins par les arts de pêche trainants pour l'évaluation du bon état écologique des habitats benthiques, Ifremer.

ICES (2020): Working Group on Fisheries Benthic Impact and Trade-offs. ICES Scientific Reports. Report. https://doi.org/10.17895/ices.pub.5955

Ifremer (2022). Abrasion superficielle des fonds marins par les arts de pêche trainants. Ifremer. https://doi.org/10.12770/ec189ce9-05bd-4580-b5f3-4851e9f31df0.

Jac, C., N. Desroy, G. Certain, A. Foveau, C. Labrune and S. Vaz (2020). "Detecting adverse effect on seabed integrity. Part 1: Generic sensitivity indices to measure the effect of trawling on benthic mega-epifauna." Ecological Indicators 117: 106631.

Kaskela, A., A. Kotilainen, U. Alanen, R. Cooper, S. Green, J. Guinan, S. Heteren, S. Kihlman, V. Van Lancker and A. Stevenson (2019). "Picking Up the Pieces—Harmonising and Collating Seabed Substrate Data for European Maritime Areas." Geosciences 9: 84.

Lamarque B. (2022). Biodiversité et fonctionnement de l'écosystème benthique dans la Vasière Ouest Gironde. Thèse de l'Université de Bordeaux

Lesbats Stephane, Laffargue Pascal, Garren Francois (2019). Tutoriel vidéo campagne halieutique - mise en oeuvre de la drague Rallier du Baty. Ifremer. https://image.ifremer.fr/data/00624/73640/#29292

Mengual, B. (2016). Spatio-temporal variability of sediment fluxes in the Bay of Biscay : relative contributions of climate forcings and trawling activities. Brest, Université de Bretagne occidentale.

Oksanen J., F. Guillaume Blanchet, Michael Friendly, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Dan McGlinn, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin L. Simpson, Peter Solymos, M. Henry H. Stevens, Eduard Szoecs and Helene Wagner (2020). vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. https://CRAN.R-project.org/package=vegan

Travers-Trolet, M. and Y. Verin (2014). CAMANOC Survey Report.

Vasquez M., Manca E., Inghilesi R., Martin, S., Agnesi S., Al Hamdani, Z., Annunziatellis A., Bekkby T., Pesch R., Askew A., Bentes L., Castle L., Doncheva V., Drakopoulou, V., Gonçalves J., Laamanen L., Lillis H., Loukaidi V., McGrath F., Mo G., Monteiro P., Muresan M., O'Keeffe E., Populus J., Pinder J., Ridgeway A., Sakellariou D., Simboura M., Teaca A., Tempera, F., Todorova V., Tunesi L. and Virtanen E. EUSeaMap 2019, A European broad-scale seabed habitat map, Technical Report, 2019.

Wentworth, C.K., 1922, A scale of grade and class terms for clastic sediments: Journal of Geology, v. 30, p. 377–392.

WoRMS Editorial Board (2021). World Register of Marine Species. Available from https://www.marinespecies.org at VLIZ. doi:10.14284/170

6. Table des illustrations

Figure 1 - Carte des stations échantillonnées durant la campagne EVHOE 2019. A) stations échantillonnées par la drague et le chalut (points noirs) et stations échantillonnées au chalut de fond seulement (croix). B) distribution des habitats EUNIS niveau 3-4 et position des stations échantillonnées à la drague. 4

Figure 2 - Répartition du nombre de stations dans chaque habitat échantillonné dans le Golfe de Gascogne et en Mer Celtique. 6

Figure 3 - Plan d'échantillonnage réalisé à bord du Thalassa pour les échantillons de drague. La position des prélèvements indiquée sur la traine au chalut est théorique et n'était pas systématiquement réalisée en début, milieu ou fin de traine. 7

Figure 4 - Diagramme triangulaire de classification sédimentaire d'après Folk et Ward (1957) et modifié par Kaskela et al. (2019). 10

Figure 5 - Description sédimentaire des stations échantillonnées lors de la campagne EVHOE 2019. A) classe granulométrique du sédiment, B) médiane des tailles de grains (d50 en µm) et C) teneur en matière organique (%) 13

Figure 6 – Composition taxonomique des différents habitats dans le Golfe de Gascogne et la mer Celtique selon l'abondance (A) et la biomasse humide (B). 15

Figure 7 - Valeurs de l'abondance et de la biomasse pour les espèces classées (échelle logarithmique), pour chaque habitat EUNIS (2019). 16

Figure 8 – Caractérisation des assemblages de la macrofaune dans le Golfe de Gascogne et la mer Celtique déterminés par une analyse de regroupement, A) Carte des répartitions, les limites de la grande vasière du golfe de Gascogne sont également indiquées, B) Répartition des habitats EUNIS dans les trois assemblages et C) résumé des principales caractéristiques des assemblages 17

Figure 9 - Graphique d'ordination issue d'une analyse canonique de redondance basée sur la matrice stations-espèces, a) les variables environnementales considérées comprennent les habitats EUNIS et la profondeur et b) les habitats EUNIS sont remplacés par les typologies sédimentaires issues des données de dragues. Dans les deux cas les longitude et latitude ont été également intégrées aux analyses. Les 3 assemblages (A à C) obtenus après classification hiérarchique sont également indiqués. Les barplots illustrent la distribution relative des axes, les axes significatifs sont indiqués en noir (permutation test, p≤0.05). 18

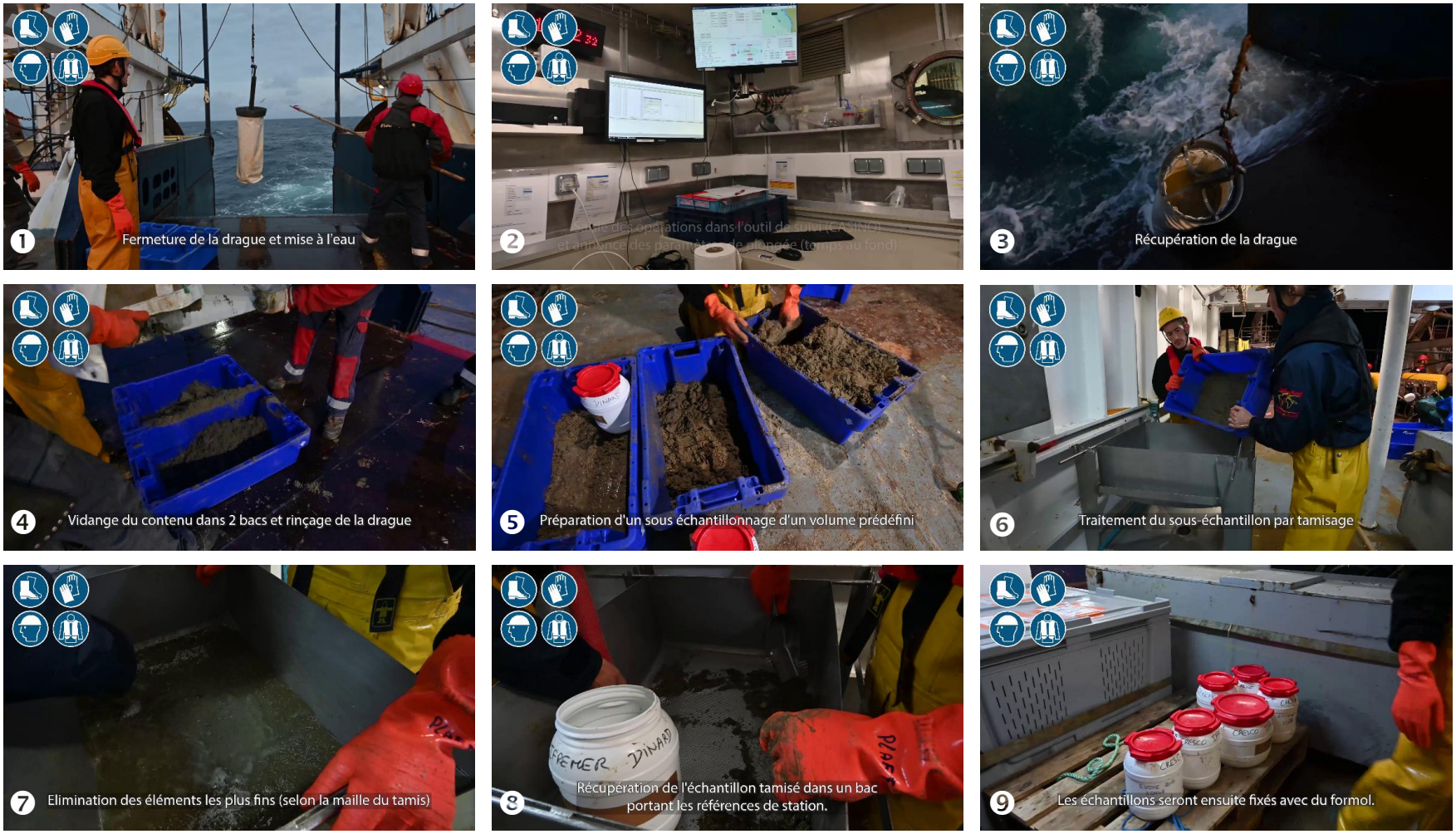
Figure 10 - Distribution des principales espèces en abondance médiane (IndVal significatif ou fréquence≥1%), biomasse médiane (IndVal significatif ou fréquence≥1%) et occurrence (IndVal significatif ou fréquence≥50%) pour chacun des 3 assemblages identifiés (A,B et C). Les barres grises indiquent les espèces pour lesquelles l'indicateur « IndVal » est significatif (valeur>0.5 et p≤0.05). Si nécessaire, la liste d'espèces principales a été étendue jusqu'à l'espèce présentant une fréquence inférieure aux seuils définis mais avec un IndVal significatif. Les valeurs indiquées entre parenthèses fournissent la proportion relative en biomasse ou abondance couverte par les espèces sélectionnées. « R » indique la richesse spécifique totale. 21

Figure 11 - a) Carte de distribution de la pression de chalutage de fond (abrasion exprimée en ratio de surface impactée par cellule de 1'/1' en année^{-1}) sur la zone d'étude, les lettres majuscules A,B et C représentent les assemblages préalablement définis, les lettres barrées montrent les stations sans donnée d'abrasion (hors ZEE française), **b)** distribution des valeurs d'abrasion regroupées par assemblages et **c)** distribution des valeurs d'abrasion par type d'habitats EUNIS. Les boxplot sont classées par ordre croissant de valeur médiane (trait noir horizontal foncé). « n= » indique le nombre de stations considérées. 22

Figure 12 - Déroulement des opérations d'échantillonnages à la drague Rallier du Baty lors d'Evhoe 2019 (Extrait du tutoriel vidéo des campagnes halieutiques, Lesbats et al. 2019, https://image.ifremer.fr/data/00624/73640/#29292). 30

Annexe 1

Figure 12 - Déroulement des opérations d'échantillonnages à la drague Rallier du Baty lors d'Evhoe 2019 (Extrait du tutoriel vidéo des campagnes halieutiques, Lesbats et al. 2019, https://image.ifremer.fr/data/00624/73640/#29292).



Ifremer