



**HAL**  
open science

**Projet IMPEC : Impact de la PEChe sur les écosystèmes benthiques du large - Evaluation des habitats benthiques du circalittoral du large dans le golfe du Lion au regard des pressions issues des activités de la pêche démersale aux arts traînants : approche multi-indicateurs - Note de synthèse**

Christine Barras, Celine Labrune, Damien Le Moigne, Lyvia Lescure, Grégoire Maillet, Edouard Metzger, Meryem Mojtahid, Aurélia Mouret, Jadwiga Orignac, Audrey Pruski, et al.

► **To cite this version:**

Christine Barras, Celine Labrune, Damien Le Moigne, Lyvia Lescure, Grégoire Maillet, et al.. Projet IMPEC : Impact de la PEChe sur les écosystèmes benthiques du large - Evaluation des habitats benthiques du circalittoral du large dans le golfe du Lion au regard des pressions issues des activités de la pêche démersale aux arts traînants : approche multi-indicateurs - Note de synthèse. Contrat OFB/ Université d'Angers/ Sorbonne Université/ Ifremer. 2025, pp.25. <hal-05606462>

**HAL Id: hal-05606462**

**<https://ofb.hal.science/hal-05606462v1>**

Submitted on 29 Apr 2026

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

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

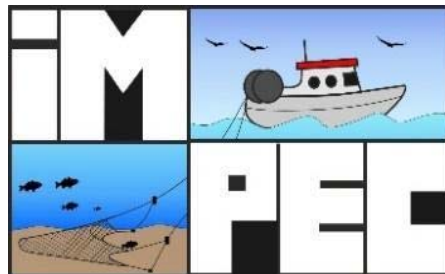


Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License



## Projet IMPEC

# IMpact de la PEChé sur les écosystèmes benthiques du large



Evaluation des habitats benthiques du circalittoral du large dans le golfe du Lion au regard des pressions issues des activités de la pêche démersale aux arts traînants : approche multi-indicateurs

Note de synthèse - 2025



**Nom du Projet :**

**Projet IMPEC : IMPact de la PEChE sur les écosystèmes benthiques du large**

Evaluation des habitats benthiques du circalittoral du large dans le golfe du Lion au regard des pressions issues des activités de la pêche démersale aux arts traînants : approche multi-indicateurs

**Convention et financeurs :** Contrat de recherche et développement N°OFB-20-844, co-financement OFB, Université d'Angers, Sorbonne Université et Ifremer

**Responsables de l'étude :** Christine BARRAS, Céline LABRUNE et Sandrine VAZ



**Contributeurs :** Christine BARRAS<sup>a</sup>, Céline LABRUNE<sup>b</sup>, Damien LE MOIGNE<sup>a</sup>, Lyvia LESCURE<sup>b</sup>, Grégoire MAILLET<sup>a</sup>, Edouard METZGER<sup>a</sup>, Meryem MOJTAHID<sup>a</sup>, Aurélia MOURET<sup>a</sup>, Jadwiga ORIGNAC<sup>b</sup>, Audrey PRUSKI<sup>b</sup>, Sabine SCHMIDT<sup>c</sup>, Gilles VETION<sup>b</sup>, Romain BANO<sup>b</sup>, Théo GUILLAUME<sup>b</sup>, Célestine MORISSEAU<sup>a</sup>, Auriane MOUSNIER<sup>a</sup>, Sandrine VAZ<sup>d</sup>

**Relecteurs :** Anne-Laure Janson<sup>e</sup>, Sophie Beauvais<sup>e</sup>, Isabelle Gailhard-Rocher<sup>f</sup>

<sup>a</sup> UMR 6112 LPG, Université d'Angers, CNRS

<sup>b</sup> UMR 8222 LECOB, Sorbonne Université, CNRS

<sup>c</sup> UMR 5805 EPOC, Université de Bordeaux, CNRS

<sup>d</sup> UMR 9190 MARBEC, Université de Montpellier, CNRS, Ifremer, IRD

<sup>e</sup> PatriNat (OFB-MNHN-CNRS-IRD)

<sup>f</sup> OFB

**Citation du document :**

Barras, C., Labrune, C., Le Moigne, D., Lescure, L., Maillet, G., Metzger, E., Mojtahid, M., Mouret, A., Orignac, J., Pruski, A., Schmidt, S., Vétion, G., Bano, R., Guillaume, T., Morisseau, C., Mousnier, A. Vaz, S., 2025. *Projet IMPEC : IMPact de la PEChE sur les écosystèmes benthiques du large - Evaluation des habitats benthiques du circalittoral du large dans le Golfe du Lion au regard des pressions issues des activités de la pêche démersale aux arts traînants : approche multi-indicateurs – Note de synthèse 2025. Contrat OFB / Université d'Angers / Sorbonne Université / Ifremer, 25 pages*

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte du projet

La Directive-Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM<sup>1</sup>), en s'appliquant à l'ensemble des eaux marines de la Zone Economique Exclusive de France métropolitaine, constitue une avancée majeure pour la gestion de l'environnement marin. La surveillance et l'évaluation de l'état de santé du milieu marin représentent un véritable défi car 1) les milieux plus au large et plus profonds sont plus difficiles d'accès et donc moins connus car moins étudiés, 2) leur étendue est très vaste, et 3) ces zones sont sujettes à des activités anthropiques si largement distribuées qu'il est difficile voire impossible de trouver des zones non-impactées pour servir de zone de référence.

En tentant de relier les changements observés en milieu marin aux pressions anthropiques qui s'y exercent, cette directive se définit comme un outil destiné à mieux contrôler les facteurs de dégradation pour en minimiser les effets néfastes. Les descripteurs 1 (D1) et 6 (D6) portent ainsi respectivement sur la diversité biologique des fonds marins (D1) et l'intégrité de ces fonds (D6), c'est-à-dire la qualité de leurs structures et fonctions. Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'acquisition de connaissance nécessaire au développement et à la fiabilisation d'indicateurs DCSMM permettant 1) d'évaluer l'état écologique des habitats benthiques sédimentaires et 2) de qualifier l'intégrité des fonds face aux pressions anthropiques dans le circalittoral du large. Cette tâche est rendue d'autant plus difficile qu'il est complexe de qualifier des états de référence, au sens « non-impacté » par les pressions d'origine anthropique, compte-tenu de l'étendue et de l'ancienneté des activités de pêcheries démersales. De plus, jusqu'à présent l'absence de données de pressions quantifiées géo-référencées n'a pas permis de valider une méthodologie permettant d'évaluer l'état écologique des habitats sédimentaires du circalittoral du large. L'Ifremer vient de publier une carte d'abrasion du Golfe du Lion qui constitue pour la première fois une donnée quantitative de cette pression physique à l'échelle du plateau continental sur laquelle il est possible de s'appuyer pour tester et calibrer des indicateurs biotiques (Ifremer, 2022). La combinaison des données quantitatives de pression à un large panel de paramètres allant de l'imagerie à l'écologie des communautés va permettre d'apporter des éléments nouveaux et indispensables pour la surveillance et l'évaluation des habitats sédimentaires du circalittoral du large dans le cadre de la DCSMM.

## 1.2 Objectifs du projet

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'acquisition de connaissance nécessaire au développement d'indicateurs DCSMM permettant de qualifier l'intégrité des fonds face aux pressions anthropiques sur le plateau continental. En effet, les indicateurs existants n'ont pas été spécifiquement développés et/ou testés sur une perturbation physique telle que celle résultant des pêcheries démersales. Or, la pêche aux arts traînants (chaluts et dragues) est la source majeure de perturbation des fonds sur le plateau continental (e.g. Brivois et al., 2018 ; Amoroso et al., 2018).

Le projet IMPEC propose d'étudier l'impact de la pêche aux arts traînants sur les fonds marins du plateau continental du Golfe du Lion en Méditerranée. **Le but du projet est de tester plusieurs**

---

<sup>1</sup> Directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008

**indicateurs applicables à différentes composantes benthiques (méga-épifaune, macrofaune, méiofaune, foraminifères) pour évaluer l'état des habitats benthiques sédimentaires au regard de l'impact de la pêche de type dragage et chalutage le long d'un gradient de pression d'abrasion.** En effet, peu de données sont disponibles lorsqu'on s'éloigne de la zone côtière (considérée dans la DCE, zone des 1 milles nautiques de la côte) où l'abrasion des fonds induite par la pêche aux arts trainants est la pression anthropique majeure (Jac et al., 2020b).

A partir des cartes d'abrasion engendrée par les activités de pêche mise à disposition par Ifremer (Ifremer, 2022), dix stations ont été positionnées le long d'un gradient de pression sur les sables autour du Canyon de Lacaze-Duthiers à environ 100m de profondeur d'eau (Figure 1). Les assemblages de la méiofaune, en particulier foraminifères et nématodes, et de la macrofaune benthique ont été étudiés à chaque station. Des photos de profils sédimentaires (SPI) ont également été effectuées ainsi que des transects vidéo (ces derniers permettent d'apporter des informations surfaciques sur la méga-épifaune benthique). Les analyses géochimiques et sédimentaires réalisées en parallèle des analyses faunistiques ont pour but d'obtenir un proxy de l'impact du remaniement sédimentaire *in situ*, qui pourra être utilisé comme donnée de pression complémentaire aux données d'abrasion de l'Ifremer. A partir de ces données, la réponse des faunes et des différents indicateurs biotiques (ex. AMBI (Borja et al., 2000), M-AMBI (Muxika et al., 2007), TDI (de Juan and Demestre, 2012), TSI-Med (Barras et al., 2014), GPBI (Labrune et al., 2021), etc.) a été analysée au regard de la pression d'abrasion exercée sur l'écosystème étudié. Ces indicateurs sont comparés entre eux afin de déterminer la sensibilité de chacun à la pression et mettre en évidence leur éventuelle complémentarité. L'évolution historique des faunes mortes de foraminifères a également été explorée afin de rechercher et identifier des conditions de références nécessaires au développement d'indicateurs pour la DCSMM. En effet, il est de nos jours difficile, voire impossible, de trouver des zones non impactées par la pression d'abrasion générée par les activités de pêche aux arts trainants sur le plateau continental, le chalutage existant depuis les années 1700. **Le but final est d'aider à la mise en place d'une méthodologie pour le suivi opérationnel des habitats sédimentaires du circalittoral du large en Méditerranée occidentale dans le cadre de la DCSMM.**

Le projet IMPEC a donc pour but de répondre aux objectifs suivants :

***Objectif 1 : Quelle est la réponse des différents compartiments de la faune benthique (méiofaune, en particulier les foraminifères, macrofaune et méga-épifaune) à différentes intensités de chalutage et donc de perturbation du milieu ? Cette approche proposant l'étude en parallèle de différents groupes faunistiques est rare et pourrait fournir des informations sur la sensibilité ou les temps de réponse des espèces et/ou des communautés à la pression liée à l'activité anthropique de chalutage. Plus précisément, la perturbation engendrée par le passage des chaluts est complexe : perturbation physique (e.g. abrasion), modification de la granulométrie liée à la remise en suspension des particules fines, modification de la géochimie et de la distribution de la matière organique dans le sédiment, ...). Les différents compartiments biologiques étudiés pourraient avoir une réponse différente à chacune de ces pressions et pourraient donc s'avérer complémentaires pour l'évaluation de l'état écologique des habitats benthiques. La caractérisation du sédiment et de sa composition géochimique (en particulier l'oxygénation et la caractérisation de la matière organique) permettra une meilleure évaluation du gradient de pression et interprétation des tendances faunistiques observées.***

**Objectif 2 :** *Quels indicateurs issus de divers compartiments faunistiques (méga-épifaune, macrofaune, foraminifères, nématodes, géochimie) peuvent être pertinents pour l'évaluation de l'état écologique des habitats benthiques marins sédimentaires profonds sur le plateau continental ?* Pour cela, le projet IMPEC testera différents indicateurs biotiques qui, pour certains, ont été développés en milieu côtier ou pour détecter les effets de pressions autres que les perturbations physiques (e.g. enrichissement en matière organique). Ces indicateurs seront mis en relation avec les données de pression de pêche et seront comparés entre eux. Cette étude représente également une réelle opportunité pour la calibration des indicateurs vis-à-vis des intensités de pression et leur intercalibration. Il est possible qu'une combinaison de plusieurs indicateurs constitue une option pertinente pour l'évaluation d'un état écologique global, auquel cas, il sera essentiel de prévoir une étude sur la méthode d'agrégation des indicateurs retenus suite à ce projet et la traduire en stratégie d'échantillonnage la plus optimale possible par type d'habitat au sein du circalittoral meuble du large.

**Objectif 3 :** *Enfin, est-il possible de déterminer des conditions de référence, inexistantes de nos jours, grâce à l'étude des foraminifères morts ?* En effet, l'étude de l'évolution historique des faunes de foraminifères (fossiles) permettrait d'obtenir une image des conditions avant que la pêche démersale ne s'intensifie et ainsi de définir des conditions de référence pouvant être utilisées pour déterminer l'état écologique de la zone (comparaison entre faune vivante actuelle et faune morte passée).

Ce projet comprend quatre partenaires qui participent au co-financement du projet : l'Office Français pour la Biodiversité (OFB), l'Université d'Angers (UMR CNRS 6112 LPG), Sorbonne Université (UMR CNRS 8222 LECOB) et l'Ifremer (UMR 9190 MARBEC). Ce projet a fait l'objet d'une convention entre l'Université d'Angers et l'OFB qui a débuté en novembre 2020 pour une durée de trois ans qui a été prolongée par un avenant d'un an.

## 2 Mission d'échantillonnage

La mission d'échantillonnage a eu lieu du 31 juillet au 16 août 2021. La première année du projet a donc été dédiée à l'organisation et à la réalisation de cette mission océanographique. Deux zones d'études ont été échantillonnées durant cette campagne sur le plateau du Golfe du Lion (Figure 1). La zone 1 (financée dans le cadre de ce projet IMPEC) se situe au niveau de la bathymétrie de 100m de profondeur, comprend la tête de canyon de Lacaze-Duthiers et une zone de cantonnement (Figure 1). En effet, de façon à assurer une protection satisfaisante des différents stades de vie du merlu (*Merluccius merluccius*) et du rouget de vase (*Mullus barbatus*) au sein du golfe du Lion, plusieurs zones de cantonnement de pêche excluant toutes les pêcheries susceptibles d'altérer les fonds ont été définies (<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2018/4/23/AGRM1733988A/jo/texte/fr>). Si l'une d'entre elles correspond à une fermeture saisonnière, trois autres relèvent de fermetures permanentes dont celle concernée par notre étude. Sur les dix stations prélevées dans la zone 1, cinq ont été échantillonnées pour analyser la totalité des paramètres (i.e. protocole « complet »), tandis que pour les cinq autres, seuls la méga-épifaune, la macrofaune, les foraminifères, le SPI et la MO/granulométrie ont été étudiés (i.e. protocole « léger », Tableau 1). Il a été décidé de suivre ces deux protocoles afin de répondre aux objectifs du projet dans le temps imparti et l'enveloppe financière disponible. Les stations ont été sélectionnées pour être situées le long d'un gradient

d'abrasion liée au chalutage, estimé par le Surface Area Ratio (SAR ; 90ème percentile sur la période 2008 à 2020, cf Tableau 1), à une bathymétrie constante et au sein de l'habitat EUNIS MD451 « *Biocenosis of Mediterranean open-sea detritic bottoms on shelf-edge* » (selon EUNIS 2022<sup>2</sup>). Toutefois, il s'avère que les cartes utilisées pour préparer la mission et positionner nos stations d'échantillonnage (EuSeaMap & Carte du SHOM de Garlan, 2011) ont sous-estimé l'étendue spatiale de l'habitat MC35 « *Mediterranean circalittoral coarse sediment* » situé non loin des fonds détritiques du circalittoral du large (Figure 2). Les stations A, B, et C, initialement placées dans l'habitat MD451, sont finalement rattachées à l'habitat MC35 et elles sont caractérisées, selon les analyses sédimentaires de notre étude, par un type plus grossier que celui des fonds détritiques. Le plan de la mission IMPEC a été enregistré sous le numéro DOI [10.17600/18001594](https://doi.org/10.17600/18001594).

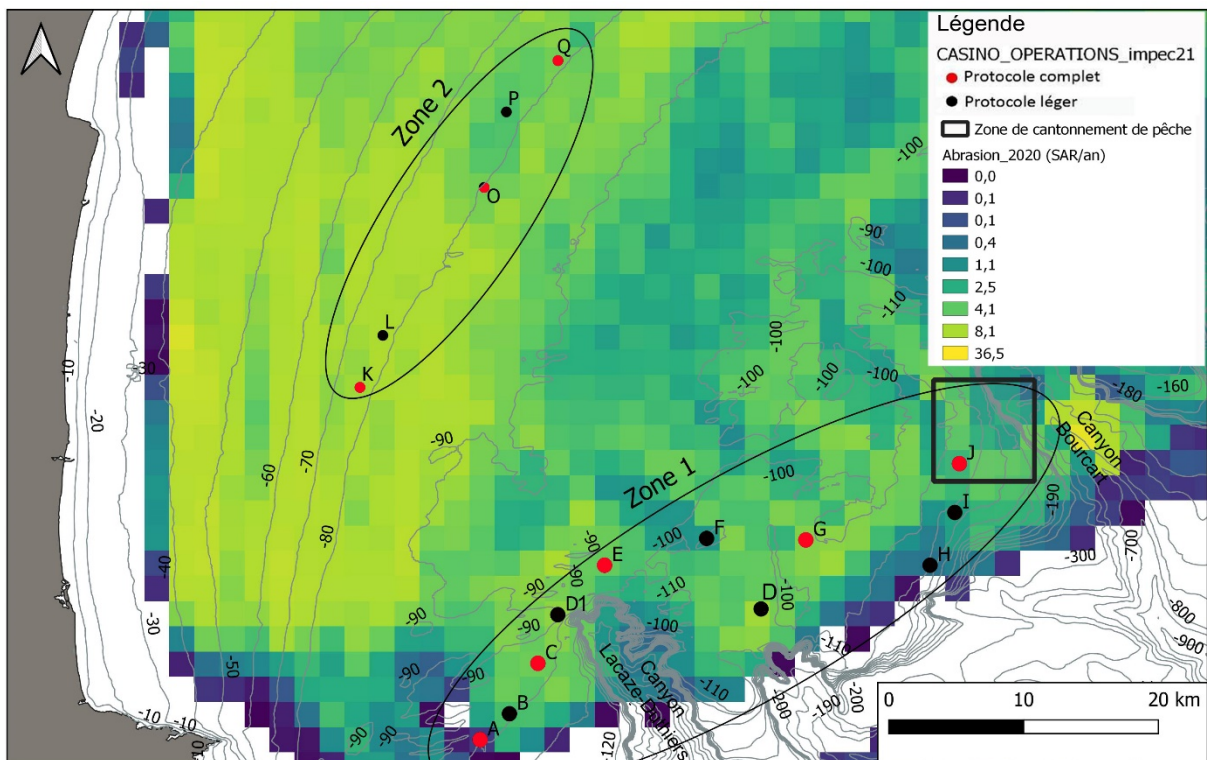


Figure 1. Position des stations échantillonnées lors de la mission océanographique IMPEC 1 à bord de l'Europe. Le gradient d'abrasion du fond marin (Surface Area Ratio/an) pour l'année 2020 est indiqué ainsi que le protocole appliqué à chaque station (protocole complet inclus, en plus des paramètres suivis dans le protocole léger, l'étude de la méiofaune, de la géochimie et des carottes longues).

<sup>2</sup> European Topic Centre on Biological Diversity, 2022. *EUNIS marine habitat classification 2022 including crosswalks*. ETC/BD-EEA. Table Excel.

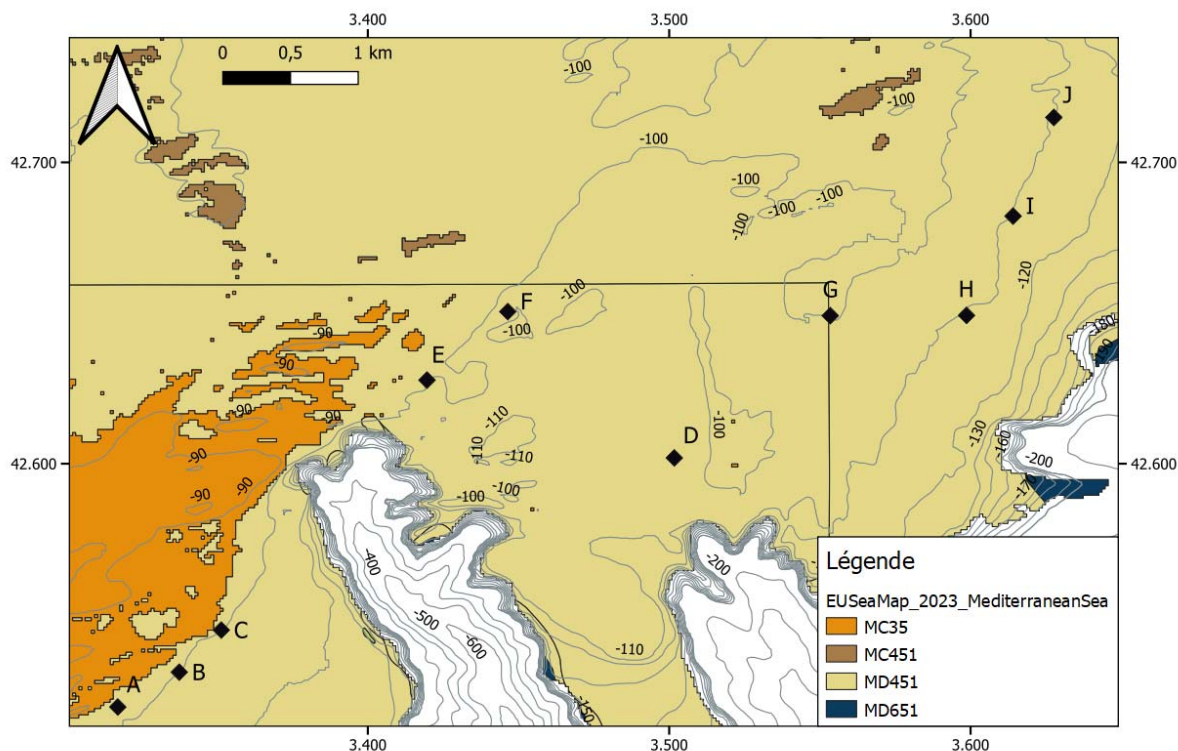


Figure 2. Distribution des stations IMPEC de la zone 1 dans les habitats EUNIS (2022) selon EUSeaMap 2023. MC35 correspond à « Mediterranean circalittoral coarse sediment » et MD451 à « Biocenosis of Mediterranean open-sea detritic bottoms on shelf-edge ». Les données d'habitats ont été téléchargées sur le portail EMODNET <https://emodnet.ec.europa.eu>.

Le Tableau 1 permet d'avoir une vision d'ensemble des échantillons collectés pour l'analyse des différents paramètres visés dans le projet : méga-épifaune (avec la vidéo tractée), macrofaune, méiofaune (nématodes), foraminifères actuels (carottes d'interface) et fossiles (carottes d'interface et longues Kullenberg), caractérisation de la matière organique, géochimie, granulométrie et radioéléments (datations) des carottes. Durant le premier leg de la mission, nous avons utilisé le carottier multi-tubes Oktopus de l'INSU, la benne Day et le SPI (Sediment Profile Imaging) du LECOB, et le PAGURE de l'Ifremer. Le second leg a été dédié à l'acquisition de carottes longues (entre 90 et 144cm de long) avec le carottier Kullenberg de l'INSU.

Tableau 1. Bilan des analyses pour les différents paramètres étudiés dans le cadre du projet IMPEC dans la zone 1. Les stations au « protocole complet » sont surlignées en gris. « Ok » (en vert) signifie que les échantillons ont été traités, la croix que les échantillons ont été collectés mais non traités, une case vide correspond à l'absence d'échantillon. Dans la colonne Géochimie, « O2 » signifie que seuls les profils d'oxygène ont été réalisés.

Station	Protocole	Profondeur d'eau (m)	Abrasion annuelle (p90) de 2008-2020		MO-Granulo	Granulo	Géochimie	Datation	Carotte intacte		Foraminifères vivants		Méiofaune	macrofaune	SPI	Méga-épifaune benthique	Carotte historique
			SAR	SAR					XRF-RX	Forams	0-1cm	1-10cm					
Laboratoire			Ifremer	Ifremer	LECOB	LPG	LPG	EPOC	LPG	LPG	LPG	LPG	LECOB	LECOB	LECOB	Ifremer	LPG
Engin échantillonnage					Oktopus	Oktopus	Oktopus	Oktopus	Oktopus	Oktopus	Oktopus	Oktopus	Oktopus	Benne	SPI	PAGURE	Kullenberg
A	Complet	97	1,1	0,7	ok	ok	ok	ok	ok	X	ok	ok	ok	ok	ok	ok	X
B	Léger	99	11,6	2,1	ok	X		ok			ok			ok	ok	ok	
C	Complet	100	11,1	1,8	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	X
D	Léger	99	6,0	3,9	ok	X		ok	X		ok			ok	ok	ok	X
E	Complet	100	8,9	1,6	ok	ok	ok	ok	ok	X	ok	ok	ok	ok	ok	ok	X
F	Léger	100	6,5	2,4	ok	X	O2		X		ok			ok	ok	ok	X
G	Complet	100	6,4	5,4	ok	ok	ok	ok	ok	X	ok	ok	ok	ok	ok	ok	X
H	Léger	110	2,7	1,9	ok	X	O2	ok	X		ok			ok	ok	ok	X
I	Léger	107	4,9	3,1	ok	X	O2		X		ok			ok	ok	ok	X
J	Complet	110	4,6	2,4	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

### 3 Evaluation de la pression de pêche

Les données VMS (Vessel Monitoring System) couplées aux données déclaratives des pêches permettent de distinguer les efforts de pêche en heure par type d'engin de pêche (Source DGAMPA, traitement des données par le Système d'Informations Halieutiques d'Ifremer). Ces données sont ensuite traduites en termes d'abrasion mensuelle sur notre zone d'étude. La surface abrasée est le produit entre la distance parcourue lors de la pêche et la largeur de l'engin de pêche (l'ouverture entre les panneaux).

Le **ratio de surface abrasée (Swept Area Ratio, SAR)** correspond à la somme des surfaces abrasées sur une période donnée et dans une zone prédéfinie, le tout divisé par la surface de la zone considérée (Georges et al., 2021). Le SAR est donc un ratio ou un taux d'abrasion sur une zone et au cours d'un temps donné. **Cette unité permet de rendre compte de l'abrasion induite à la fois par l'intensité et la fréquence de chalutage et pouvant s'interpréter comme le nombre de fois que l'intégralité de la zone a été balayée par la pêche de fond sachant que la résolution spatiale est de 3,43km<sup>2</sup> environ.** Ces cartes d'abrasion sont archivées et mises à disposition dans la base de données Sextant (Ifremer, 2022) sur la période de 2008 à 2024. A la suite de la mission, les coordonnées des stations ont permis de définir la valeur de SAR associée sachant que les données de janvier à juillet 2021 ont été ajoutées à la base de données d'origine.

**Durant l'analyse des résultats, nous avons été rapidement confrontés au fait que le lien entre les paramètres faunistiques ou environnementaux et l'abrasion exprimée par les métriques de SAR était difficile à établir par le fait que la résolution spatiale et temporelle des données de SAR n'était pas suffisamment précise.** En effet, les prélèvements par carottier ou benne sont localisés à une coordonnée géographique restreinte et ponctuelle dans l'aire représentée par les données de SAR d'environ 3,4km<sup>2</sup>. Une nouvelle demande a donc été faite (Source DGAMPA, traitement des données Ifremer - Système d'Informations Halieutiques) pour avoir accès à des données d'effort de pêche à plus

haute résolution spatiale (50m autour du point de prélèvement, soit à l'intérieur d'une zone tampon de 0,27' latitude x 0,37' longitude autour de chaque station) et temporelle (par mois sur toute la période 2019-2021 et par semaine sur les mois de juillet et août 2021). Ces nouvelles données, que nous appellerons par la suite « **efforts de pêche (EP)** », sont exprimées en nombre d'heure de pêche par station (résolution de 50m<sup>2</sup>) i.e. un effort de 1h/semaine signifie que la station a été chalutée au total 1h dans la semaine (nombre d'heures cumulées dans la semaine sur la station). Seules les pêches réalisées au chalut de fond (simple ou jumeau) ont été considérées.

**La différence entre SAR et EP est résumée dans le Tableau 2 ainsi que les avantages et inconvénients de chaque paramètre.** L'approche surfacique du SAR permet de couvrir des surfaces importantes (i.e. toute la surface du plateau continental) et ces données sont disponibles sur Sextant. Cependant, la résolution spatiale n'est pas adaptée pour la calibration d'indicateurs qui sont étudiés sur des zones très localisées. Pour cela, les données d'effort de pêche (résolution de 50m autour de la station échantillonnée) sont indispensables car plus précises pour faire du lien pression/effet. Par contre, ces données localisées sont difficiles à obtenir pour le moment.

*Tableau 2. Résumé des différences entre les deux paramètres utilisés pour la quantification de la pression physique d'abrasion à partir des données VMS : le SAR et l'EP.*

Paramètre	Données sources	Unité	Résolution spatiale	Résolution temporelle	Avantages/ Inconvénients
<b>SAR (Swept Area Ratio)</b>	Données VMS	Nombre de fois où l'intégralité de la zone a été balayée par la pêche de fond sur 3,43km <sup>2</sup> /unité de temps	Résolution de 1' latitude x 1' longitude, soit environ 3,43km <sup>2</sup>	Mensuelle entre 2008 et 2021	+ : approche surfacique, données disponibles sur Sextant - : résolution spatiale insuffisante pour répondre aux objectifs
<b>EP (Effort de pêche)</b>	Données VMS	Nombre d'heure de pêche par station / unité de temps	Cercle de 50m de rayon centré sur le point de prélèvement, soit à l'intérieur d'une zone tampon de 0,27' latitude x 0,37' longitude autour de chaque station	Mensuelle entre 2019 et 2021, et hebdomadaire pour juillet et août 2021	+ : plus précis (spatial et temporel), indispensable pour faire le lien pression/impact - : données non disponibles en routine

Dans la suite du rapport, nous avons donc utilisé les données d'Effort de pêche (EP), spatialement plus précises, afin de pouvoir tester l'effet de la pression de pêche sur la distribution des faunes. La prise en compte de périodes d'intégration temporelle différentes a révélé que la pression sur les stations échantillonnées était très variable au cours du temps (Figure 3). Cet effet de variation inter-annuelle ainsi que saisonnière s'est amplifié du fait du plan de gestion multi-annuel Westmed (réglementation (EU) 2024/259). En effet, ce plan de gestion des pêcheries démersales, en place dès 2020, a résulté en une fermeture hivernale de grandes zones entre 90 et 100m de profondeur et donc un report d'effort dans ces zones lors de leur ouverture en été. Ainsi, les valeurs d'effort de pêche se révèlent très variables au cours du temps, ce qui complexifie largement les analyses et interprétations des données.

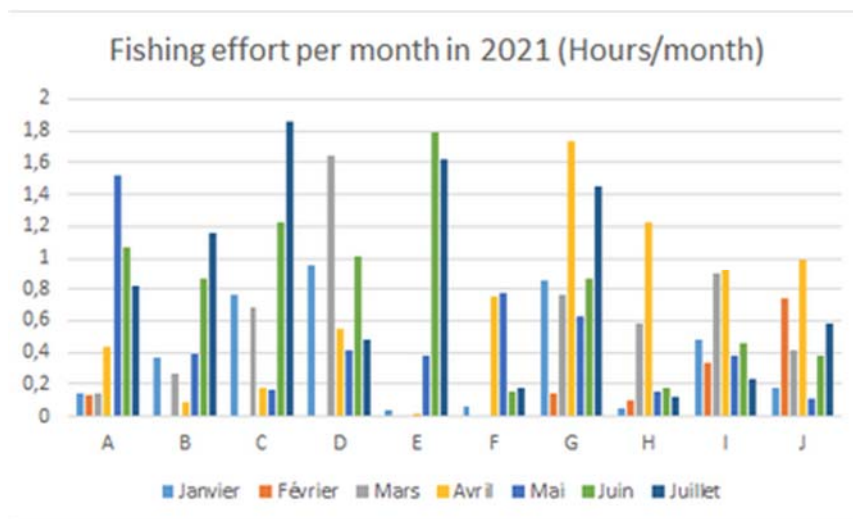


Figure 3. Évolution de l'effort de pêche (nombre d'heures par mois) aux 10 stations au cours des 6 derniers mois avant la mission d'échantillonnage.

La comparaison des différentes périodes considérées pour estimer la pression de pêche sur les stations (Figure 4) met en évidence une très bonne corrélation entre les données EP sommées sur les cinq semaines avant l'échantillonnage et la somme pondérée des sept derniers mois avant échantillonnage ( $p < 0,05$ ,  $R^2 = 0,88$ ). La corrélation est moins bonne quand les deux dernières semaines avant échantillonnage sont considérées ( $p = 0,016$ ,  $R^2 = 0,54$ ), les stations J et E ayant été moins (ou pas) impactées dans cette période juste avant les prélèvements. Les stations A et G montreraient la tendance inverse. **Pour les comparaisons avec les paramètres faunistiques et environnementaux, nous utiliserons donc :**

- les données d'effort de pêche de la somme pondérée des sept derniers mois (EP\_corer OU `pagure_ws01_072021`) pour la méga-épifaune puisque ces organismes ont un cycle de vie plus long que la méiofaune et la macrofaune benthique
- les données d'effort de pêche de la somme des cinq dernières semaines (EP\_corer OU `pagure_s26-30`) avant l'échantillonnage pour la méiofaune et la macrofaune.

Finalement, quel que soit le paramètre de pression considéré (SAR ou EP) ou la période considérée, la station H, et dans une moindre mesure la station F, ressortent comme les stations les moins impactées par le chalutage. Il faut noter que la station J, localisée dans la zone de cantonnement de pêche et initialement prévue comme station de référence pour notre projet, n'a pas pu être utilisée comme tel puisqu'elle a été chalutée dans les semaines et mois précédents l'échantillonnage.

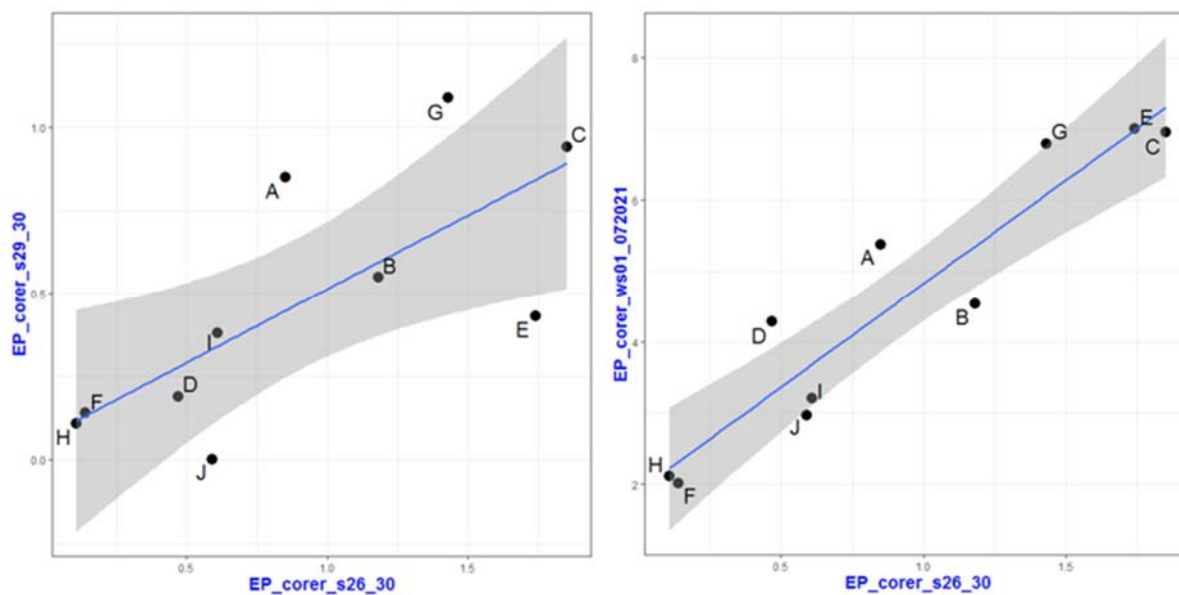


Figure 4. Comparaison des données d'effort de pêche (heures de pêche) en fonction de la période considérée : les 2 semaines (somme semaines 29-30), les 5 semaines (somme semaines 26 à 30) ou le 7 derniers mois (somme pondérée de janvier à juillet 2021) avant la date d'échantillonnage.

#### 4 Résultats principaux des paramètres environnementaux de la zone d'étude

Tout d'abord, les analyses granulométriques réalisées sur les stations de la zone 1 ont permis de mettre en évidence une **différence notable entre les stations A, B et C d'une part et les autres stations d'autre part. La nature sédimentaire influence la distribution des communautés faunistiques quel que soit le groupe benthique considéré (excepté la méga-épifaune). Cette variabilité sédimentaire naturelle est importante à noter puisqu'elle complexifie l'interprétation des données en termes d'impact du chalutage.**

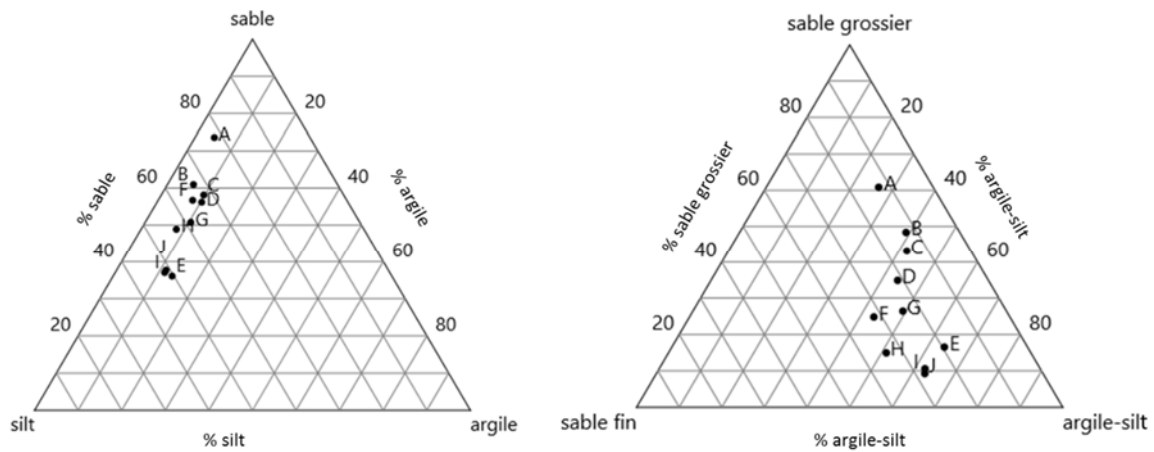


Figure 5. A gauche : Diagramme ternaire argile-silt-sable des stations de la zone 1 (niveau 0-1 cm). A droite : Diagramme ternaire argile/silt-sable fin-sable grossier.

Au-delà de cette différence globale de granulométrie entre les stations à l'est et à l'ouest, il est intéressant de regarder plus en détail la distribution granulométrique verticale du sédiment au sein d'une station. En effet, des études de terrain ont montré que le chalutage peut provoquer un mélange des couches sédimentaires et changer la distribution granulométrique du sédiment (Martín et al., 2014 ; Oberle et al., 2016). La remise en suspension fréquente des particules par l'activité du chalutage pourrait entraîner un grossissement de particule vers la surface du sédiment (Palanques et al., 2014 ; Martín et al., 2014 ; Tiano et al., 2019). En effet, les particules fines remises en suspension seraient transportées par advection plus loin par les courants. Le sédiment deviendrait donc plus grossier à mesure que les particules fines partent (Martín et al., 2014). Les analyses granulométriques et les radioéléments ont permis d'étudier cette tendance dans nos échantillons. En effet, la distribution verticale de la granulométrie du sédiment dans les carottes d'interface pourrait mettre en évidence un vannage (i.e. une perte) des particules fines en surface. Cependant les variables (ou métriques) utilisées ne sont pas toujours concordantes :

- la distribution verticale des argiles ( $\% < 4\mu\text{m}$ ) dans les 10 premiers centimètres de sédiment de surface met en évidence un vannage<sup>3</sup> aux stations A, B et D, ce qui pourrait être une conséquence du chalutage ou des tempêtes hivernales qui remettent en suspension les sédiments fins qui se déposent dans les têtes de canyon avant d'être remobilisés lors des événements en cascading hivernaux (Palanques et al., 2009, 2012 ; Estournel et al., 2023) ;
- les variations du ratio vase/sable (mud/sand ratio) sont particulièrement notables aux stations B et J où le sédiment de surface est plus grossier qu'en profondeur. Dans ce cas, on regarde les variations sur les 20 premiers centimètres de sédiment avec une profondeur pertinente pour voir l'impact des engins types chalut qui peuvent remettre en suspension le sédiment sur plusieurs dizaines de centimètres ;

<sup>3</sup> Le vannage correspond à la perte des particules fines d'un sédiment meuble sous l'action de l'eau ou du vent.

- les analyses des radioéléments, et plus particulièrement le calcul du ratio de focusing<sup>4</sup> ( $F/P < 1$ ) basé sur le  $^{210}\text{Pb}$ , mettent en évidence une remise en suspension de sédiment (ou une érosion) aux stations B, C, E, J, ce qui semble être confirmé par le décalage dans le profil de  $^{232}\text{Th}$  pour les stations B et E mais également pour la station F. Ces profils indiquent une perte de particules fines dans les premiers centimètres du sédiment.

Sur la base de ces observations, **on pourrait émettre l'hypothèse que les stations B et E - et F dans une moindre mesure - présentent des caractéristiques sédimentaires qui pourraient être associées à des stations chalutées ou vannées par l'effet des courants.**

D'autre part, l'analyse des autres paramètres environnementaux de la zone d'étude a permis de mettre en évidence :

- un état non stationnaire de la station J qui pourrait être lié à une perturbation récente (dans les derniers mois avant l'échantillonnage) mise en évidence par les analyses géochimiques du sédiment (notamment les profils d'ammonium et de manganèse dissous) ;
- les concentrations en MO sont particulièrement faibles dans cette zone, ce qui n'est pas surprenant pour la zone d'étude considérée. D'après De Borger et al. (2021), pour les environnements eutrophes, la perturbation physique liée au chalutage mélange la MO sur une dizaine de centimètres en surface du sédiment ce qui provoque des modifications dans la reminéralisation de cette MO (anaérobie vs aérobie et changement de fronts redox associés). Les faunes peuvent alors répondre à ces modifications puisqu'elles sont influencées par la quantité et qualité de la MO. Dans notre cas, les impacts sur les processus de minéralisation de la MO seront potentiellement négligeables puisque le contenu en MO du sédiment est faible, ayant une influence mineure sur la distribution des organismes. De plus, le fait que la bioturbation mélange également la MO sur les premiers centimètres pourrait se superposer aux effets liés au chalutage, ne permettant pas de différencier le paramètre influençant ;
- les profils d'oxygène réalisés dans le sédiment des différentes stations sont relativement typiques pour ce genre d'environnement sablo-vaseux. Les modélisations de De Borger et al. (2021) ont mis en évidence une pénétration plus importante de l'oxygène en profondeur dans le sédiment quand l'intensité du chalutage augmente. Nous n'avons pas mis en évidence une telle tendance dans notre zone d'étude. Ceci peut probablement s'expliquer encore une fois par la faible concentration en MO de ce site d'étude. Cependant des flux plus importants d'oxygène ont été mis en évidence à la station G.

L'analyse en composante principale présentée en Figure 6 met en évidence une éventuelle corrélation des différentes métriques issues des analyses des paramètres environnementaux ainsi que les métriques de la pression de pêche (données centrées-réduites). Les axes 1 et 2 expliquent respectivement 46% et 20% de l'inertie totale de l'ACP. Les données de SAR sont toutes corrélées à l'exception du P90 sur les 10 dernières années et chargent négativement avec l'axe 2. Les données d'Effort de pêche sont également corrélées entre elles (et avec le SAR P90) et chargent négativement sur les axes 1 et 2 de la PCA. Les autres paramètres analysés qui semblent corrélés avec le SAR sont les observations de traces de chalutage dans les vidéos prises au PAGURE et la profondeur à laquelle on observe un changement dans la granulométrie du sédiment dans les carottes d'interfaces entre silt+argile et sable (Mud/Sand ratio). Les variables qui sont expliquées principalement par l'axe 1,

---

<sup>4</sup> Le ratio de focusing ( $F/P$ ) permet de comparer l'inventaire sédimentaire annuel de  $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$  ( $F$ ) et le taux de production de  $^{210}\text{Pb}$  prévu ( $P$ ). Les valeurs de  $F/P < 1$  suggèrent un vannage (une perte de sédiment) alors qu'un rapport supérieur à 1 indique des apports latéraux (Schmidt et al., 2014).

comme la granulométrie du sédiment, semblent varier de manière indépendante de la pression de pêche.

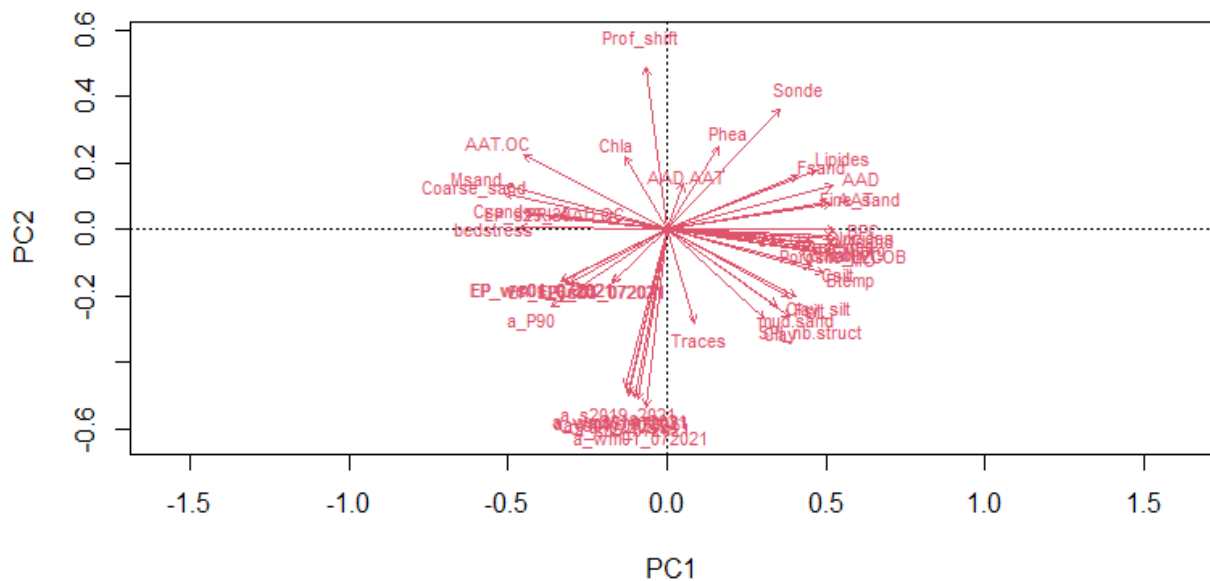


Figure 6. Analyse en composante principale (PCA) réalisée sur tous les paramètres environnementaux disponibles aux 10 stations et les indicateurs de pression de pêche (SAR et Effort de pêche) (données centrées réduites).

## 5 Résultats principaux des différents compartiments de la faune benthique

Dans ce projet, nous avons pu étudier différents compartiments faunistiques benthiques : la méga-épifaune, la macrofaune, les foraminifères (aux dix stations) et la méiofaune (à cinq stations). Les analyses de co-inertie (Dray et al., 2003), c'est-à-dire la comparaison des analyses en composantes principales (PCA) obtenues entre paramètres environnementaux et faunes permettent de mettre en évidence les corrélations entre les différentes matrices. Le Tableau 3 permet de résumer ces corrélations.

Tableau 3. Analyses de co-inertie entre les composantes principales issues de PCAs des communautés entre elles et avec celle des paramètres environnementaux.

	Mégafaune	Macrofaune	Foraminifères	Variables environnementales*
Mégafaune		85%	88%	61%
Macrofaune			94%	70%
Foraminifères				76%

\* variables liées au chalutage (SAR et EP) non considérées

Les structures des communautés de macrofaune et foraminifères présentent une corrélation supérieure avec les paramètres environnementaux qui ont été mesurés dans le cadre de cette étude (respectivement 70 et 76% de corrélation) par rapport à la méga-épifaune (61%).

La comparaison des communautés entre elles montre une corrélation de leur structure au moins égale à 85% quelles que soient les faunes considérées, soulignant leur similarité. Il est à noter que les communautés de foraminifères et macrofaune sont plus similaires en termes de structures qu'avec la mégafaune.

De plus, les analyses clusters sur les foraminifères, les nématodes et la macrofaune mettent toutes en évidence une différence de communautés entre les stations A, B, C et les autres stations (Figure 7). Cette séparation n'est pas observée dans les données de la méga-épifaune benthique en raison de la forte dominance d'espèces telles que *Leptometra* à toutes les stations sauf I, J et D (Figure 7). Ces résultats mettent en évidence la complémentarité des informations obtenues entre les échantillons collectés par carottier ou bennes, qui comprennent l'endofaune, avec celles obtenues par vidéo tractée, qui correspondent uniquement aux espèces de grande taille exposée aussi à la colonne d'eau et à d'autres processus de forçages.

En perspective de ce travail, il serait intéressant de réaliser des analyses de co-occurrence entre les espèces des différents groupes taxonomiques, notamment foraminifères, nématodes et macrofaune afin de pouvoir identifier des espèces qui pourraient avoir la même distribution spatiale (et/ou verticale dans le sédiment pour les nématodes et foraminifères) et pouvoir comparer les caractéristiques écologiques et fonctionnelles de ces espèces. Ces analyses permettraient de renforcer nos connaissances sur les espèces identifiées et mettre en évidence la complémentarité de ces différents groupes faunistiques.

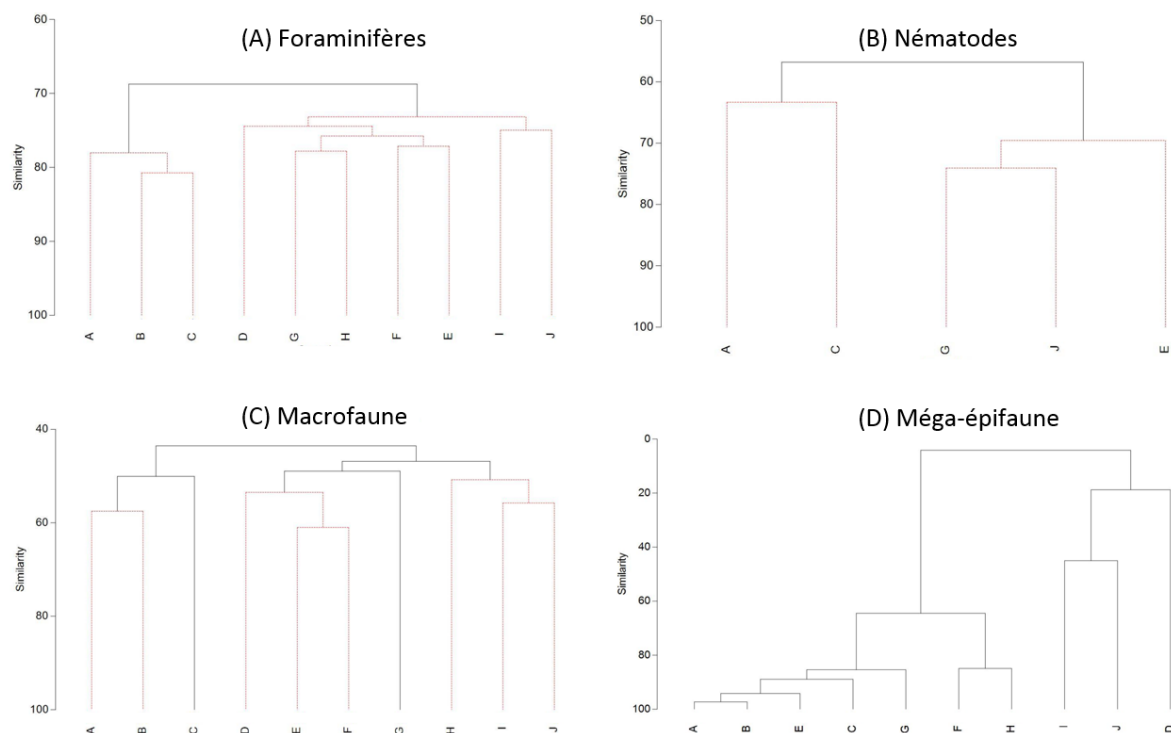


Figure 7. Dendrogrammes basés sur les abondances (A) des foraminifères ( $\text{ind.}50\text{cm}^{-2}$ ), (B) des nématodes ( $\text{ind.}10\text{cm}^{-3}$ ), (C) de la macrofaune ( $\text{ind.}0,3\text{m}^{-2}$ ) et (D) de la méga-épifaune benthique ( $\text{ind.}\text{m}^{-2}$ ), transformées par la fonction racine carrée pour A, B, C et par la fonction  $\log(x+1)$  pour D. Les lignes pleines indiquent une différence significative entre les assemblages (test SIMPROF).

Notre étude des différents groupes faunistiques a donc permis de mettre en évidence des communautés qui répondent aux différences naturelles de granulométrie entre les stations de la zone 1. En effet, les analyses statistiques ont permis de mettre en évidence que **le premier paramètre influençant de manière significative la distribution des communautés de méga-épifaune, macrofaune et foraminifères est la proportion de sable très fin** (Tableau 4). Les métriques caractérisant la pression de pêche (SAR ou EP, sur différentes périodes de temps) ne sortent pas significatives dans ces analyses. Plusieurs hypothèses pourraient être proposées pour expliquer cela :

- 1) la plus crédible semble être que le gradient de pression anthropique liée à la pêche aux arts trainants dans cette zone d'étude soit trop faible pour mettre en évidence une réponse différente des faunes entre les stations ;
- 2) les perturbations exercées par le passage des chaluts dans cette zone ne seraient pas plus impactantes que les perturbations naturelles liées à l'hydrodynamisme du milieu ou à la bioturbation, qui sont mises en évidence entre autres par les données de radioéléments et par les différents faciès observés dans la carotte longue de la station J. Les faunes seraient déjà adaptées à un environnement dynamique et ponctuellement perturbé, et seraient résilientes ou résistantes ;
- 3) la pression de pêche, même modérée, serait suffisamment importante et en place depuis suffisamment longtemps, quelle que soit la station, pour qu'on ne voit pas de différence d'impact sur les faunes qui y seraient déjà totalement adaptées (communautés semi-naturelles, où les espèces les plus sensibles ont disparu).

L'absence de zone de référence (sans impact anthropique récent ou ancien) ne permet malheureusement pas de trancher entre ces hypothèses. L'évolution des faunes fossiles de foraminifères tend à montrer que les communautés n'auraient pas changé drastiquement par rapport au passé (avant la croissance de l'activité de la pêche) mais les limites de la méthode, notamment liées aux pertes taphonomiques (e.g. préservation et transport des coquilles), ne permettent pas de conclure de manière robuste sur ce point.

Tableau 4. Analyses de redondance (RDA) pour les différents groupes faunistiques (10 stations analysées) et toutes les variables environnementales exceptées les variables liées au chalutage (SAR et EP). Les données absolues des faunes sont log-transformées puis subissent une transformation de Hellinger.

	Significant model	Variance model	Variance residual	F	p value	% of observed community structure explained by the model
Méga-faune	sp.hell ~ Vfsand + Csilt + C.Nmol	0.25441	0.26131	1.9472	0.001	24%
Macrofaune	sp.hell ~ Vfsand	0.08515	0.35523	1.9177	0.002	9%
Foraminifères	sp.hell ~ Vfsand	0.030218	0.092829	2.6042	0.001	15%

Comme mentionné plus haut, un plan de gestion des pêcheries démersales a été mis en place en 2020 (WestMed). Cette mesure de gestion a modifié de manière importante les habitudes de pêche et a des conséquences notables sur la distribution de la pression d'abrasion sur le plateau continental, que ce soit de manière globale annuelle ou saisonnièrement (Figure 8). En effet, ce plan a résulté en une fermeture hivernale de grandes zones entre 90 et 100m de profondeur, provoquant un report d'effort de pêche dans ces zones lors de leur ouverture en été. Ainsi, les valeurs d'abrasion se révèlent très variables au cours de la période précédant notre échantillonnage, ce qui complexifie largement les analyses et interprétations des données.

Enfin, l'étude détaillée de différentes métriques de la pression de pêche (SAR - abrasion à 1 mille nautique ou EP - effort de pêche en heure à 50m de précision), intégrées sur des périodes de temps variables, a révélé que suivant le compartiment observé, la durée d'intégration temporelle à considérer était différente mais surtout, que la résolution spatiale (1852m ou 50m) était essentielle pour mettre en évidence un effet de la pêche sur les fonds marins et leurs communautés biologiques associées. Ainsi, quels que soient les indicateurs et les méthodes d'observations retenus, les échelles spatiales de l'observation et de la pression doivent être les plus proches possible.

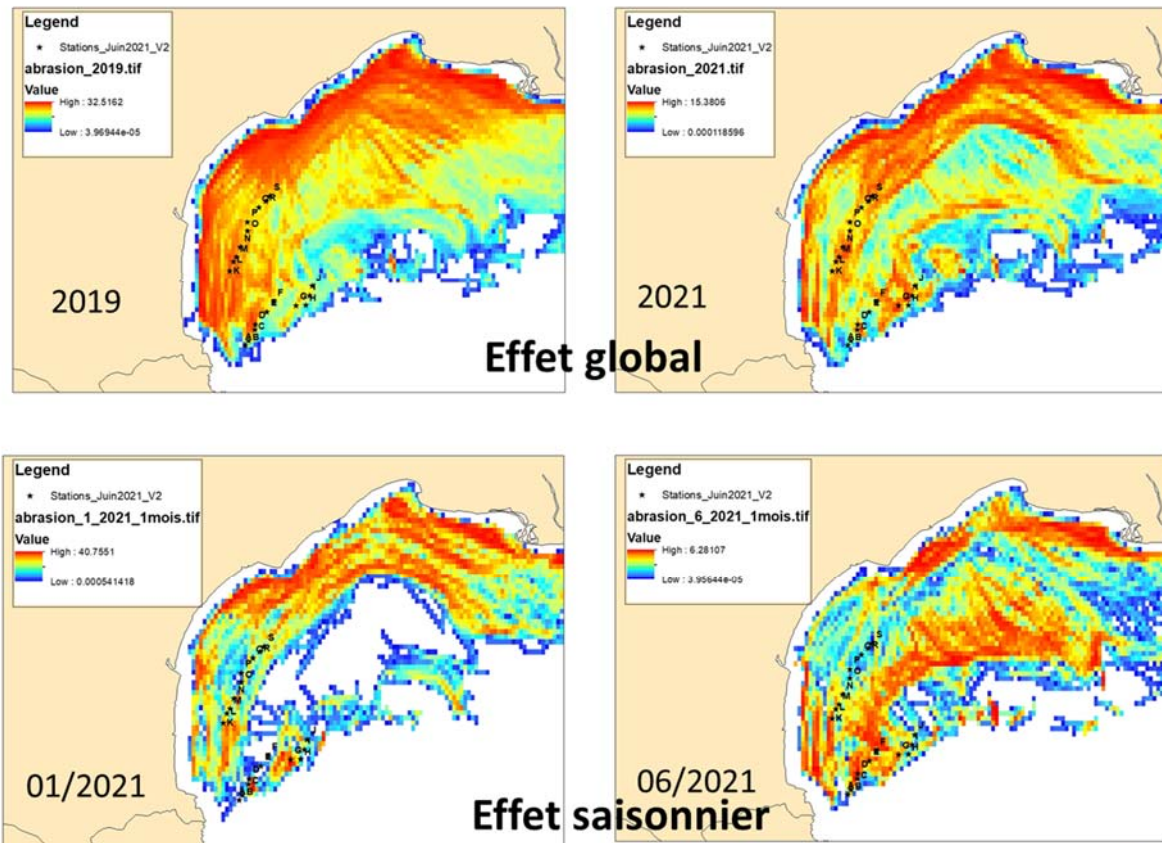


Figure 8. Effet du plan de gestion Westmed sur la pression de pêche exercée sur le plateau continental. En haut, les cartes d'abrasions annuelles ( $SAR.an^{-1}$ ) sur les années 2019 (à gauche) et 2021 (à droite), avant et après la mise en place du plan de gestion respectivement, illustrent la réduction globale de l'empreinte de la pêche chalutière de fond en résultant (noter le changement d'échelle avec un maximum à 32 en 2019 et 15 en 2021). En bas, les abrasions mensuelles ( $SAR.mois^{-1}$ ) des mois de janvier 2021 (à gauche) et juin 2021 (à droite) illustrent le déplacement de l'effort autour et dans la zone bathymétrique 90-100m qui est fermée 8 mois chaque année d'octobre à avril dans le cadre du plan de gestion. Les zones en blanc dénotent l'absence d'activité de pêche générant une abrasion des fonds.

Globalement, les valeurs de SAR pour la Méditerranée sont comparables aux autres façades maritimes françaises, allant en 2021 jusqu'à des valeurs de 30  $SAR.an^{-1}$  dans les zones côtières les plus chalutées. Néanmoins, la pression d'abrasion est plus modérée au large, notamment dans la zone 1 où les valeurs varient entre 0,5 et 3,4  $SAR.an^{-1}$  alors qu'elles peuvent dépasser 50  $SAR.an^{-1}$  dans le golfe de Gascogne à bathymétrie équivalente. Le choix de la zone 1 pour le projet IMPEC se justifie cependant car le but était de s'intéresser aux zones les plus éloignées de la côte, loin des activités humaines terrestres et côtières, là où l'activité de pêche devient la pression anthropique majeure. C'est toutefois un secteur où très peu de données sont disponibles. A partir des données récoltées dans cette zone et les informations issues des VMS, il est difficile de faire le lien entre le chalutage et la distribution des faunes. En effet, le projet IMPEC montre que la distribution des faunes est nettement influencée par

les variations environnementales naturelles (i.e. hydrodynamisme, granulométrie) et met en évidence la difficulté de déconvoluer les effets des variables environnementales de ceux de l'activité anthropique de pêche aux arts trainants. Afin d'y remédier, il faudrait mener des analyses prenant en compte un plus grand nombre de stations et d'habitats, et un gradient de pression plus large.

A partir des données faunistiques, nous avons également pu calculer un certain nombre **d'indices biotiques basés sur la biodiversité ou sur la sensibilité des espèces. Pour la méga-épifaune et la macrofaune, des indices basés sur les traits biologiques ont également pu être testés. Aucun de ces indices ne montre de corrélation claire et statistiquement significative avec les métriques de pression de la pêche** (Effort de pêche ou SAR) (Figure 9). La biodiversité de la zone d'étude est élevée et caractéristique du plateau continental du golfe du Lion. Les indices développés pour mettre en évidence une eutrophisation du milieu comme les indices AMBI (Borja et al., 2000), M-AMBI (Muxika et al., 2007) ou TSI-Med (Barras et al., 2014 ; Parent et al., 2021) n'ont illustré aucun gradient de perturbation au sein des faunes. Cette absence de réponse n'est pas étonnante compte-tenu de la faible teneur en MO du sédiment et donc l'impact relatif faible que pourrait avoir la perturbation physique du milieu sur la reminéralisation de la MO. L'indice GPBI (Labrune et al., 2021) qui a été développé pour évaluer l'impact de perturbation de nature autre que l'eutrophisation (e.g. perturbation physique des fonds) ne permet pas non plus de mettre en évidence une corrélation entre les métriques de pression d'abrasion et celles des faunes, quel que soit le groupe faunistique considéré (Figure 9). Cependant, l'utilisation de cet indice et ses résultats sont contraints par le nombre restreint de stations considérées dans cette étude et par le fait qu'il est indispensable, pour son calcul, de sélectionner des stations de références. Même les indices fonctionnels proposés par (Jac et al., 2020a), tels que le p-TDI, ne donnent pas de résultat significatif. D'après cette étude, ces indices permettraient effectivement de mettre en évidence l'impact de la pêche en Atlantique et en Mer du Nord mais montraient des résultats plus discutables pour la Méditerranée. **Il est possible que le gradient de pêche, de faible ampleur dans le projet IMPEC et sans zone de référence (sans pression), ne permette pas de détecter de changement dans la sensibilité des faunes observées ici.**

L'utilisation de traits biologiques pourrait cependant être revue en prenant en compte des traits d'effet (qui expriment l'effet de l'organisme sur l'écosystème) plutôt que des traits de réponse (qui décrivent la réponse de l'organisme à un changement environnemental, naturel ou pas). En effet, Beauchard (2023) ont relevé une plus grande sensibilité de ce type de trait (telles les bio -diffusion, -stabilisation ou -construction, ou encore la taille de la méga-épifaune érigée par exemple) à la pression de chalutage dans un grand nombre de cas d'études, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives d'indicateurs.

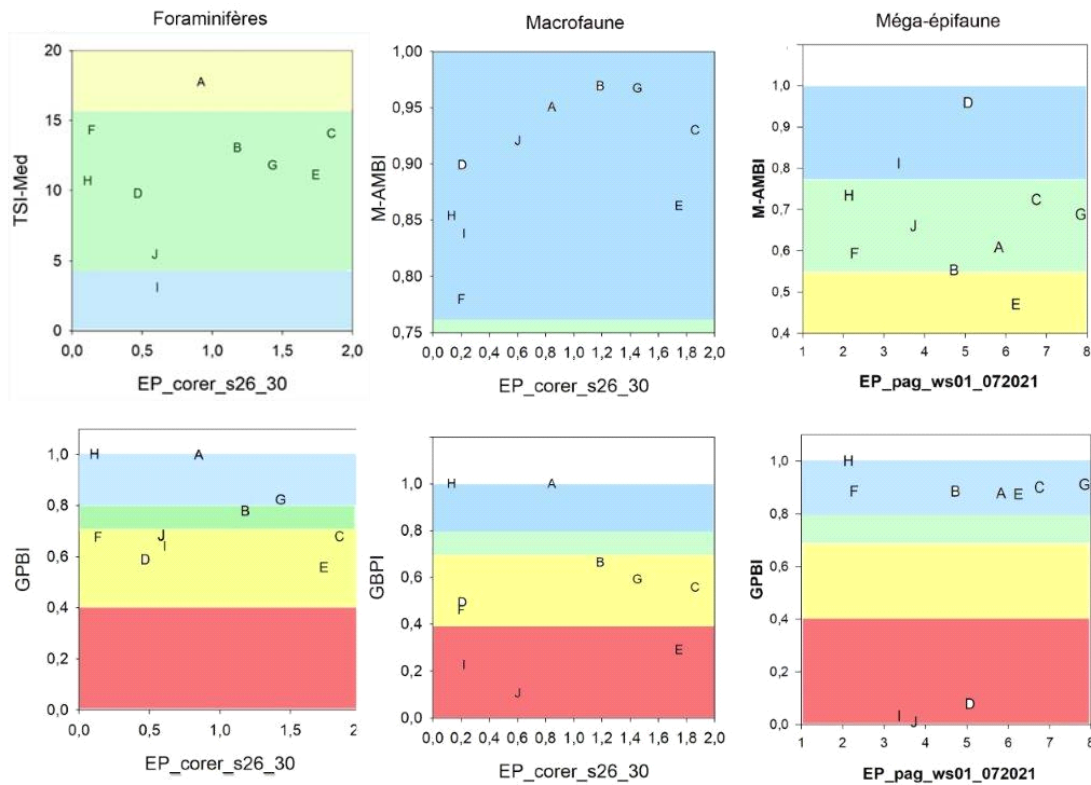


Figure 9. Valeurs des indices biotiques TSI-Med ou M-AMBI (panneaux du haut) et GPBI (panneaux du bas) pour les foraminifères (à gauche), la macrofaune (au centre) et la méga-épifaune (à droite) en fonction de l'effort de pêche à chaque station les cinq semaines précédant l'échantillonnage (pour les foraminifères et la macrofaune) ou les sept derniers mois (pour la méga-épifaune). Pour les foraminifères et la macrofaune, les stations de référence utilisées pour le calcul du GPBI sont la station A pour le groupe de stations A, B, C et la station H pour les autres stations. Pour la méga-épifaune, seule la station H est utilisée comme station de référence. Bleu = très bon état, vert = bon état, jaune = état moyen, rouge = mauvais état.

**L'indicateur qui montre le meilleur lien pression-état dans notre étude est celui basé sur la taille des organismes dressés de la méga-épifaune benthique. En effet, la taille des Alcyons semble diminuer avec l'augmentation de la pression de pêche (Figure 10).** Cette approche requiert cependant d'identifier des espèces à la fois sensibles à la pression étudiée mais suffisamment communes dans les habitats étudiés pour qu'elles puissent servir de bio-indicateurs. De plus, une connaissance accrue de l'écologie de l'espèce est nécessaire pour pouvoir prendre en compte les processus saisonniers en lien avec le renouvellement et la démographie de la population.

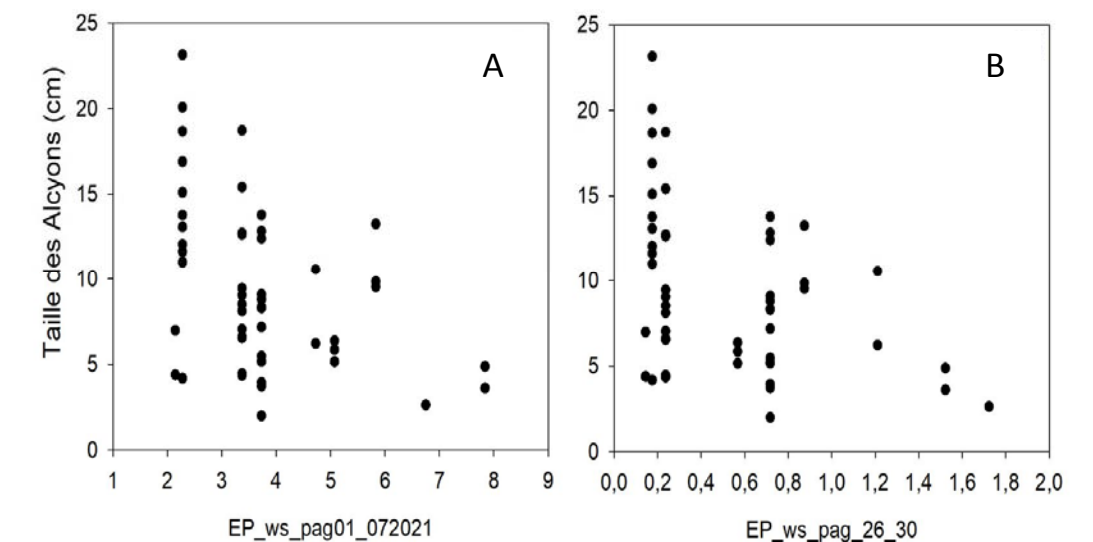


Figure 10. Relation entre la taille de *Alcyonium sp.* et (A) l'effort de pêche entre janvier et juillet 2021, ou (B) l'effort de pêche des cinq semaines précédant l'échantillonnage. L'effort de pêche est exprimé en nombre d'heures de pêche sommé sur la période choisie dans les 50m autour de la station.

## 6 Résultats principaux de la faune morte des foraminifères pour reconstituer l'évolution historique des conditions environnementales

L'analyse des faunes fossiles de la carotte longue de la station J (StJ Kull10) a permis de mettre en évidence une oscillation entre deux communautés relativement différentes en fonction des conditions hydrodynamique du milieu. Cette zone est donc naturellement dynamique et abrite des faunes dont les espèces dominantes vont changer en fonction de ces conditions. Les communautés de foraminifères morts des stations C et J (carottes d'interface StC Ci-W et StJ Ci-W) sont relativement similaires aux communautés actuelles et ne montrent pas de tendance particulière au cours du temps. Cela pourrait être lié à l'homogénéisation des sédiments de surface (et donc des coquilles de foraminifères) par l'activité bioturbatrice de la macrofaune, des courants de fonds et potentiellement du labourage des fonds avec les engins de pêche. Le taux de sédimentation relativement faible dans cette zone 1 ainsi qu'un SAR relativement faible ne permettent peut-être pas de mettre en évidence un impact de la pression d'abrasion liée à la pêche compte-tenu des limites de l'outil (image moyennée de la faune, transport de coquilles allochtones). Il serait cependant intéressant de réaliser cette même approche sur une carotte de la zone 2 où les taux de sédimentation sont plus importants (données préliminaires), permettant d'obtenir une meilleure résolution temporelle, et où les SAR sont plus élevés (3 SAR.an<sup>-1</sup> en moyenne entre 2019 et 2021 pour la station J contre 6 en moyenne sur la zone 2).

## 7 Recommandations en matière d'évaluation et suivi

Si l'on tient compte de l'importance de la surface des habitats sédimentaires du circalittoral du large à surveiller dans le cadre de la DCSMM afin d'évaluer leur état écologique vis-à-vis des pressions

anthropiques liées au chalutage, i.e. la totalité du plateau continental, il est impossible de réaliser toute la batterie d'analyses de paramètres environnementaux et faunistiques, tel que cela a été proposé dans le projet IMPEC, avec un maillage suffisamment fin pour être pertinent. Cependant, nous avons pu mettre en évidence qu'il était important d'avoir une caractérisation du milieu étudié car celle-ci influence les communautés faunistiques, quel que soit le groupe taxonomique considéré. Il est donc indispensable *a minima* d'acquérir des données de granulométrie du sédiment, d'autant plus que ce paramètre est relativement simple, rapide et peu coûteux à analyser. D'autre part, bien que cela n'ait pas été un paramètre discriminant dans le cas de cette zone 1, une estimation de la quantité et de la qualité de la MO paraît également indispensable car ce paramètre est déterminant pour les faunes.

Les communautés des trois groupes faunistiques étudiés aux dix stations (méga-épifaune, macrofaune et foraminifères) semblent corrélées entre elles à plus de 85% dans cette zone d'étude. Cependant, les informations basées sur l'épifaune et l'endofaune sont complémentaires. En effet, l'étude de l'endofaune (macrofaune, foraminifères, nématodes) permet de mettre en évidence la différence de granulométrie et donc d'hydrodynamisme du milieu entre les stations A, B et C et les autres. Ceci n'est pas visible dans les données d'assemblage de la méga-épifaune qui sont largement influencées par la dominance de l'espèce semi-mobile *Leptometra* sp. Cependant, la taille des organismes dressés est mesurée à partir de l'analyse des transects vidéo permettant d'observer la méga-épifaune, permettant d'obtenir ce paramètre sur un nombre plus conséquent d'individus qui ne sont pas abimés par le moyen de prélèvement.

Nous recommandons de faire des suivis surfaciques par vidéo tractée afin de suivre la diversité de la méga-épifaune ainsi que la métrique qui semble la plus pertinente d'après notre étude préliminaire, à savoir la taille des Alcyons. Ces données pourraient être complétées par la faune prélevée et identifiée lors des campagnes de chalutage déjà organisées dans le cadre des suivis des stocks de poissons par l'Ifremer. En effet, cela permettrait de couvrir une partie notable du plateau continental avec un effort logistique moindre.

De plus, ces suivis devraient être complétés par un échantillonnage stationnel avec une résolution spatiale moins importante que les suivis vidéos pour étudier l'évolution de l'endofaune benthique.

L'impact de la perturbation du chalutage n'a pas pu être mis en évidence sur cette zone 1 qui est relativement restreinte en termes de gradient d'abrasion (SAR) et de nombre de stations. Il est possible que l'étude de zones supplémentaires, présentant des pressions de pêche plus extrêmes, mette en évidence la pertinence d'indicateurs biotiques. De plus, cette étude complémentaire permettrait d'avoir un inventaire plus précis des faunes vivant dans le milieu et de leur évolution dans le temps. Pour cela, un certain nombre de sites devra être identifié sur le plateau continental pour effectuer ce suivi de manière optimisé.

Par ailleurs, les zones de cantonnement sont primordiales pour avoir des zones de références fiables. Néanmoins, sur l'exemple de la station J, théoriquement en zone de cantonnement mais pourtant chalutée, des mesures de contrôle doivent accompagner ces procédures juridiques pour qu'elles soient réellement efficaces.

## 8 Perspectives

Lors de la mission océanographique en août 2021, nous avons échantillonné une seconde zone située à une bathymétrie de 80m de profondeur dans un substrat vaseux homogène où l'amplitude du gradient de pression de pêche aux arts traînants est plus marquée (SAR entre 4 et 8 SAR.an<sup>-1</sup> en 2021). L'étude de cette zone 2 n'a pas pu être intégrée dans le projet IMPEC pour des raisons de budget mais elle serait très pertinente à analyser et à intégrer aux résultats de la zone 1. Il serait également intéressant d'envisager l'utilisation de données issues d'autres projets sur le golfe du Lion où l'effort de pêche peut être connu. Cela pourrait concerner entre autres des projets dans lesquels les partenaires d'IMPEC sont investis, notamment 1) les projets CAPDONA (zone du cantonnement de pêche de Beauduc) et CLAPI (zone de Port-la-Nouvelle) sur des données de macrofaune, foraminifères et SPI ; 2) le projet APPEAL (plateau continental du golfe du Lion) sur des données de méga-épifaune, macrofaune et SPI ; ou 3) les projets Bentchal (plateau continental du golfe du Lion), GALION (plateau continental du golfe du Lion), IDEM-VIDEO (haut du talus du golfe du Lion), et des campagnes halieutiques (MEDITS, GOLDYS) sur des données de macrofaune et méga-épifaune benthiques. En effet, augmenter le nombre de stations prises en compte pour tester des hypothèses permettrait aussi de rendre les tests statistiques plus puissants.

D'autre part, pour mieux comprendre l'impact du chalutage sur les écosystèmes benthiques, il serait intéressant de pouvoir réaliser une expérience mieux cadrée : mettre au point un protocole expérimental qui permettrait de faire des prélèvements à l'endroit précis où le chalut est passé, avec un pas de temps permettant d'estimer la résilience des faunes et pouvoir tester l'impact de différentes fréquences de passage du chalut sur cette résilience. Ceci permettrait d'avoir des résultats beaucoup plus éclairés. Ces types d'observations sont prévues dans la cadre du projet EU-REDRESS (projet Européen, uniquement la méga-épifaune benthique par vidéo sous-marine), où l'effet des fermetures saisonnières et permanentes de zone à la pêche sera étudié, afin de mettre en évidence les potentiels processus de restauration des biotopes à court et moyen terme dans des zones protégées de certaines activités anthropiques.

## 9 Références

- Amoroso R. O., Pitcher C. R., Rijnsdorp A. D., McConnaughey R. A., Parma A. M., Suuronen P., Eigaard O. R., Bastardie F., Hintzen N. T., Althaus F., Baird S. J., Black J., Buhl-Mortensen L., Campbell A. B., Catarino R., Collie J., Cowan J. H., Durholtz D., Engstrom N., Fairweather T. P., Fock H. O., Ford R., Gálvez P. A., Gerritsen H., Góngora M. E., González J. A., Hiddink J. G., Hughes K. M., Intelmann S. S., Jenkins C., Jonsson P., Kainge P., Kangas M., Kathena J. N., Kavadas S., Leslie R. W., Lewis S. G., Lundy M., Makin D., Martin J., Mazor T., Gonzalez-Mirelis G., Newman S. J., Papadopoulou N., Posen P. E., Rochester W., Russo T., Sala A., Semmens J. M., Silva C., Tsolos A., Vanelislander B., Wakefield C. B., Wood B. A., Hilborn R., Kaiser M. J. and Jennings S. (2018) Bottom trawl fishing footprints on the world's continental shelves. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **115**, E10275–E10282.
- Barras C., Jorissen F. J., Labrune C., Andral B. and Boissery P. (2014) Live benthic foraminiferal faunas from the French Mediterranean Coast: Towards a new biotic index of environmental quality. *Ecol. Indic.* **36**, 719–743.

- Beauchard O. (2023) The importance of trait selection on the meaning of functional diversity in benthic studies. *Front. Mar. Sci.* **10**.
- Borja A., Franco J. and Pérez V. (2000) A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments. *Mar. Pollut. Bull.* **40**, 1100–1114.
- Brivois O., Desmazes F., Maspataud A. and Masson F. (2018) *Évaluation du descripteur 6 « Intégrité des fonds » en France métropolitaine (critères D6C1, D6C2 et D6C3). Rapport scientifique pour l'évaluation 2018 au titre de la DCSMM.*, BRGM.
- De Borger E., Tiano J., Braeckman U., Rijnsdorp A. D. and Soetaert K. (2021) Impact of bottom trawling on sediment biogeochemistry: a modelling approach. *Biogeosciences* **18**, 2539–2557.
- Dray S., Chessel D. and Thioulouse J. (2003) Co-Inertia Analysis and the Linking of Ecological Data Tables. *Ecology* **84**, 3078–3089.
- Estournel C., Mikolajczak G., Ulses C., Bourrin F., Canals M., Charmasson S., Doxaran D., Duhaut T., de Madron X. D., Marsaleix P., Palanques A., Puig P., Radakovitch O., Sanchez-Vidal A. and Verney R. (2023) Sediment dynamics in the Gulf of Lion (NW Mediterranean Sea) during two autumn–winter periods with contrasting meteorological conditions. *Prog. Oceanogr.* **210**, 102942.
- Garlan T. (2011) *Sédimentologie - Méditerranée occidentale*. SEXTANT Ifremer
- Georges V., Begot E., Duchene J., Fabri M.-C., Laffargue P., Leblond E., Rodriguez J., Vaz S., Woillez M., Menot L., Duchene J., Fabri M.-C., Laffargue P., Leblond E., Rodriguez J., Vaz S., Woillez M. and Menot L. (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 (2022) Abrasion superficielle des fonds marins par les arts de pêche trainants. *Sextant*.
- Jac C., Desroy N., Certain G., Foveau A., Labrune C. and Vaz S. (2020a) Detecting adverse effect on seabed integrity. Part 1: Generic sensitivity indices to measure the effect of trawling on benthic mega-epifauna. *Ecol. Indic.* **117**, 106631.
- Jac C., Desroy N., Certain G., Foveau A., Labrune C. and Vaz S. (2020b) Detecting adverse effect on seabed integrity. Part 2: How much of seabed habitats are left in good environmental status by fisheries? *Ecol. Indic.* **117**, 106617.
- de Juan S. and Demestre M. (2012) A Trawl Disturbance Indicator to quantify large scale fishing impact on benthic ecosystems. *Ecol. Indic.* **18**, 183–190.
- Labrune C., Gauthier O., Conde A., Grall J., Blomqvist M., Bernard G., Gallon R., Dannheim J., Van Hoey G. and Grémare A. (2021) A General-Purpose Biotic Index to Measure Changes in Benthic Habitat Quality across Several Pressure Gradients. *J. Mar. Sci. Eng.* **9**, 654.
- Martín J., Puig P., Palanques A. and Ribó M. (2014) Trawling-induced daily sediment resuspension in the flank of a Mediterranean submarine canyon. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* **104**, 174–183.

- Muxika I., Borja Á. and Bald J. (2007) Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Mar. Pollut. Bull.* **55**, 16–29.
- Oberle F. K. J., Storlazzi C. D. and Hanebuth T. J. J. (2016) What a drag: Quantifying the global impact of chronic bottom trawling on continental shelf sediment. *J. Mar. Syst.* **159**, 109–119.
- Palanques A., Puig P., Durrieu de Madron X., Sanchez-Vidal A., Pasqual C., Martín J., Calafat A., Heussner S. and Canals M. (2012) Sediment transport to the deep canyons and open-slope of the western Gulf of Lions during the 2006 intense cascading and open-sea convection period. *Prog. Oceanogr.* **106**, 1–15.
- Palanques A., Puig P., Guillén J., Demestre M. and Martín J. (2014) Effects of bottom trawling on the Ebro continental shelf sedimentary system (NW Mediterranean). *Cont. Shelf Res.* **72**, 83–98.
- Palanques A., Puig P., Latasa M. and Scharek R. (2009) Deep sediment transport induced by storms and dense shelf-water cascading in the northwestern Mediterranean basin. *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.* **56**, 425–434.
- Parent B., Barras C., Bicchi E., Charrieau L. M., Choquel C., Bénéteau É., Maillet G. M. and Jorissen F. J. (2021) Comparison of Four Foraminiferal Biotic Indices Assessing the Environmental Quality of Coastal Mediterranean Soft Bottoms. *Water* **13**, 3193.
- Schmidt S., Howa H., Diallo A., Martín J., Cremer M., Duros P., Fontanier C., Deflandre B., Metzger E. and Mulder T. (2014) Recent sediment transport and deposition in the Cap-Ferret Canyon, South-East margin of Bay of Biscay. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* **104**, 134–144.
- Tiano J. C., Witbaard R., Bergman M. J. N., van Rijswijk P., Tramper A., van Oevelen D. and Soetaert K. (2019) Acute impacts of bottom trawl gears on benthic metabolism and nutrient cycling. *ICES J. Mar. Sci.* **76**, 1917–1930.