

RAPPORT À DESTINATION D'ÉOLIENNES OFFSHORE DES HAUTES-FALAISES

Suivi de l'ichtyofaune et des ressources halieutiques

Phase travaux - Parc éolien de Fécamp

Suivi de l'ichtyofaune et des ressources halieutiques

Phase travaux - Parc éolien de Fécamp

Version finale du 24/07/2024

Par
Pierre BALAY – pierre.balay@csln.fr
Mélissa REY – melissa.rey@csln.fr

Pour
Société Eoliennes Offshore des Hautes-Falaises (EOHF)

Avec la collaboration de :
Camille HANIN : Prélèvements, traitements statistiques et cartographie
Elodie MORVAN : Prélèvements, traitement des captures et saisie de données

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	5
2. ETAT DE L'ART	7
3. IMPACTS DU PARC EOLIEN	10
4. MATERIELS ET METHODES	11
4.1 Principes généraux	11
4.2 Protocole de suivi	11
4.2.1 Engin de pêche	11
4.2.2 Plan d'échantillonnage	13
4.2.3 Saisonnalité	14
4.2.4 Prélèvements	14
4.2.5 Traitements des captures	14
4.3 Analyse des résultats	15
4.3.1 Indicateurs biologiques	15
4.3.2 Groupes faunistiques	15
4.3.3 Outils cartographiques	16
4.3.4 Outils statistiques	16
4.3.4.1 Représentation des indicateurs biologiques	17
4.3.4.2 Tests statistiques	17
4.3.4.3 Analyses multivariées	17
I.1.1. Paramètres environnementaux	17
I.1.2. Captures	18
5. LIMITES DE L'ETUDE	19
6. RESULTATS	20
6.1 Calendrier des travaux et mesures acoustiques	20
6.2 Calendrier des campagnes	21
6.3 Conditions de réalisation des campagnes	22
6.4 Approche générale	24
6.4.1 Liste d'espèces	24
6.4.2 Fréquences d'occurrence	28
6.4.3 Abondances	30
6.5 Recherche d'effets de la phase travaux	38
6.5.1 Approche par assemblage	38
6.5.2 Approche par indicateurs globaux	44
6.5.3 Approche monospécifique	47
6.5.3.1 Le bar - <i>Dicentrarchus labrax</i>	47
6.5.3.2 Le callionyme lyre - <i>Callionymus lyra</i>	50
6.5.3.3 La dorade grise - <i>Spondyliosoma cantharus</i>	52
6.5.3.4 L'émissole tachetée - <i>Mustellus asterias</i>	55
6.5.3.5 L'encornet - <i>Loligo vulgaris</i>	58
6.5.3.6 Le grondin rouge - <i>Chelidonichthys cuculus</i>	61
6.5.3.7 La petite roussette - <i>Scyliorhinus canicula</i>	64
6.5.3.8 La raie brunette - <i>Raja undulata</i>	67
6.5.3.9 Le vracton grelue - <i>Symphodus bailloni</i>	70

7. SYNTHÈSE..... 72

BIBLIOGRAPHIE..... 74

ANNEXES

ANNEXE 1. CPUE numériques (ind/km²)..... 76

ANNEXE 2. CPUE pondérales (kg/km²)..... 78



1. INTRODUCTION

La société Eoliennes Offshore des Hautes-Falaises (EOHF) détenue par les sociétés EDF Renouvelables, Enbridge, Skyborn Renewables et CPP Investments s'est vu, à la suite du premier appel d'offres éolien en mer, attribuer le site au large de Fécamp pour le développement et l'exploitation d'un parc éolien en mer. Le raccordement électrique du parc à la terre est sous la maîtrise d'ouvrage de RTE (Réseau de Transport d'Electricité).

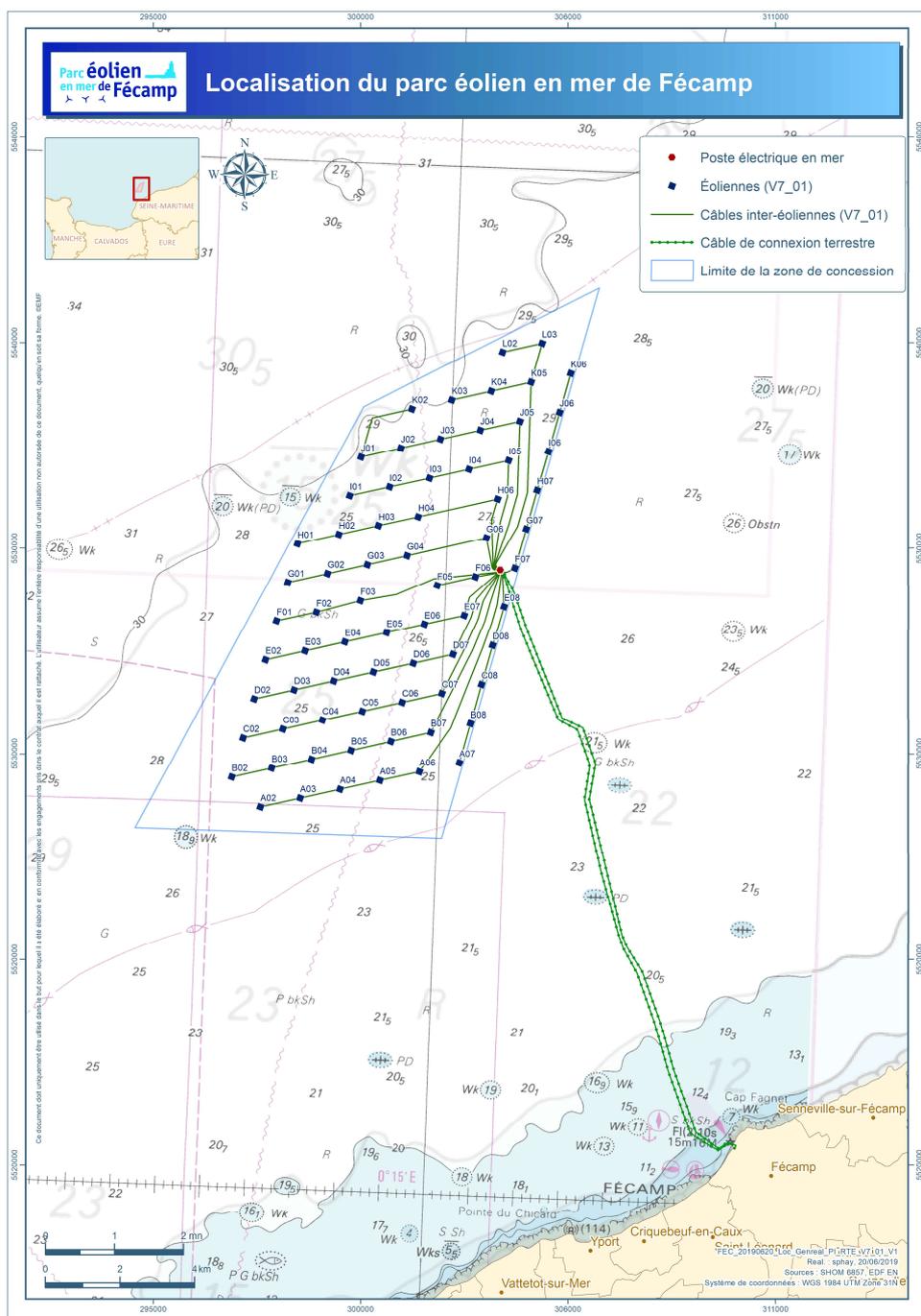


Figure 1 : Carte de localisation du projet éolien en mer de Fécamp et du raccordement électrique en mer.

La société Éoliennes Offshore des Hautes Falaises (EOHF) bénéficie depuis le 5 avril 2016 d'un arrêté autorisant, au titre de l'article L214-3 du code de l'environnement, l'aménagement et l'exploitation d'un parc éolien en mer au large de Fécamp. L'article 9 de cet arrêté décrit les suivis des effets du projet sur l'environnement. Ces suivis concernent plusieurs compartiments et doivent être réalisés selon le principe BACI avant et pendant les travaux d'installation du projet éolien, puis pendant la phase d'exploitation du projet.

Le présent document concerne le compartiment ichtyofaune et ressource halieutique, suivi dans la zone du parc éolien et à proximité. Il a pour but d'étudier et d'identifier, le cas échéant, les impacts au sein de la communauté en place en lien avec la réalisation des travaux de 2022 à 2024 et de les mettre en perspective avec les conclusions de l'Etude d'Impact Environnemental (EIE). L'étude correspond aux mesures de suivi Msu2 de l'EIE.

La CSLN a été mandatée pour réaliser le suivi de l'ichtyofaune et des ressources halieutiques. Ce suivi s'appuie sur les deux années d'état de référence avant travaux réalisés entre 2019 et 2021 et les campagnes effectuées durant la phase de travaux en 2023 et 2024.

2. ETAT DE L'ART

Les études de l'Ifremer à l'échelle de la Manche Orientale montrent que le peuplement présent sur la zone d'étude appartient à la « communauté du large ». Il est représenté principalement par les élasmobranches (roussette, raie et émissole) et les tacauds avec une diversité plus faible qu'en Baie de Seine ou sur le sud du détroit du Pas-de-Calais. Cette communauté fréquente les fonds durs avec des conditions hydrologiques océaniques (températures et salinités fortes en octobre), de forts courants de marées et des profondeurs importantes pour la zone (Carpentier et al., 2009).

En ce qui concerne les Zones Fonctionnelles Halieutiques (ZFH) que sont les frayères et nourriceries (

Tableau 1), la zone d'étude est située au sein de la zone de frayère pour le merlan, cette zone étant très étendue en Manche Est. La zone du parc éolien ne constitue pas une zone fonctionnelle connue pour les autres espèces étudiées. En revanche, elle se situe sur ou à proximité des zones de reproduction du hareng qui s'étendent dans les eaux peu profondes d'Antifer à Boulogne.

Tableau 1 : Résumé des connaissances sur les zones de frayères et de nourriceries en Manche Est et sur la zone d'étude (Régimbart et al., 2018)

Espèce	Frayères		Nourriceries	
	Manche Est	Zone d'étude	Manche Est	Zone d'étude
Bar (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Non	Non	Oui	Non
Hareng (<i>Clupea harengus</i>)	Non	Non	Oui - Esuaire de Seine	Non
Limande (<i>Limanda limanda</i>)	Oui - Nord Est	Non	Oui	Non
Merlan (<i>Merlangius merlangus</i>)	Oui - Nord Est	Oui	Oui	Non
Morue (<i>Gadus morhua</i>)	Oui - Nord Est	Non	Non	Non
Plie (<i>Pleuronectes platessa</i>)	Oui - Nord Est	Non	Oui	Non
Sole (<i>Sole solea</i>)	Oui	Non	Oui	Non
Sprat (<i>Sprattus sprattus</i>)	Non	Non	Oui	Non
Tacaud commun (<i>Trisopterus luscus</i>)	Non	Non	Oui	Non

L'état initial mené en 2013-14 avec 4 campagnes de pêche avait mis en évidence les fluctuations saisonnières importantes avec un peuplement d'hiver et un peuplement d'été (Balay et al., 2015), observations confirmées lors des deux années d'état de référence sur la période 2019-2021 (Balay et al., 2022). Ces trois années d'études ont également permis de constater les fluctuations interannuelles. Elles sont connues pour être naturellement fortes dans le milieu marin. Ces fluctuations sont d'autant plus importantes pour les espèces fortement migratrices comme les espèces pélagiques (par ex. hareng et chinchard) ou le rouget-barbet et la seiche, entre autres, pour le compartiment benthodémersal.

En croisant les six premiers rangs des fréquences de captures, abondance numériques et abondances pondérales du total des 10 campagnes réalisées depuis 2013, 10 espèces du compartiment benthodémersal ressortent comme caractéristique de la zone d'étude : les grondins rouge et camard, la petite roussette, l'émissole tachetée, les raies bouclée et brunette, la dorade grise, le tacaud commun et le petit tacaud, l'encornet.

Sur la période 2019-2021, les 24 espèces présentées ci-après (Figure 2) ont une fréquence de capture supérieure à 10 % dans les prélèvements au chalut.

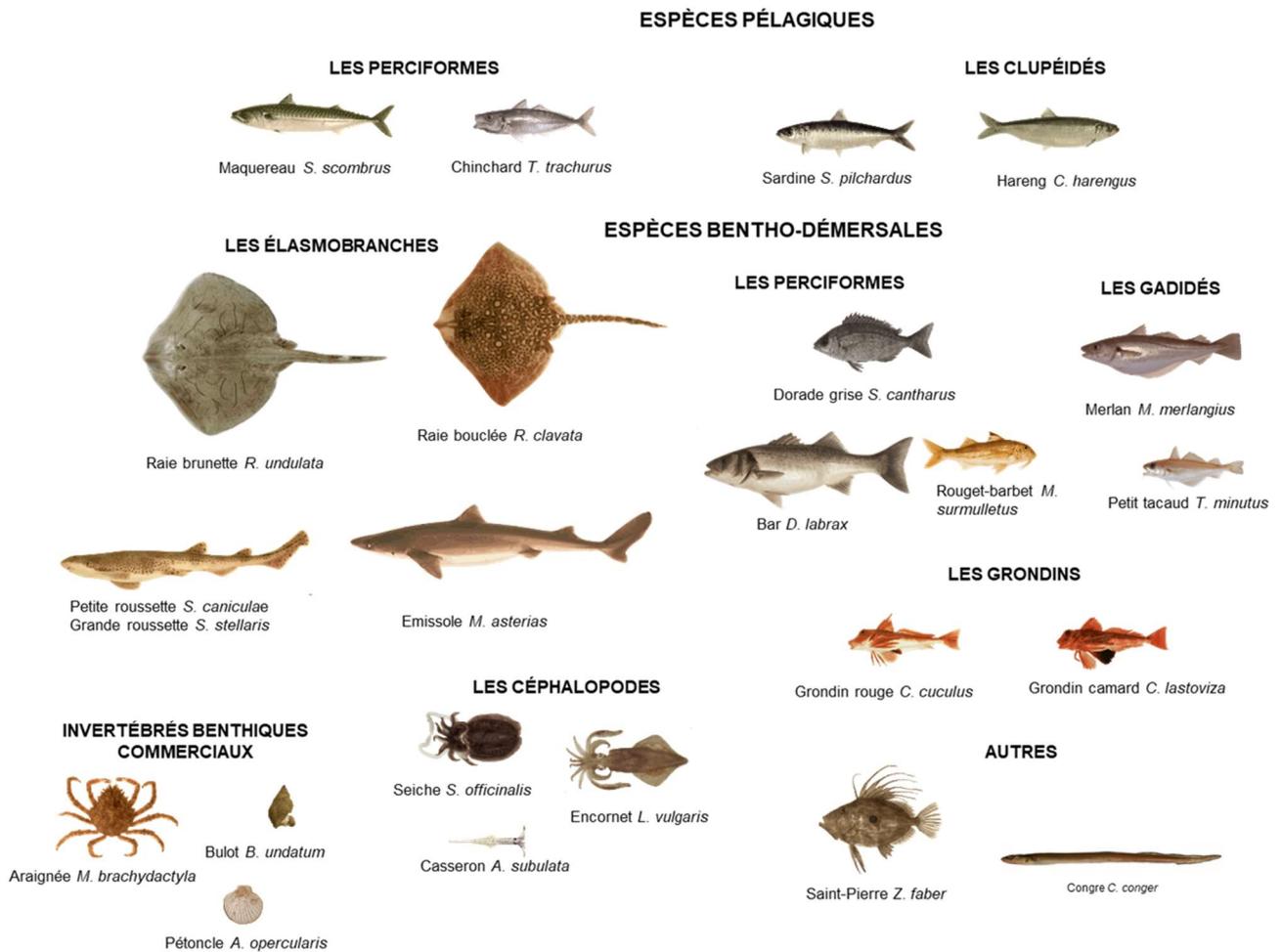


Figure 2 : Principales espèces capturées lors des campagnes saisonnières au chalut entre 2019 et 2021 (fréquence de capture annuelle supérieure à 10 %) (photos Ifremer).

Le tableau ci-après (Tableau 2) résume l'évaluation de l'état des stocks en 2022 (Biseau, Ifremer 2022) estimé à partir de la biomasse de reproducteur (B) qui mesure la capacité d'un stock à se reproduire (B_{lim} = biomasse limite en dessous de laquelle il n'est pas certain que le stock puisse se reconstituer). L'indice MSY-B_{trigger} correspond au seuil en dessous duquel il faut réduire la mortalité par pêche pour rétablir le stock. Pour la région qui nous concerne (Manche Est), l'Ifremer conclut à un stock effondré concernant la morue et un stock dans un état non satisfaisant pour le bar et le hareng, espèces toutes les trois présentes sur la zone d'étude.

Tableau 2 : Tableau issu du résumé graphique des diagnostics et avis émis par le Comité International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) en 2022 réalisé par l'Ifremer (Biseau, 2022).

Espèce - zone	Biomasse estimée							
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Morue - mer de Barents et mer de Norvège (1,2))								
Eglefin - mer de Barents et mer de Norvège (1,2)								
Lieu noir - mer de Barents et mer de Norvège (1,2)								
Morue - mer du nord + Manche est (3a,4,7d)								
Merlan - mer du nord + Manche est (4,7d)								
Lieu noir - mer du nord + ouest Ecosse (3a,4,6)								
Eglefin - mer du nord + ouest Ecosse (3a,4,6a)								
Sole - mer du nord (4)								
Plie - mer du nord (4)								
Hareng - mer du nord + Manche est (3a,4,7d)								
Bar -mer du Nord, Manche, mer Celtique (4bc,7a,7d-h)								
Turbot - mer du nord (4)								
Balai- mer du Nord et Manche est (3a,4,7d)								
Sole – Manche est (7d)								
Plie - Manche est (7d)								
Sole - Manche ouest (7e)								
Plie - Manche ouest (7e)								
Morue - ouest Ecosse (6a)								
Merlan - ouest Ecosse (6a)								
Cardine - mer du Nord et ouest Ecosse (4a, 6a)								
Morue - mer Celtique (7 ^e -k)								
Merlan - mer Celtique (7bce-k)								
Eglefin - mer Celtique (7b-k)								
Sole - mer Celtique (7fg)								
Baudroie blanche - mer Celtique + golfe de Gascogne (7,8)								
Cardine - mer Celtique + golfe de Gascogne (7,8)								
Langoustine - Porcupine (FU 16)								
Langoustine - Labadie-Jones (FU 20-21)								
Langoustine - Smalls (FU 22)								
Langoustine - golfe de Gascogne (8abd)								
Merlu - stock nord (2,3,4,5,6,7,8abd)								
Sole - golfe de Gascogne (8ab)								
Bar - golfe de Gascogne (8ab)								
Anchois - golfe de Gascogne (8abd)								
Sardine - golfe de Gascogne (8abd)								
Chinchard - stock ouest (2a,4a,5b,6a,7a-ce-k,8)								
Maquereau (2,3,4,6,7,8)								
Merlan bleu (1-9,12,14)								
Lingue bleue (5b,6,7)								
Aiguillat Atlantique Nord-Est								
Requin taupe - Atlantique Nord-Est								
Raie Brunette - Manche (7dc)								
Raie bouclée - golfe Gascogne (8abd)								

Stock dans un état satisfaisant ($B \geq MSY\text{-Btrigger}$)
Stock estimé dans un état satisfaisant
Stock dans un état non satisfaisant ($B < MSY\text{-Btrigger}$)
Stock effondré ($B < Blim$)
Stock non classifié (pas de point de référence)
Stock non évalué analytiquement

3. IMPACTS DU PARC EOLIEN

Les impacts prévisionnels de la construction et de l'exploitation du parc éolien sur les peuplements marins et les ressources halieutique sont définis dans le cadre de l'Évaluation d'Impact Environnemental (EIE) (Parc Eolien en Mer de Fécamp, 2015).

En ce qui concerne la phase de construction, deux types d'effets potentiels sur l'ichtyofaune et les ressources halieutiques sont répertoriés :

- L'effet acoustique : bruit sous-marin généré au cours des différentes phases opérationnelles. Le retour d'expérience et la bibliographie sur les émissions sonores prévues indiquent des valeurs de pression comprises entre 145 et 262 dB re 1 μ Pa à 1 m selon le type d'opération (Ifremer, 2011). La littérature fait état i) d'impacts physiologiques liés au bruit sur les poissons à partir d'un niveau de pression de 160 à 180 dB re 1 μ Pa, le niveau de sensibilité variant en fonction de l'espèce et du stade de vie (Popper *et al*, 2009 et 2019 ; Slabbekoorn *et al*, 2010 ; Mooney *et al*, 2020) ; ii) d'impact sur le comportement chez les poissons et céphalopodes (migration verticale, fuite...) à partir de 147 dB re 1 μ Pa. Les activités de battage des pieux et de forage pour la sous-station sont identifiées comme étant les plus susceptibles de générer un impact sur ce compartiment avec des niveau d'émission pouvant atteindre respectivement 190 et 250 dB re 1 μ Pa (Persohn *et al*, 2020).
- L'effet turbidité : remise en suspension et dispersion des particules sédimentaire. Les opérations de battage de pieux, forage et installation de câbles sont les opérations susceptibles d'entraîner ce type d'effet (Van Hoey *et al*, 2021 ; Wilhelmsson *et al*, 2010). Dans le cas du parc de Fécamp, une augmentation limitée est attendue du fait du faible taux de sédiments fins et vaseux du site d'étude, les concentrations du panache turbide en phase ne dépasseront pas celles de la turbidité naturelle (1 à 20 NTU).

Considérant ces éléments, l'étude d'impact conclut que la variation des niveaux acoustiques et de la turbidité pendant la phase de travaux constitue un effet direct et temporaire. Leur impact est alors évalué a priori comme faible sur l'ichtyofaune et les ressources halieutiques.

Les niveaux acoustiques font l'objet de mesures durant toute la phase de travaux. L'opération de battage des pieux de la sous-station électrique étant pressentie comme la plus impactante, elle fait l'objet d'une mesure de suivi dédiée (MSU14-R2). Les résultats synthétisés de ces études, conduites par le bureau d'étude Sinay, sont exploités en 6.1.

Concernant l'effet récif, attendu comme effet durant la phase d'exploitation, les retours d'expériences des parcs éoliens offshore en Europe du Nord ont montré que les fondations des éoliennes et les matériaux anti-affouillement associés peuvent significativement accroître l'abondance de poissons démersaux et de crabes (Maar *et al*, 2009 in Wilhelmsson *et al*, 2010). Par ailleurs, les enrochements peuvent fournir des cavités qui serviront d'abris pour la faune. L'effet récif est un phénomène se mettant en place sur le long terme, en revanche, la mise en place des enrochements, fourni dès leurs immersions des habitats et abris potentiellement disponibles pour les espèces affectionnant ce type de substrat. Il n'est alors pas impossible d'observer des changements au sein de la communauté piscicole et halieutique en phase de construction, suivant la mise en place des enrochements, en lien avec la modification directe et pérenne du substrat.

4. MATERIELS ET METHODES

4.1 PRINCIPES GENERAUX

Cette étude est basée sur le protocole préconisé par l'Ifremer pour le suivi halieutique des granulats marins (Ifremer, 2011). Celui-ci préconise de suivre plus spécifiquement le compartiment benthodémersal, a priori le plus impacté, les espèces pélagiques étant dotées d'une capacité de fuite et d'évitement plus importante.

Le principe d'échantillonnage est basé sur l'approche BACI (*Before and After Control Impact*), protocole construit pour mettre en évidence l'effet d'une perturbation/modification sur les communautés étudiées. Elle donne un cadre permettant de définir les positions, la période et fréquence de l'échantillonnage, éléments fondamentaux pour fournir une analyse statistique solide. La méthode impose alors des échantillonnages i) avant et après la mise en place du projet ; ii) sur des stations à l'intérieur (zone impactée) et à l'extérieur de la zone d'implantation (zone témoin). Par ailleurs, plus la fréquence d'échantillonnage est importante sur les différentes périodes (avant/pendant/après perturbations) plus l'approche sera solide.

4.2 PROTOCOLE DE SUIVI

4.2.1 Engin de pêche

En 2013-14, deux types d'engins étaient utilisés : les filets trémails et le chalut canadien. En 2019, après une campagne réalisée aux filets trémails, il a été décidé de ne plus utiliser cet engin de prélèvement pour le suivi. Une note a été réalisée afin de comparer les résultats des captures des trémails et chaluts sur les campagnes 2013-14 et celle d'hiver 2019. Les conclusions de cette note sont que les filets apportent peu d'informations complémentaires au chalut notamment dans la diversité spécifique des captures. L'arrêt de ces campagnes a donc été acté par décision du comité scientifique et du comité de suivi.

Les prélèvements sont réalisés avec un chalut de fond canadien (Figure 3). Une chaussette est installée dans la partie terminale du chalut (maille de 20 mm étirée).

L'engin et le navire utilisés en 2019-21 ne sont plus les mêmes que ceux de l'état initial. Le navire et le chalut canadien sont plus petits pour l'état de référence (chalut environ deux fois plus petit, 18 m de corde de dos contre 34,7 m en 2013-14). En 2013, seul le chalutier SPES était disponible pour ce suivi après différents groupes de travail menés avec le comité des pêches. Un biais identifié à l'époque était lié à la conduite en parallèle de l'état initial du parc éolien en mer du Calvados avec un chalut plus petit (20°m de corde de dos). Le choix par EOHF d'un bateau volontaire et d'un chalut plus petit permet de rattraper ce biais puisque le chalut utilisé sur le parc de Courseulles depuis l'état de référence (2019-2021) est de même taille (18°m de corde de dos). Cette taille de chalut présente aussi l'avantage d'être plus commune que les deux autres.

Pour le suivi de la phase travaux, le navire utilisé pendant l'état de référence n'étant plus volontaire, un nouveau navire a été mobilisé. Ce dernier plus petit que le précédent, permet néanmoins la mise en œuvre du même chalut (18 m de corde de dos) que lors de l'état de référence, limitant le biais d'échantillonnage imputé au couple navire/chalut.

Le tableau 2 ci-après résume les principales caractéristiques des navires et engins utilisés au cours du suivi.

Tableau 3 : résumé des caractéristiques des navires et engins employés pour le suivi.

Campagne	Navire	Taille	Chalut	Corde de dos
Etat initial Août 2013 Mars 2014 Juin 2014 Octobre 2014	SPES	25 m	Canadien	34,7 m
Etat de référence Février 2019 Mai 2019 Novembre 2019 Mai 2020 Novembre 2020 Mars 2021	AILLY	17 m	Canadien	18 m
Phase travaux Avril 2023 Juin 2023 Septembre 2023 Mars 2024	MA DESIRADE	12 m	Canadien	18 m

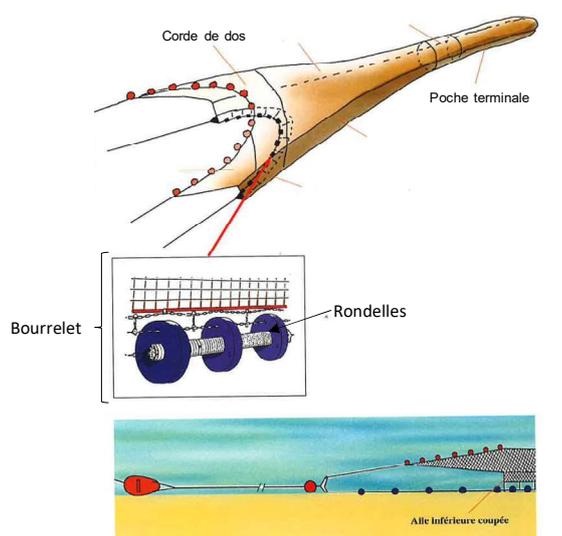


Figure 3 : Schéma du chalut canadien ou cascadeur (source Ifremer).

4.2.2 Plan d'échantillonnage

La zone est très homogène en termes d'habitats et de nature des fonds avec seulement deux types d'habitat référencés, tous deux définis par une sédimentologie de type grossière. Au total, 18 stations d'échantillonnage sont réparties sur la zone du parc éolien (8) et à l'extérieur (10) (Figure 4).

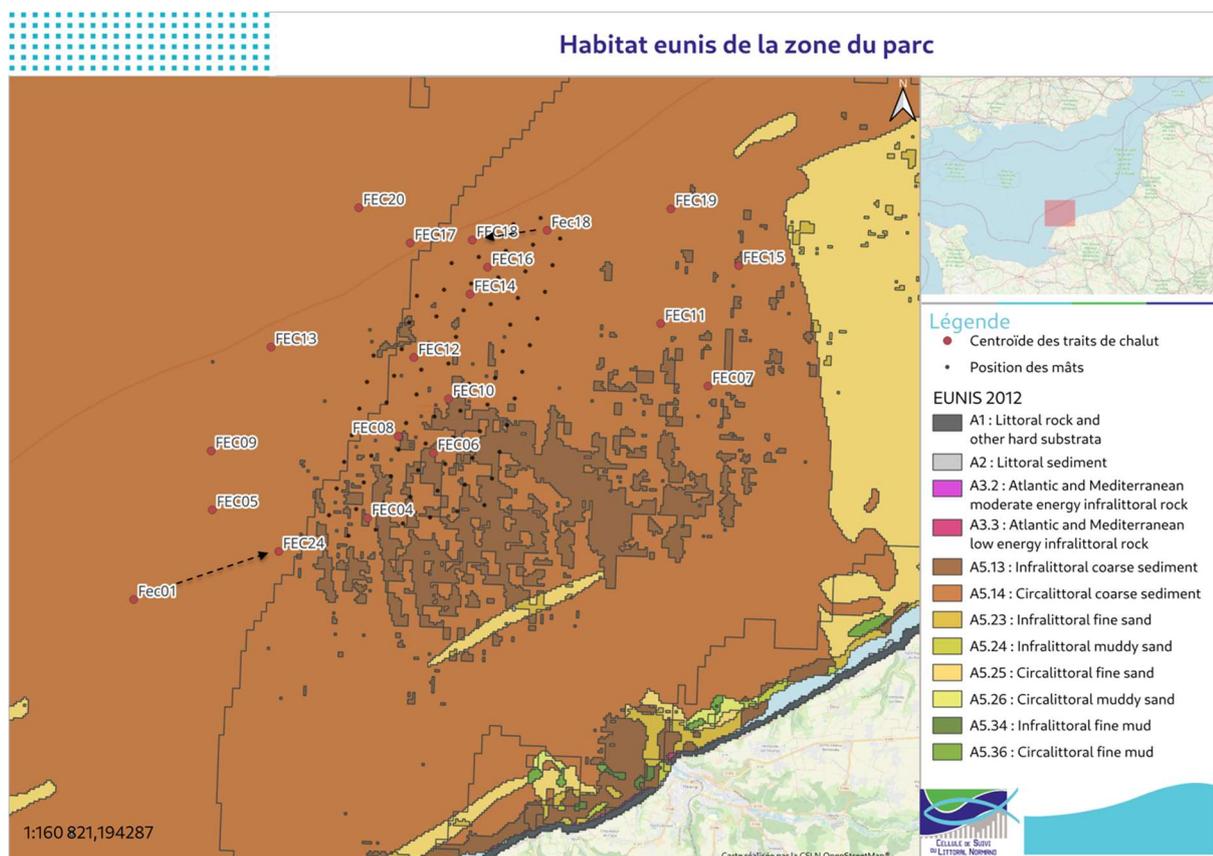


Figure 4 : Cartographie des habitats Eunis et position des traits sur la zone d'étude du parc éolien en mer de Fécamp pour les campagnes de 2019 à 2024.

La zone à proximité directe de FEC01 est exploitée par les marins pêcheurs et présente parfois une forte densité de filières de casiers à bulots ne permettant pas une réalisation systématique du trait. Pour éviter ce problème récurrent, la station FEC01 a été remplacée par FEC24 à partir de juin 2023. La station est placée à l'est de FEC01 et à l'ouest du parc. Le choix de la position est discuté avec le marin pêcheur qui a connaissance des zones chalutables, elle est donc placée de manière à i) cibler une zone dont la nature du fond est similaire à FEC01 ; ii) éviter les zones de croches connues. Aussi elle est placée à une distance suffisante des éoliennes (2435 m de B02 et 2776 m de A02 au sud-ouest) pour conserver un statut de station de référence non impactée.

La station FEC18 à l'extrême nord du parc éolien a été légèrement décalée vers l'ouest à partir d'avril 2023 pour éviter tout incident lié à la présence des câbles sous-marins. Elle reste néanmoins dans la zone du parc.

4.2.3 Saisonnalité

Afin de prendre en compte la variabilité saisonnière et notamment les deux principaux assemblages présents en Manche (Ifremer, 2011), les périodes de campagnes sont définies sur les deux principales périodes (hiver et fin d'été) avec une campagne intermédiaire en fin de printemps (Tableau 4). Le même schéma est conservé au cours de la phase de travaux.

Tableau 4 : Calendrier prévisionnel des campagnes de prélèvements (bleu : hiver ; vert : printemps ; rouge : fin été/automne).

Mois	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Etats de référence		■			■				■			
Phase travaux		■			■				■			

4.2.4 Prélèvements

Les campagnes sont réalisées sur des coefficients de marée inférieurs à 90 pour éviter les courants trop forts engendrés par les grandes marées et maintenir une vitesse constante autour de 2,5 nœuds. Dès que les panneaux touchent le fond, l'enregistrement de la traîne est lancé à l'aide d'un logiciel de navigation relié à un GPS. Une fois les 20 minutes de pêche écoulées, le chalut est « viré » et la trace est arrêtée.

4.2.5 Traitements des captures

Le traitement des captures est basé sur les protocoles standardisés mis en œuvre dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE ; Cemagref, 2008) et Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM ; Ifremer, 2018). Sont considérées toutes les captures, à savoir les poissons, les céphalopodes et les invertébrés benthiques d'intérêt commercial ou non. Tous les plus gros individus (en général > 10 cm) sont déterminés jusqu'à l'espèce à bord ou sont ramenés au laboratoire si un doute existe. Les tailles plus petites (< 10 cm) sont quant à elles déterminées au laboratoire. Tous les poissons sont dénombrés et mesurés à la longueur totale (en mm) sur un échantillon représentatif de 30 individus par espèce. Le poids total de chaque espèce est relevé (en g).

4.3 ANALYSE DES RESULTATS

Les données acquises sont compilées dans une base de données PostgreSQL permettant d'associer les abondances numériques et pondérales par espèce et par station, ainsi que les informations individuelles (biométries). Elles sont géoréférencées par station d'échantillonnage, ceci permettant un suivi temporel par station.

4.3.1 Indicateurs biologiques

Le traitement des données issues des captures est réalisé à travers les trois grandes catégories d'indicateurs biologiques : indicateurs de diversité, d'abondance et de structure (Ifremer, 2011).

- Indicateurs de diversité : nombre de taxons recensés (richesse brute).
- Indicateurs d'abondances : les données brutes seront converties en Captures Par Unité d'Effort (CPUE) numériques et pondérales rapportées à une surface (e.g. nombre d'individus par km² ou kg par km²). Elles sont calculées de la façon suivante :

$$CPUE \text{ numérique} = \left(\frac{\text{Nombre d'individus}}{\text{longueur du trait} * \text{ouverture du chalut}} \right) * 1000000$$

$$CPUE \text{ pondérale} = \left(\frac{\text{Biomasse}}{\text{longueur du trait} * \text{ouverture du chalut}} \right) * 1000000$$

Avec longueur du trait en mètre ; ouverture du chalut = 7,42 mètres ; biomasse en kilogramme

Ces CPUE seront exprimées sur le total capturé, sur un groupe d'espèces (par ex. benthiques) ou de manière monospécifique.

- Indicateurs de structure : fréquence d'occurrence (fréquence de capture en pourcentage d'une espèce ou groupe d'espèces sur un groupe de trait réalisé), abondance relative (contribution en pourcentage de chaque espèce par rapport à un nombre ou poids total toutes espèces confondues), fréquence en classe de taille (répartition des tailles capturées en effectifs ou fréquence).

4.3.2 Groupes faunistiques

La CSLN propose une présentation du peuplement subdivisée en quatre groupes (Figure 5) :

1. Les espèces pélagiques sont les poissons dont les stades post-larvaires évoluent tout au long de leur cycle de vie dans la colonne d'eau. Ce sont des espèces fortement migratrices pouvant former des bancs importants qui se déplacent rapidement le long des côtes. Ces espèces ne sont pas la cible prioritaire de ce suivi, leur indépendance vis-à-vis du fond et leur capacité de fuite les rendant moins vulnérables aux changements morfo-sédimentaires.
2. Les espèces benthodémersales sont les poissons et céphalopodes dont les stades post-larvaires interagissent avec le fond pour des raisons trophiques et/ou d'habitats. Trois sous-catégories peuvent être mentionnées i) les benthiques qui évoluent strictement sur le fond (e.g. poissons plats), les démersaux qui évoluent près du fond souvent pour des raisons trophiques (e.g. gadidés) ou les benthopélagiques qui peuvent alterner les phases benthiques et pélagiques (e.g. les lançons s'enterrent dans le sable la nuit et évoluent en bancs pélagiques la journée).

3. Les invertébrés benthiques commerciaux : regroupent ici les bivalves, les crustacés et les gastéropodes associés aux captures compris appartenant à la ressource halieutique de la zone (e.g. coquille Saint-Jacques, bulot...).
4. Les invertébrés benthiques associés : regroupent la macrofaune benthique associée aux captures (e.g. étoile de mer, oursin...).

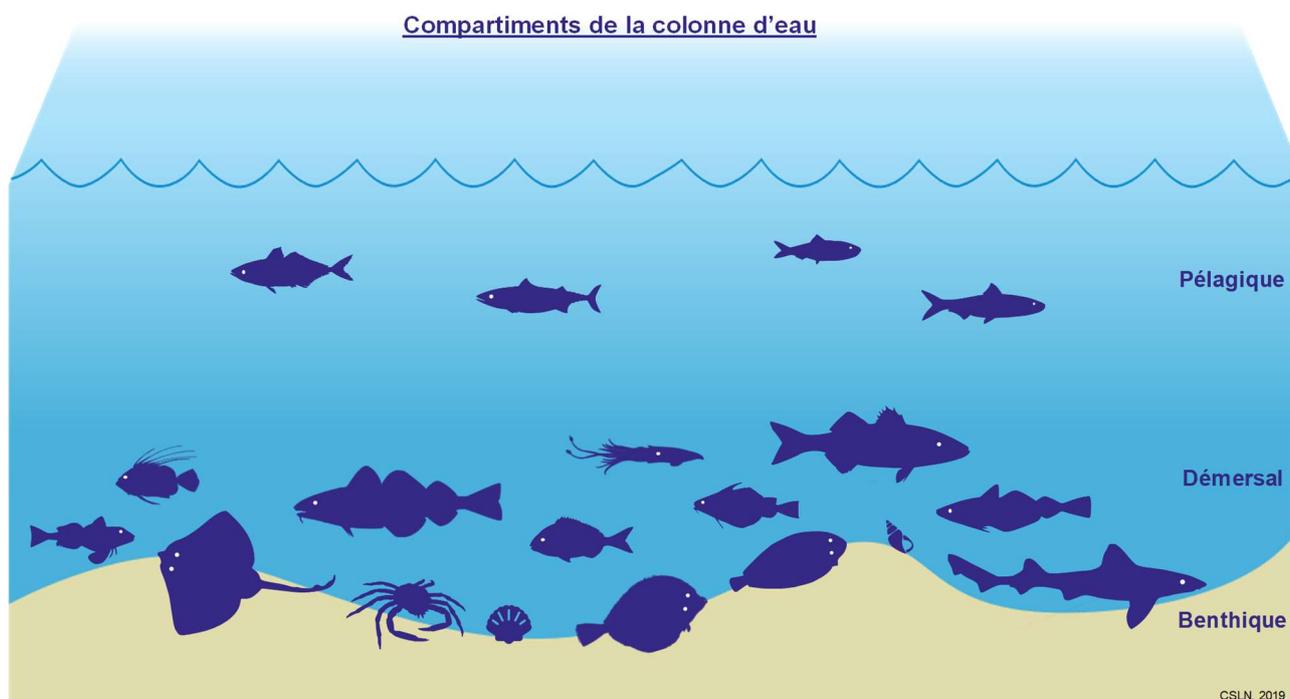


Figure 5 : Représentation schématique de la subdivision des peuplements dans la colonne d'eau (CSLN).

4.3.3 Outils cartographiques

Différentes valeurs (moyennes, sommes, écarts-types etc...) des indicateurs (richesses, CPUE, etc...) sont cartographiées avec le logiciel Qgis® (3.34).

4.3.4 Outils statistiques

La représentation des résultats et l'analyse des séries chronologiques est réalisée par le biais de différents outils. Les tests statistiques sont réalisés avec le logiciel XLstat®. Ce sont des tests et des analyses classiquement appliqués dans ce type d'études (Ifremer, 2011 ; Legendre et Legendre, 1998).

Pour la recherche d'effets en phases travaux, les stations peuvent être considérées selon le « traitement » qu'elles subissent, ici sans impact ou avec impact, elles sont alors réparties de la manière suivante :

- Les données « sans impact » incluent l'ensemble des stations échantillonnées pour les années d'état de référence (2019-2021) ainsi que les stations à l'extérieur du parc éolien sur la période de travaux
- Les données « impact » regroupent les stations de l'intérieur du parc sur la période de travaux

4.3.4.1 Représentation des indicateurs biologiques

Les indicateurs biologiques sont représentés sous différentes formes. Des tableaux résumés sont utilisés pour les listes d'espèces, fréquences d'occurrence et d'abondance. Ils sont associés à des représentations plus visuelles de type box-plots à l'échelle d'une campagne ou en fonction du traitement (sans impact/impact). Ce type de représentation intègre plusieurs descripteurs i) la moyenne, ii) la médiane qui représente la valeur centrale (50% des données inférieures et 50% des données supérieures), iii) le 3ème quartile dont 75% des données lui sont inférieures, iv) la limite supérieure équivalente à 1,5 x la valeur interquartile, entre le 1^{er} et le 3^{ème}. Des tests réalisés sur les mêmes données permettent une comparaison des différents échantillons.

4.3.4.2 Tests statistiques

Des tests statistiques permettent de mesurer les différences entre des échantillons. Le test de Mann-Whitney (MW) permet la comparaison de deux échantillons indépendants, celui de Kruskal-Wallis (KW, ANOVA non-paramétrique) de plusieurs échantillons indépendants et celui de Friedman (F) de plusieurs échantillons appariés. La p-value (e.g. $p < 0,05$, $p < 0,1$) permet d'évaluer la significativité (%) des différences. Moins la p-value est élevée, plus la différence peut être jugée comme significative. Une comparaison multiple par paire selon la méthode de Conover-Iman (indépendant) ou Nemenyi (apparié) est appliquée suite aux tests de Kruskal-Wallis / Friedman. Ici, les tests sont utilisés comme suit :

- KW ($\alpha = 0,05$) est essentiellement utilisé pour comparer les données par campagnes ; les différences significatives sont représentées par les variantes de couleurs dans les box-plots
- MW ($\alpha = 0,05$) est utilisé pour comparer les traitements ; les résultats significatifs sont symbolisés par les étoiles au-dessus des box-plots avec un codage par niveau de significativité : $p \leq 0.001$ '***' ; $p \leq 0.01$ '**' ; $p \leq 0.05$ '*'

4.3.4.3 Analyses multivariées

1.1.1. Paramètres environnementaux

Les box-plots et le test de Kruskal-Wallis/Friedman sont également utilisés pour représenter et comparer les données environnementales. Ils sont complétés par une Analyse en Composantes Principales (ACP). Ce type d'analyse est considérée comme une méthode de projection qui permet de projeter les observations depuis l'espace à p dimensions des p variables vers un espace à k dimensions ($k < p$) tel qu'un maximum d'informations soit conservées (l'information est ici mesurée au travers de la variance totale du nuage de points) sur les premières dimensions. Si l'information associée aux 2 ou 3 premiers axes représente un pourcentage suffisant de la variabilité totale du nuage de points, on pourra représenter les observations sur un graphique à 2 ou 3 dimensions, facilitant ainsi grandement l'interprétation.

1.1.2. Captures

La répartition spatio-temporelle du peuplement est également étudiée, à l'aide d'analyses multivariées.

Les CAH (Classifications Ascendantes Hiérarchiques) servent à former des groupes au sein des échantillons tels que des groupes de stations ayant des similarités dans leur composition spécifique et le nombre de captures. Cette technique produit des schémas d'arborescence (aussi appelés dendrogrammes) qui relient les données selon leur niveau de ressemblance. L'indice de Bray-Curtis est utilisé pour mesurer la similarité entre les stations. Cet indice n'est pas affecté par les doubles-absences mais peut donner plus de poids aux espèces capturées dans de fortes abondances. Les calculs sont donc réalisés sur la matrice espèces x stations/dates des CPUE transformées en $\log(x+1)$. Les stations sont regroupées ensuite selon la technique du lien moyen.

La MDS non métrique (Multidimensional Scaling) est réalisée à partir d'une matrice de proximité de Bray-Curtis produite avec la CAH. C'est une représentation en 2D où 2 échantillons similaires, en termes d'assemblages d'espèces, seront proches alors que 2 échantillons peu similaires seront distants. Pour savoir si la représentation est de bonne qualité ou non, une valeur de stress de Kruskal est donnée : $<0,1$: la représentation est excellente ; $0,1-0,25$: l'ordination est satisfaisante ; $0,25-0,50$: la représentation en deux dimensions est médiocre ; $>0,5$: la représentation est probablement aléatoire (Grall et Coïc, 2005).

La méthode IndVal (Dufrêne et Legendre, 1997) est utilisée pour indiquer les espèces caractérisant les différents assemblages de stations établis par la CAH en utilisant la méthode des valeurs indicatrices (logiciel IndVal, Dufrêne et Legendre, 1997). La valeur indicatrice de chaque espèce est calculée au sein de chaque assemblage grâce à la formule : $\text{IndVal} = A_{ij} \times B_{ij}$

- A_{ij} = Densité moyenne de l'espèce i sur les stations de l'assemblage j / Somme des densités moyennes de l'espèce i sur tous les assemblages.
- B_{ij} = Nombre de stations de l'assemblage j où l'espèce i est présente / Nombre total de stations de l'assemblage j .

Ainsi, une espèce i est indicatrice d'un assemblage j quand sa valeur indicatrice est la plus élevée de celles des espèces de l'assemblage ($\text{IndVal}_{\text{espèce } j} = \max[\text{IndVal}_{i,j}]$). La significativité de cet indice est testée par combinaisons aléatoires des sites au sein des groupes ($p < 0,05$; $n = 999$). Plus la valeur indicatrice d'une espèce se rapproche de 1, plus elle est « caractéristique » du groupe de stations.

La PERMANOVA (Permutational multivariate analysis of variance) est une analyse multivariée non-paramétrique qui sert à tester l'hypothèse d'une différence de composition et/ou d'abondance relative sur des échantillons qui subissent des différences de traitement. Elles sont ici réalisées à l'aide de l'outil GranulatsShiny développé par l'IFREMER dans le cadre du suivi d'exploitation des concessions de granulats marins (protocole BACI). Dans le cas du parc éolien de Fécamp, cette méthode est appliquée à différentes échelles : i) sur les indicateurs généraux pour l'ensemble des captures ou par groupes faunistiques ; ii) à l'échelle monospécifique.

Les résultats sont présentés sous forme de tableau. L'analyse permet à la fois d'établir le niveau de significativité de :

- L'effet saison : variations saisonnières et/ou interannuelles naturelles pour les indicateurs testés
- L'effet du traitement : variation liée aux travaux/exploitation à l'intérieur de la zone du parc
- La combinaison des deux effets

5. LIMITES DE L'ETUDE

Les limites de l'étude sont liées à l'observabilité de la faune présente dans la zone étudiée. Cette observabilité présente un coefficient de variation « naturelle » important qui est fonction de plusieurs facteurs. Cette observabilité est à prendre en compte dans l'étude des abondances relatives de chaque espèce. Les grandes conditions qui définissent cette observabilité sont :

- Le type d'engin utilisé dans cette étude (chalut de fond) cible plus efficacement l'ichtyofaune benthodémersale, la plus susceptible d'être impactée par des modifications morpho-sédimentaires.
- Le maillage impose ensuite une sélection des espèces et des tailles de la faune échantillonnée.
- Le comportement (mouvement directionnel à un instant t) des espèces échantillonnées et leur capturabilité (évitement ou attraction par exemple) peuvent induire des biais dans l'estimation des abondances. De même, la distribution dans la colonne d'eau et les changements possibles au fil de la journée (comportement nyctéméral, c'est-à-dire jour/nuit) ou sur différentes saisons sont des éléments à prendre en compte dans l'analyse.
- Les conditions environnementales sont aussi un facteur important dans la variance de l'observabilité. Les conditions hydrologiques (température, salinité, etc...), les conditions de marée (coefficient, moment de la marée) et les conditions météorologiques (force et direction du vent et de la houle) pourraient par exemple influencer la capturabilité des engins et/ou la distribution spatiale des poissons.
- L'image d'un peuplement, son abondance et sa richesse observée sur une zone à un instant t sont donc toujours à relativiser avec tous ces facteurs participant à une variance naturelle, spatiale et temporelle de l'observabilité. Le but de l'échantillonnage est de minimiser au maximum les biais potentiels en choisissant les meilleurs compromis possibles.

Par ailleurs, le parc ayant été fermé à la pêche durant toute la durée des travaux, la pression de pêche a donc été différente entre l'état de référence et de construction ce qui peut également générer un biais d'interprétation.

Il est important de relativiser les effets observés au regard de la durée réelles des travaux. Dans les faits, les travaux susceptibles d'avoir des effets directs sur les ressources halieutiques (battage, forage) sont de courte durée puisque le battage des pieux de la sous-station électrique a duré 7h. Aussi, il n'existe à l'heure actuelle pas de méthode pour détecter des modifications de comportement à très court terme.

La totalité de la phase de travaux ayant durée deux ans avec seulement quatre échantillonnages sur un an, les résultats quant aux changements observés au sein de la communauté sont à relativiser et ne peuvent être reliés uniquement et/ou directement à l'activité des travaux.

6. RESULTATS

6.1 CALENDRIER DES TRAVAUX ET MESURES ACOUSTIQUES

La phase de construction du parc éolien a débuté en mars 2022 par le forage et le battage des pieux de la sous-station électrique (Tableau 5). Elle s’est clôturée au printemps 2024 suite à l’installation des éoliennes sur leur bases gravitaires. Au total, les travaux s’étalent sur une période d’un peu plus de deux ans, avec des phases de travaux réels allant d’une journée (battage des pieux) à plusieurs semaines. Les temps effectifs de dérangement liés aux travaux effectués sont considérés comme relativement courts.

Tableau 5 : Dates de réalisation par type de travaux et résultats des mesures acoustiques associées (Sinay, 2024). Mise en perspective avec les seuils d’impacts potentiels sur l’ichtyofaune (Popper *et al*, 2009 et 2019 ; Slabbekoorn *et al*, 2010 ; Mooney *et al*, 2020). SEL : niveau d’exposition sonore prenant en compte à la fois l’intensité et la durée du bruit rayonné ; SPL-RMS : niveau de pression acoustique moyen, par jour et sur la période d’acquisition, adapté pour décrire le bruit continu. ER : Etat de Référence ; PT : Phase Travaux.

Type de travaux	Dates	Mesures acoustiques SEL max. à 850m en dB		Seuils impact ichtyofaune Impact physiologique / Fuite/migration verticale		Effet sur l’ichtyofaune
(1) Battage des pieux de la sous-station électrique	10/03/2022	159,22		160-180	147	Comportement d’échappement local et ponctuel
Type de travaux	Dates	SPL-RMS en dB re1µPa (Ecart ER/PT) Parc / Zone témoin		Impact physiologique	Fuite/migration verticale	Effet sur l’ichtyofaune
(1) Forage des pieux de la sous station électrique	Du 8/03 au 15/04/2022	102,42 (-4,58)	106,15 (-0,85)	160-180	147	-
(2) Préparation des sols pour la pose des fondations gravitaires	Du 4/06 au 20/07/2022	100,51 (-6,49)	105,63 (-1,64)			-
(3) Mise en place de la fondation et du topside de la sous station	Du 31/07 au 7/08/2022					-
(4) Installation des fondations gravitaires	31/07 et 18/09/2022	111,98 (+4,98)	107,50 (+0,50)			-
(5) Ballastage des fondations	Du 26/08 au 16/10/2022					-
(6) Installation des enrochements de protection des fondations	Du 13/09 au 12/12/2022					-
(7) Installation des câbles inter-éoliennes	Du 4/10 au 10/06/2023	111,98 (+4,98)	98,21 (-8,79)			-
(8) Installation des éoliennes	Du 12/06/2023 au 26/03/2024	113 (+6)	109 (+2)			-

Comme pressenti dans l’EIE, les mesures acoustiques réalisées par le bureau d’étude Sinay au sein de l’air du parc éolien et à l’extérieur (zone témoin) révèlent que les seuils acoustiques entrainant un impact physiologique sur les populations de poissons ne sont jamais atteints sur l’ensemble de la phase de travaux.

Le seuil déclenchant une réaction de fuite ou de migration verticale est quant à lui dépassé au moment du battage des pieux de la sous-station électrique. Ce dépassement aura alors potentiellement entrainé un échappement autour de la zone en travaux. Cet effet reste localisé et ponctuel puisque cette étape de construction n’a duré qu’une seule journée.

6.2 CALENDRIER DES CAMPAGNES

Entre 2019 et 2024, 10 campagnes d'échantillonnage au chalut canadien ont été réalisées sur la zone d'étude (Tableau 6). Six campagnes réparties entre février 2019 et mars 2021 ont permis d'établir deux années d'état de référence avant travaux. Les quatre autres prélèvements sont effectués au cours de la phase de travaux, après les phases 1 à 7 et pendant l'installation des éoliennes.

Les campagnes ayant eu lieu après la majorité des travaux, elles ne permettent pas de mesurer leur impact direct et ponctuel au moment de leur mise en œuvre. En revanche, l'échantillonnage permet d'évaluer la composition et l'évolution du peuplement piscicole et halieutique suivant les phases ayant entraîné des changements durables du milieu (fondations et enrochements) et pendant l'installation des éoliennes. Les enrochements notamment peuvent fournir, dès leur mise en place, un habitat propice à l'installation d'espèces piscicoles et/ou de macro-invertébrés benthiques dépendantes de ce type d'abris. A contrario, la modification du substrat peut potentiellement faire fuir localement d'autres espèces.

Tableau 6 : Répartition des campagnes réalisées entre 2019 et 2024 au chalut canadien sur la zone d'étude du parc éolien en mer de Fécamp. Les numéros entre parenthèse correspondent aux différents types de travaux réalisés (se référer au Tableau 5).

	Mois d'échantillonnage ciblés											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
2019 Etat référence 1		18			16							18
2020 Etat référence 2					18							18
2021 Etat référence 2			18									
2022			(1)			(2)		(3) (4) (5) (6) (7)				
2023 Phase travaux		(7)		17		18	(8)		18		(8)	
2024 Phase travaux		(8)	18									

XX = nombre de traits réalisés

Campagnes

- XX Fin d'hiver
- XX Printemps
- XX Fin d'été / Automne

(X) Phases de travaux

Il existe un décalage temporel parfois important entre les années pour les campagnes d'hiver et de fin d'été/automne. Ces périodes sont soumises à une double contrainte i) météorologiques (régimes tempêteux plus fréquents) ii) disponibilité des navires de pêche (moins pendant la saison de pêche à la coquille Saint-Jacques début automne à fin d'hiver). Ce décalage peut induire des différences dans les assemblages observés.

Au total 177 traits de chalut ont été validés. La forte présence de casiers à bulots sur la zone d'étude a conduit à l'abandon de certains traits en mai 2019 et avril 2023. Afin de palier à ce problème récurrent, FEC01 a été remplacé par FEC24 à partir de mai 2023.

6.3 CONDITIONS DE REALISATION DES CAMPAGNES

Le tableau ci-après (Tableau 7) résume les caractéristiques des campagnes réalisées sur la zone d'étude. En termes de conditions hydrologiques, les principales fluctuations se situent sur la température du fond de la colonne d'eau. L'écart le plus important est relevés entre les campagnes de fin d'été/automne, avec un différentiel de 5,6 degrés entre la campagne de septembre 2023 et celles de novembre 2019/2020. Ces écarts peuvent induire des différences dans les assemblages observés à un instant t (Figure 6).

Tableau 7 : Résumé des conditions de réalisation des campagnes en mer au chalut canadien de février 2019 à mars 2024.

	Date	Date	Coefficient marée	Etat de la mer (hauteur de houle en m)	Température (T°C)	Salinité	Oxygène (mg/L)	Turbidité (NTU)	Remarques
Etat de référence Année 1	Février 2019	15 et 16/02/2019	47/59	Mer belle (< 0,5)	8,0 ± 0,1	34,2 ± 0,5	10,1 ± 0,3	< 1	18 traits validés.
	Mai 2019	21 et 22/05/2019	87/79	Mer belle (< 0,5)	12,3 ± 0,2	35,2 ± 0,1	8,8 ± 0,5	< 1	16 traits validés. La présence de nombreux casiers à bulots n'a pas permis le chalutage des traits FEC16 et 18. Les traits FEC01, 08 et 12 ont été déplacés pour éviter les casiers (de 100 à 1000m).
	Novembre 2019	16 et 17/11/2019	70/79	Mer belle à peu agitée (0,3-0,8)	13,4 ± 0,2	34,5 ± 0,1	8,4 ± 0,3	< 1	18 traits validés. La campagne initialement prévue en septembre/octobre a été décalée pour raisons météorologiques et disponibilité du navire (ouverture de la saison à coquille St-Jacques).
Etat de référence Année 2	Mai 2020	18 et 19/05/2020	55/63	Mer belle (< 0,5)	12,0 ± 0,0	34,3 ± 0,3	8,8 ± 0,3	< 1	18 traits validés. La campagne d'hiver 2020 a été sautée en raison de la crise sanitaire du covid et reportée à l'hiver 2021.
	Novembre 2020	23 et 24/11/2020	41/42	Mer peu agitée (0,5-1,1)	13,6 ± 0,2	35,4 ± 0,2	8,1 ± 0,1	< 1	Comme en 2019, la campagne initialement prévue en septembre/octobre a été décalée pour cause de mauvaises conditions météorologiques et faible disponibilité du navire (ouverture de la saison à coquille St-Jacques).
	Mars 2021	30 et 31/03/2021	112	Mer belle (< 0,5)	8,8 ± 0,1	34,2 ± 0,3	9,7 ± 0,2	1,2 ± 0,4	18 traits validés. La campagne a été réalisée sur des coefficients supérieur à 90, normalement évités, pour rester sur les dates prévues, la campagne étant très contrainte par la disponibilité du professionnel (période de coquilles Saint-Jacques).
Phase travaux	Avril 2023	17 et 18/04/2023	72/87	Mer peu agitée à agitée (0,5-1,5)	10,0 ± 0,1	34,4 ± 0,2	11,9 ± 0,5	2,5 ± 2,6	17 traits validés. Le trait FEC01 n'a pas pu être réalisé car situé en plein dans une zone de casiers à bulots. La campagne initialement prévue en mars a été décalée pour des raisons météorologiques.
	Juin 2023	12 et 13/06/2023	57/58	Mer belle (<0,5)	14,2 ± 0,2	34,9 ± 0,1	10,1 ± 0,2	4,9 ± 5,6	18 traits validés. Comme lors de la campagne précédente, le trait FEC01 n'a pas pu être réalisé car situé en plein dans une zone de casiers à bulots. Ce trait a été remplacé par une nouvelle station nommée FEC24 situé à l'Est de FEC01 dans une zone chalutable (hors zones de croches connues par le patron pêcheur) et située hors des zones connues de pêche aux casiers à bulot.
	Septembre 2023	7 et 8/09/2023	44/32	Mer belle (<0,5)	19,1 ± 0,1	34,6 ± 0,1	8,6 ± 0,5	3,8 ± 4,2	18 traits validés. FEC24 réalisé à la place de FEC01.
	Mars 2024	25 et 26/03/2024	85/88	Mer peu agitée (0,5-0,9)	9,8 ± 0,7	34,4 ± 0,3	11,2 ± 0,3	6,3 ± 10,5	18 traits validés. FEC24 réalisé à la place de FEC01.

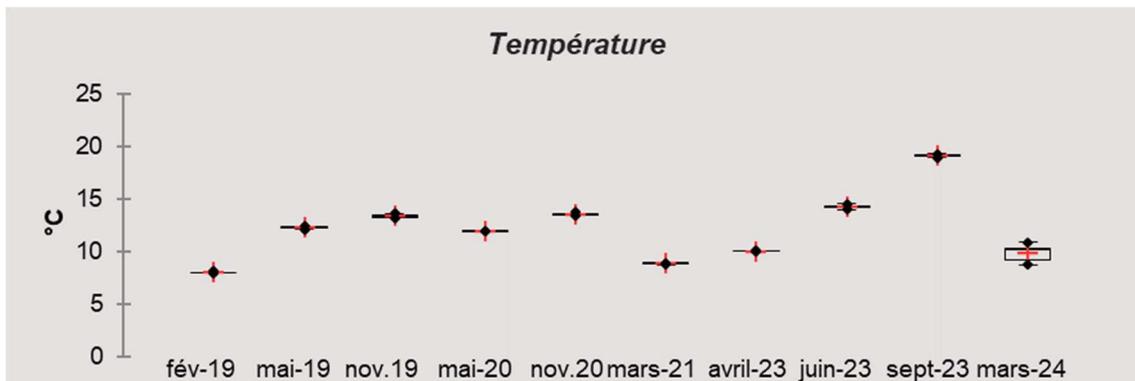


Figure 6 : Box plot des températures relevées en fond de colonne d'eau par campagne. Les box sont colorées en fonction du résultat du test de comparaison de Kruskal-Wallis : le bleu foncé et le bleu très clair représentent les maxima et minima ($p < 0,05$).

L'axe principal F1 (Figure 7) est principalement expliqué par la température. Il permet de faire ressortir les différences entre saison chaude et saison froide. Les campagnes hivernales (février 2019, mars 2021, avril 2023, mars 2024) sont regroupées, indiquant une faible variabilité interannuelle des paramètres sur cette saison. Au centre on retrouve les campagnes printanières (mai 2019, mai 2020, juin 2023) et automnales (novembre 2019 et novembre 2020). La campagne de septembre 2023 se distingue clairement des autres, avec des températures caractéristiques de la saison estivale.

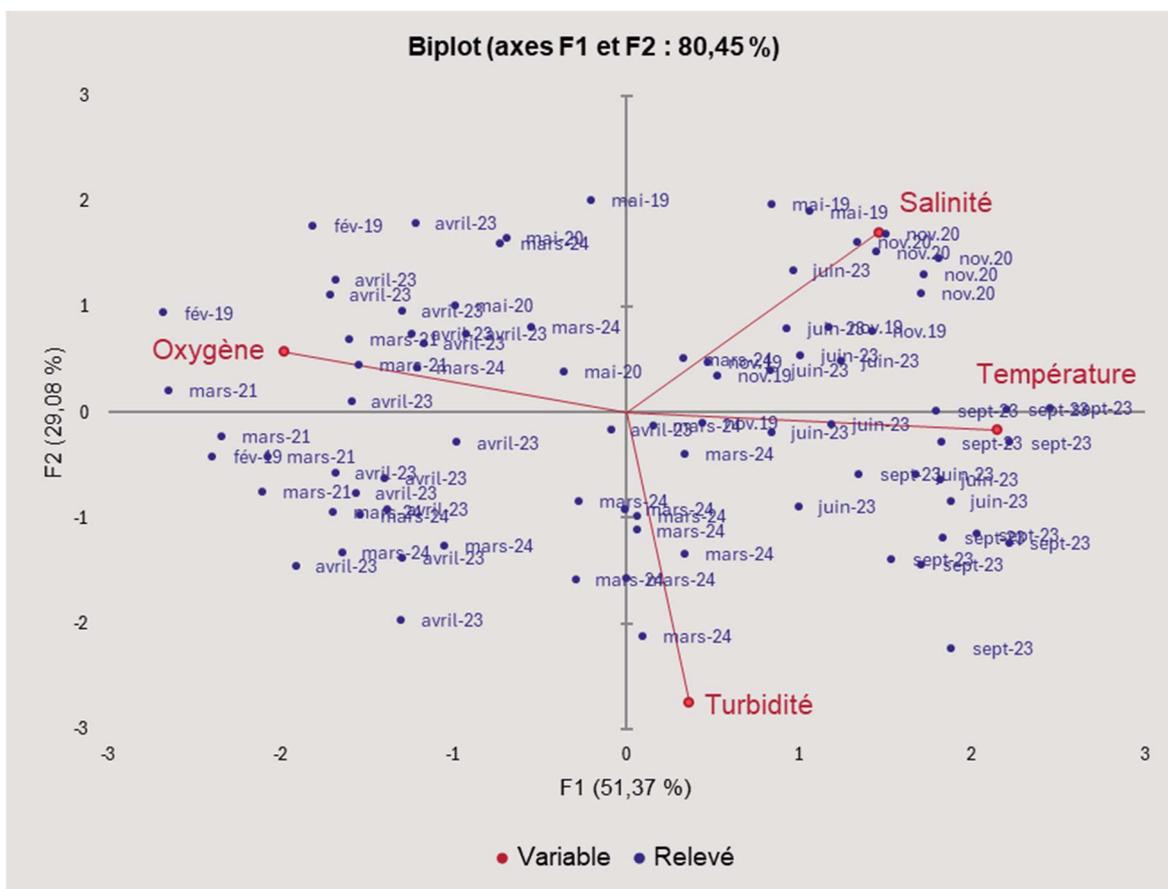


Figure 7 : Biplot issu de Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les paramètres environnementaux : températures (°C), salinité (PSU), turbidité (NTU) et oxygène dissous (mg/L). Les points bleus correspondent aux différents relevés réalisés au cours des 10 campagnes d'échantillonnage entre 2019 et 2024.

PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX - A RETENIR

- La température est le paramètre qui présente la plus importante amplitude de variation entre les campagnes. Les variations de ce paramètre sont de l'ordre du saisonnier. Les variations interannuelles sont assez faibles pour les campagnes d'hiver et pendant les saisons de transition (printemps/automne).
- La campagne de septembre 2023 se distingue par des températures élevées, plus proche de conditions estivales. L'écart de température avec les campagnes de novembre est de 5,6°C.
- Cet écart est susceptible de générer un biais d'interprétation entre les campagnes d'automne réalisées en novembre lors de l'état de référence et en septembre pendant la phase travaux.

6.4 APPROCHE GENERALE

6.4.1 Liste d'espèces

Le tableau ci-après (Tableau 8) présente la liste des espèces capturées sur la zone d'étude. Au total, 43 espèces de poissons et céphalopodes sont recensés (dont 7 pélagiques), 10 espèces d'invertébrés benthiques commerciaux et 25 espèces ou groupes d'invertébrés benthiques associés.

Six nouvelles espèces de poissons sont capturées durant la phase travaux : la grande alose, le gobie noir, la raie douce, le requin hâ, le rouquié et le vracton grelue. La présence de ces espèces est connue en Manche. Elles sont capturées de manière très ponctuelles sur le site (1 individu sur 1 station).

Les cartographies des richesses spécifiques ne montrent pas vraiment de gradient ou schéma de répartition spatiale particulier (Figure 8 et Figure 9). Elles font ressortir les campagnes où de plus fortes richesses sont observées avec celle de septembre 2023 pour les poissons benthodémersaux et celle de mars 2021 pour les poissons pélagiques.

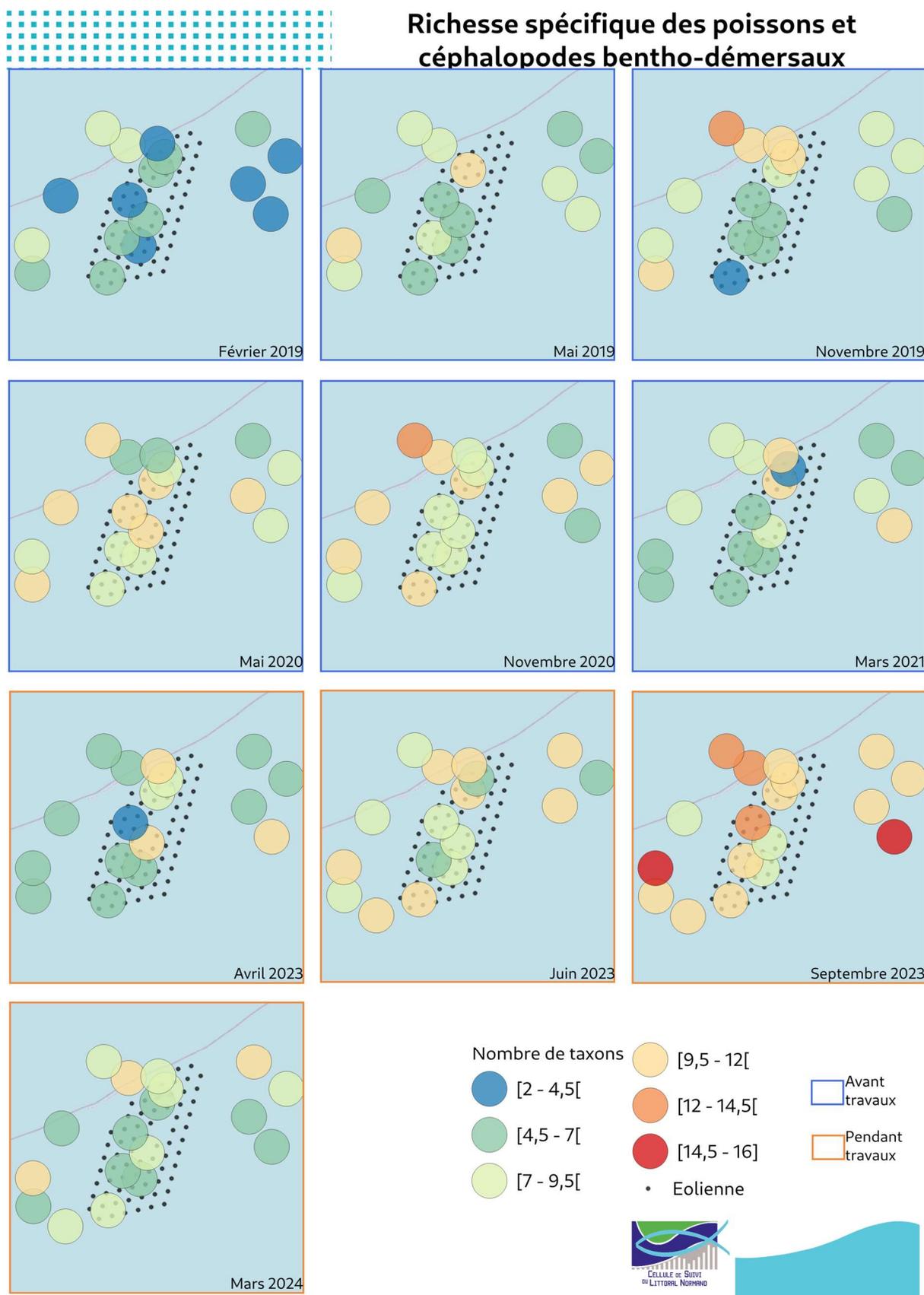


Figure 8 : Cartographie des richesses spécifiques de poissons benthodémersaux et céphalopodes observés lors 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux.

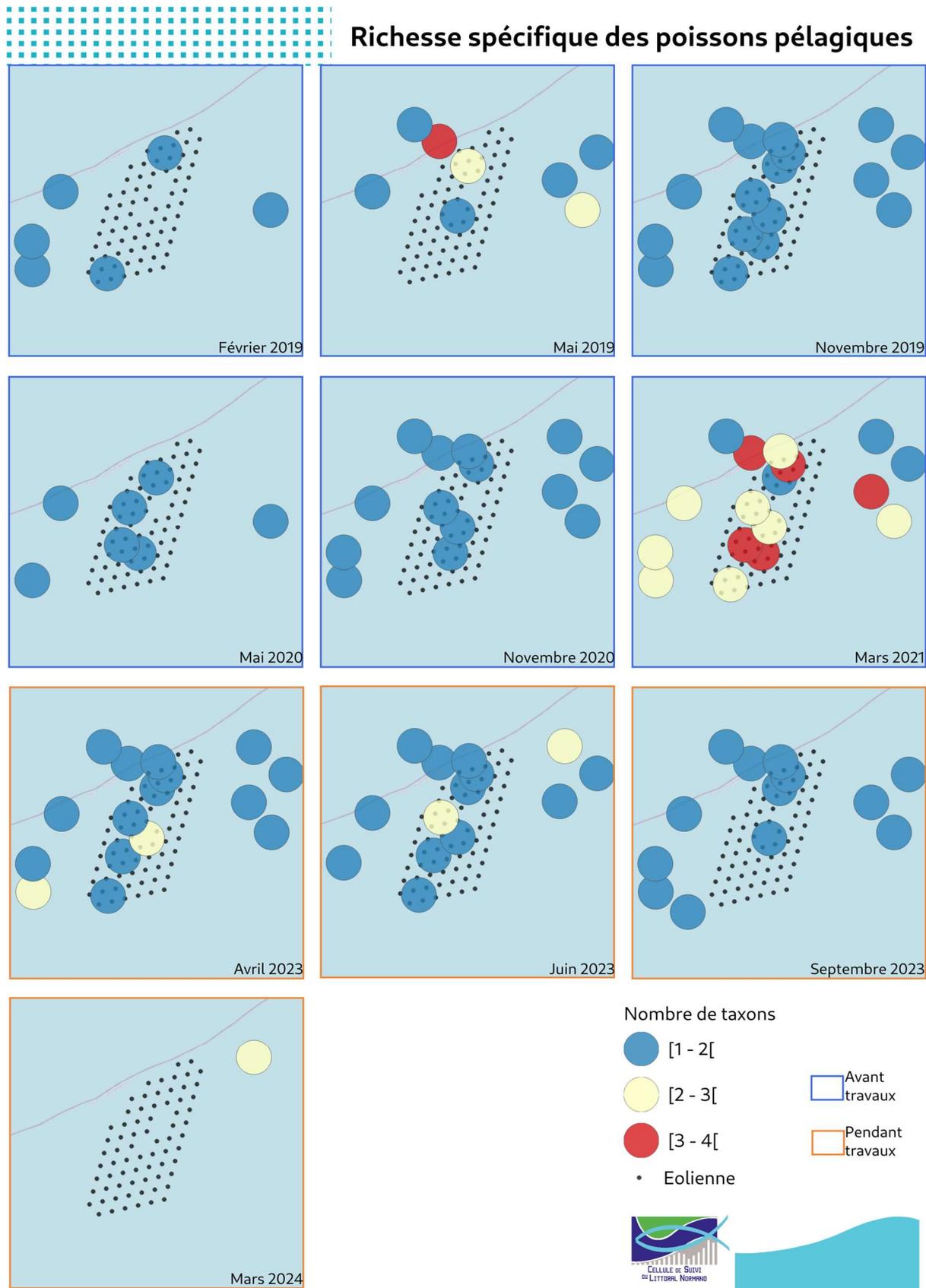


Figure 9 : Cartographie des richesses spécifiques de poissons pélagiques lors 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux.

Sur la durée du suivi, la richesse moyenne est de 9 ± 3 espèces de poissons et céphalopodes. Il existe une variabilité saisonnière et interannuelle entre les différentes campagnes de prélèvement sur l'ensemble de la zone (Figures 6, 7 et 8). Les plus faibles richesses sont relevées en février 2019 (minimales ; 6 ± 2 espèces), mai 2019 et avril 2023 tandis que les plus fortes sont enregistrées en mars 21, juin 2023 et septembre 2023 (maximales ; 13 ± 2 espèces).

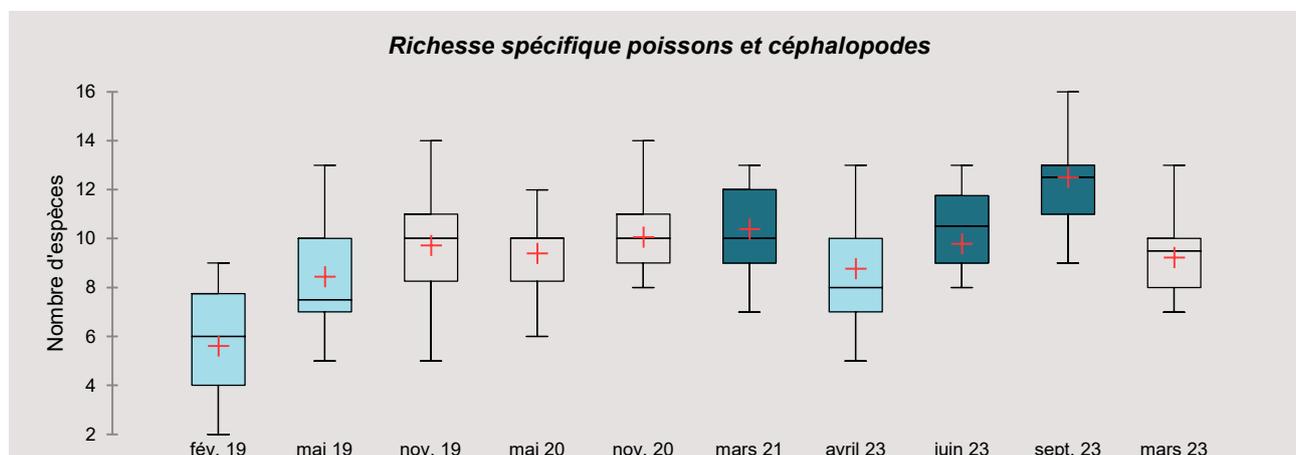


Figure 10 : Box plot des richesses spécifiques de poissons/céphalopodes. Les box sont colorées en fonction du résultat du test de comparaison de Kruskal-Wallis : le bleu foncé et le bleu très clair représentent les maxima et minima ($p < 0,05$).

6.4.2 Fréquences d'occurrence

Le tableau ci-après (Tableau 9) présente les fréquences d'occurrence (Focc) des principales espèces dans les captures. Sur la totalité du suivi, le grondin rouge, la petite roussette et le casseron sont les espèces constantes de la zone d'étude (Focc > 75 %). Viennent ensuite sept espèces qui peuvent être qualifiées de communes (Focc > 50 %) : la raie bouclée, la dorade grise, l'émissole tachetée, le chincharde, l'encornet et le grondin camard. Le suivi temporel montre les plus ou moins importantes variations saisonnières ou interannuelles. A titre d'exemple, peuvent être citées plusieurs espèces :

- La fréquence de la petite roussette, du casseron, de l'émissole tachetée, du chincharde, du bar, de la sardine et du congre sont plus forte sur la période 2023-2024.
- Le maquereau et le hareng sont au contraire moins fréquent sur la même période, ces espèces pélagiques se déplaçant en banc ont surtout été capturés en mars 2021.
- La raie brunette est moins fréquente au cours de la phase travaux
- La variabilité saisonnière peut être illustrée par les fréquences d'encornet, absent au printemps et plus fréquent en fin d'été et à l'automne.

Tableau 9 : Fréquences d’occurrence des principales espèces de poissons et céphalopodes capturées au chalut canadien (fréquence de capture > 10 %) depuis 2019. ER1 : état de référence 1 2019-20 ; ER2 : état de référence 2 : 2020-21 ; PT : Phase Travaux : 2023-2024.

Espèces	Total	ER 1	ER 2	PT	févr.-19	mai-19	nov.-19	mai-20	nov.-20	mars-21	avr.-23	juin-23	sept.-23	mars-24
Petite roussette	89%	85%	81%	99%	89%	100%	67%	89%	72%	83%	100%	94%	100%	100%
Grondin rouge	88%	85%	93%	86%	78%	75%	100%	94%	94%	89%	71%	94%	100%	78%
Casseron	81%	73%	78%	89%	22%	100%	100%	89%	100%	44%	94%	94%	94%	72%
Raie bouclée	69%	62%	81%	65%	61%	88%	39%	78%	100%	67%	35%	83%	100%	39%
Dorade grise	67%	48%	72%	73%	6%	69%	72%	94%	100%	22%	47%	83%	100%	61%
Emissole tachetée	67%	42%	69%	83%	11%	88%	33%	100%	67%	39%	71%	100%	100%	61%
Chinchard	55%	48%	46%	65%	0%	44%	100%	33%	83%	22%	76%	61%	94%	28%
Encomet	55%	54%	56%	49%	56%	0%	100%	0%	100%	67%	35%	0%	89%	72%
Grondin camard	52%	46%	52%	56%	67%	38%	33%	56%	44%	56%	47%	50%	89%	39%
Saint Pierre	41%	42%	46%	37%	22%	25%	78%	78%	28%	33%	47%	56%	44%	0%
Raie brunette	34%	37%	52%	18%	6%	44%	61%	83%	33%	39%	18%	11%	39%	6%
Petit tacaud	32%	31%	30%	34%	33%	31%	28%	39%	28%	22%	18%	28%	61%	28%
Bar	28%	19%	26%	37%	0%	25%	33%	22%	39%	17%	41%	28%	17%	61%
Sardine	22%	6%	20%	35%	0%	19%	0%	0%	0%	61%	71%	0%	6%	67%
Merlan	21%	4%	31%	27%	6%	6%	0%	11%	0%	83%	24%	17%	0%	67%
Rouget barbet	18%	12%	9%	30%	6%	0%	28%	6%	11%	11%	24%	0%	61%	33%
Grande roussette	18%	13%	19%	20%	6%	19%	17%	33%	22%	0%	6%	28%	39%	6%
Maquereau	17%	12%	31%	10%	0%	25%	11%	0%	0%	94%	6%	17%	6%	11%
Hareng	16%	15%	31%	6%	33%	13%	0%	11%	0%	83%	12%	0%	0%	11%
Seiche	15%	12%	17%	14%	0%	0%	33%	6%	44%	0%	0%	6%	50%	0%
Congre	14%	10%	9%	20%	6%	0%	22%	0%	28%	0%	6%	33%	33%	6%

Les invertébrés benthiques sont mal capturés par l’engin employé (chalut canadien rebondissant sur le fond) même si les données peuvent être considérées comme acceptables (Carpentier et al., 2009). Ils sont donc capturés dans des abondances extrêmement faibles mais leurs fréquences de capture peuvent donner quelques indications sur leur fréquentation de la zone d’étude (Tableau 10). C’est notamment le cas du bulot (buccin) dont la fréquence d’occurrence passe de 7 % la première année en 2013-14 (cf. Balay et al. 2021) à 44 % en 2019 puis 61 % en 2020-21. La fréquence au cours de la phase travaux est similaire à celle de l’état de référence 1. Cela va totalement dans les sens de l’évolution des pêcheries locales, avec plusieurs navires travaillant aux casiers à bulots sur zone observés depuis 2019, ce qui n’était pas le cas en 2013-14. En 2023-2024 les araignées sont quant à elles moins fréquentes.

Tableau 10 : Fréquences d’occurrence des principales espèces d’invertébrés benthiques d’intérêt commercial capturées au chalut canadien (fréquence de capture > 10 %) depuis 2019. ER1 : état de référence 1 2019-20 ; ER2 : état de référence 2 : 2020-21 ; PT : Phase Travaux : 2023-2024.

Espèces	Total	ER 1	ER 2	PT	févr.-19	mai-19	nov.-19	mai-20	nov.-20	mars-21	avr.-23	juin-23	sept.-23	mars-24
Buccin	50%	44%	61%	45%	17%	50%	67%	72%	78%	33%	53%	44%	17%	67%
Pétoncle	25%	25%	22%	28%	6%	31%	39%	17%	39%	11%	35%	17%	39%	22%
Araignée	10%	12%	19%	1%	11%	19%	6%	17%	22%	17%	0%	6%	0%	0%

Le Tableau 11 permet de comparer l’évolution des fréquences de poissons et céphalopodes sur les stations à l’extérieur et à l’intérieur du parc. D’une manière générale, les évolutions sont similaires pour la majorité des espèces. Quelques cas sont à suivre notamment ceux du groncin rouge et de la raie bouclée dont les fréquences diminuent à l’intérieur du parc en phase travaux.

Tableau 11 : Comparaison des fréquences d’occurrences des principales espèces de poissons et céphalopodes capturées au chalut canadien à l’extérieur et à l’intérieur de la zone du parc pendant l’état initial et la phase travaux. Le delta (Δ) correspond à la différence de fréquence entre ER : état de référence 2019-2021 (6 campagnes) et PT : phase travaux 2023-2024 (4 campagnes). La tendance est symbolisée par une flèche si $\Delta \geq 10\%$.

Espèces	Extérieur du parc				Intérieur du parc			
	ER	PT	Δ	Tendance	ER	PT	Δ	Tendance
Petite roussette	83%	97%	14%	↗	83%	100%	17%	↗
Grondin rouge	83%	87%	4%		96%	84%	-11%	↘
Casseron	75%	87%	12%	↗	76%	91%	15%	↗
Raie bouclée	65%	69%	4%		80%	59%	-21%	↘
Dorade grise	63%	77%	14%	↗	57%	69%	12%	↗
Encornet	57%	44%	-13%	↘	52%	56%	4%	
Chinchard	53%	64%	11%	↗	39%	53%	14%	↗
Petit tacaud	43%	38%	-5%		13%	28%	15%	↗
Grondin camard	52%	54%	2%		46%	59%	14%	↗
Saint Pierre	48%	33%	-15%	↘	39%	41%	1%	
Emissole tachetée	55%	77%	22%	↗	57%	91%	34%	↗
Raie brunette	45%	23%	-22%	↘	43%	13%	-31%	↘
Bar	23%	33%	10%	↗	22%	41%	19%	↗
Grande roussette	18%	23%	5%		13%	16%	3%	
Hareng	20%	3%	-17%	↘	28%	9%	-19%	↘
Rouget barbet	12%	33%	22%	↗	9%	25%	16%	↗
Maquereau	20%	10%	-10%	↘	24%	9%	-15%	↘
Sardine	15%	38%	23%	↗	11%	31%	20%	↗
Seiche	15%	13%	-2%		13%	16%	3%	
Congre	10%	28%	18%	↗	9%	9%	1%	
Merlan	18%	28%	10%	↗	17%	25%	8%	

6.4.3 Abondances

Les données brutes d’abondances numériques et pondérales pour les campagnes de 2023 et 2024 sont fournies en annexes. Les figures ci-après représentent les abondances observées par campagne sur la zone d’étude.

Pour les effectifs (Figure 11), sur le compartiment benthodémersal, les CPUE les plus fortes sont identifiées en 2023 lors de la campagne de septembre avec une moyenne de 12794 ± 3961 ind/km². Les plus faibles sont concentrées en février (min. 3731 ± 11410 ind/km²) et mai 2019. Pour les espèces pélagiques les plus fortes CPUE sont surtout identifiées en hiver, avec un pic d’abondance en mars 2021 à 17029 ± 25531 ind/km².

En termes de biomasses (Figure 12), l’image est sensiblement la même avec pour les espèces benthodémersales de plus faibles biomasses en 2019 et pour les espèces pélagiques une plus forte biomasse en hiver.

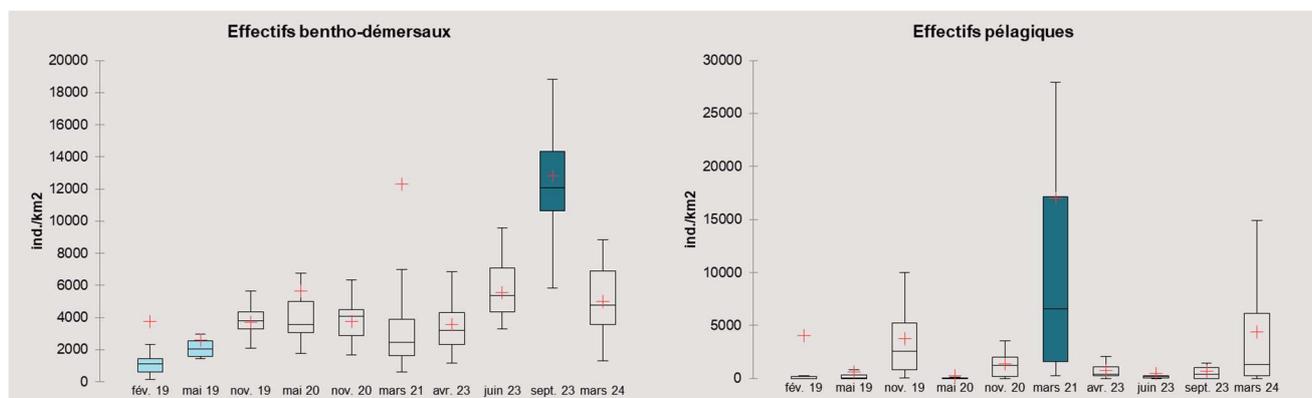


Figure 11 : box plot des CPUE numériques (effectifs en ind/km²) des poissons/céphalopodes benthodémersaux (à gauche) et poissons pélagiques (à droite). Les box sont colorées en fonction du résultat du test de comparaison de Kruskal-Wallis : le bleu foncé et le bleu très clair représentent les maxima et minima ($p < 0,05$).

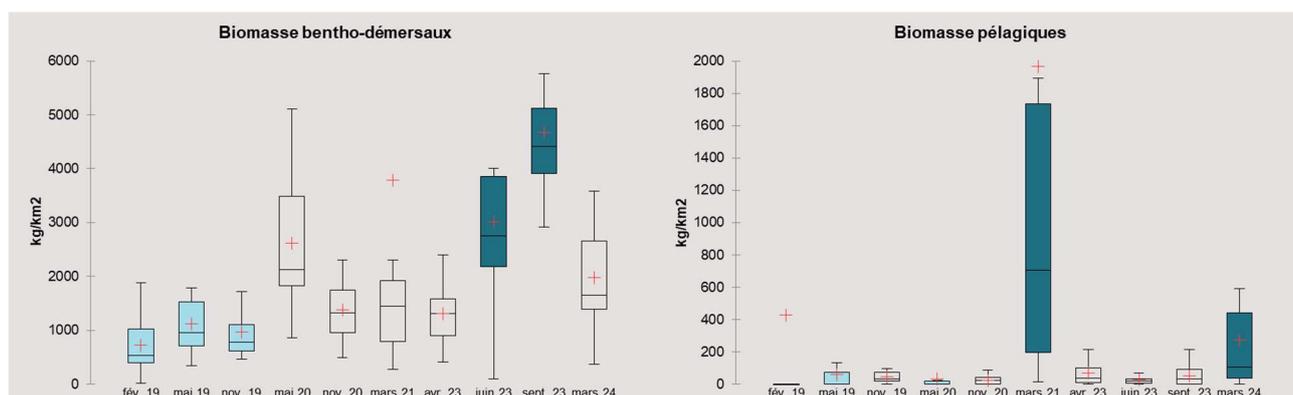


Figure 12 : box plot des CPUE numériques (effectifs en kg/km²) des poissons/céphalopodes benthodémersaux (à gauche) et poissons pélagiques (à droite). Les box sont colorées en fonction du résultat du test de comparaison de Kruskal-Wallis : le bleu foncé et le bleu très clair représentent les maxima et minima ($p < 0,05$).

Les tableaux ci-après représentent les abondances relatives en termes d'effectifs (Tableau 12) ou de biomasse (Tableau 13) des principales espèces capturées sur la zone d'étude. Pour la représentation sont ici séparées les espèces pélagiques et benthodémersales, les invertébrés commerciaux et associés aux captures.

La technique de pêche cible principalement les poissons et céphalopodes et plus particulièrement les espèces du compartiment benthodémersal. Elles représentent 72% des effectifs et 88% de la biomasse sur la totalité du suivi.

Les espèces pélagiques ne sont pas vraiment ciblées par le type d'engin employé (chalut de fond) et leurs captures peuvent s'avérer très aléatoires sur le plan spatial et à l'échelle de la journée d'échantillonnage. Ces espèces, fortement grégaires, peuvent être capturées en grand nombre et donc écraser la représentation graphique. Leur capture donne néanmoins une idée des assemblages saisonniers en présence : hareng, sardine ou maquereau en saison froide (février/mars) ; chinchard le reste de l'année (jusqu'à 100% en novembre).

Pour le compartiment benthodémersal, la dorade grise et la petite roussette composent la plupart des captures. Les variabilités interannuelles et saisonnières dans la représentation sont fortes avec notamment la capture d'espèces fortement grégaires comme le petit tacaud et le tacaud commun qui peuvent représenter respectivement 78% (février 2019) et 76% (mars 2021) des effectifs quasiment sur un seul trait de chalut.

Le bulot domine très largement le groupe d'invertébrés benthiques exploités (72%) tandis que l'oursin domine l'autre groupe d'invertébrés.

Tableau 12 : Abondances relatives en effectifs capturés sur les 18 stations de la zone d'étude (espèces > 1 % sur le total des prélèvements).

Compartiment	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Pélagique	28%	48%	18%	41%	4%	19%	56%	8%	4%	4%	31%
Bentho-démersal	72%	52%	82%	59%	96%	81%	44%	92%	96%	96%	69%
Groupes d'espèces	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Poisson	67%	91%	58%	55%	66%	47%	95%	33%	38%	67%	61%
Céphalopode	9%	1%	30%	26%	8%	24%	2%	12%	15%	5%	5%
Invertébré benthique commercial	1%	0%	3%	2%	4%	3%	0%	2%	1%	0%	2%
Invertébré benthique associé	22%	7%	9%	17%	22%	25%	2%	53%	46%	28%	32%
Pélagiques	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Sardine	30%	0%	9%	0%	0%	0%	31%	58%	0%	1%	97%
Hareng	26%	100%	2%	0%	3%	0%	27%	2%	0%	0%	1%
Chinchard	21%	0%	52%	100%	97%	100%	0%	39%	83%	99%	1%
Maquereau	20%	0%	37%	0%	0%	0%	38%	1%	4%	1%	1%
Bento-démersaux	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Tacaud commun	17%	0%	12%	0%	0%	0%	76%	0%	0%	0%	0%
Dorade grise	16%	0%	3%	8%	11%	17%	0%	5%	8%	54%	7%
Petite roussette	14%	6%	10%	3%	11%	3%	2%	41%	22%	9%	53%
Casseron	13%	1%	43%	22%	11%	29%	3%	31%	31%	5%	12%
Petit tacaud	11%	78%	12%	2%	39%	5%	0%	3%	1%	4%	2%
Grondin rouge	7%	4%	4%	10%	5%	11%	1%	6%	9%	12%	6%
Encornet	5%	2%	0%	41%	0%	16%	1%	1%	0%	2%	3%
Raie bouclée	5%	4%	6%	1%	4%	10%	2%	1%	12%	5%	2%
Emissole tachetée	4%	1%	6%	1%	10%	3%	1%	5%	10%	3%	6%
Merlan	3%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	1%	0%	0%	3%
Grondin camard	1%	2%	1%	1%	2%	2%	1%	2%	1%	2%	1%
Invertébré benthique commercial	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Buccin	72%	31%	31%	71%	87%	80%	71%	69%	82%	33%	74%
Pétoncle	17%	9%	58%	23%	6%	13%	8%	28%	13%	61%	8%
Araignée	5%	21%	11%	2%	7%	6%	10%	0%	5%	0%	0%
Moule	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%
Homard	1%	0%	0%	0%	0%	1%	8%	0%	0%	6%	0%
Invertébré benthique associé	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Oursin <i>P. miliaris</i>	86%	44%	50%	70%	77%	85%	45%	95%	93%	85%	95%
Etoile <i>A. rubens</i>	3%	39%	34%	8%	7%	6%	26%	1%	0%	0%	0%
Ophiure <i>O. fragilis</i>	3%	0%	0%	6%	8%	0%	18%	1%	4%	4%	0%
Crabe <i>P. hirtellus</i>	2%	0%	0%	2%	0%	0%	2%	0%	0%	7%	0%

En termes de biomasse, les conclusions sont assez similaires. Sur la totalité du suivi, les séliens, raie bouclée et petite roussette, représentent près de la moitié de la biomasse totale de poissons bentho-démersaux et céphalopodes. Les araignées composent plus de la moitié de la biomasse totale d'invertébrés commerciaux, devant le bulot. Parmi les invertébrés associés aux captures, l'oursin *P. miliaris* et l'étoile de mer *A. rubens* sont les plus représentés.

Tableau 13 : Abondances relatives en biomasse capturée sur les 18 stations de la zone d'étude (espèces > 1 % sur le total des prélèvements).

Compartiment	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Pélagique	12%	36%	5%	5%	1%	2%	34%	5%	1%	1%	12%
Benthodémersal	88%	64%	95%	95%	99%	98%	66%	95%	99%	99%	88%
Groupes d'espèces	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Poisson	96%	95%	98%	72%	98%	87%	98%	96%	98%	98%	97%
Céphalopode	3%	2%	1%	25%	0%	9%	1%	1%	1%	1%	2%
Invertébré benthique commerc	0%	1%	0%	1%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%
Invertébré benthique associé	1%	2%	1%	2%	1%	2%	0%	2%	1%	1%	1%
Pélagiques	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Maquereau	34%	0%	54%	17%	0%	0%	49%	0%	20%	3%	4%
Hareng	31%	100%	2%	0%	6%	0%	25%	0%	0%	0%	1%
Sardine	26%	0%	9%	0%	0%	0%	25%	44%	0%	0%	93%
Chinchard	8%	0%	33%	83%	94%	100%	0%	55%	72%	97%	2%
Poissons/céphalopodes benti	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Raie bouclée	25%	45%	32%	8%	21%	47%	14%	7%	38%	32%	9%
Petite roussette	23%	21%	17%	7%	17%	5%	4%	61%	28%	17%	70%
Tacaud commun	12%	0%	7%	0%	0%	0%	67%	0%	0%	0%	0%
Emissole tachetée	12%	3%	21%	6%	27%	5%	1%	12%	23%	9%	6%
Dorade grise	6%	0%	1%	5%	3%	7%	0%	1%	3%	21%	1%
Raie brunette	6%	2%	13%	13%	20%	6%	5%	5%	0%	4%	2%
Grondin rouge	5%	6%	2%	11%	2%	7%	1%	3%	4%	9%	3%
Encornet	2%	3%	0%	25%	0%	9%	2%	1%	0%	1%	3%
Bar	2%	0%	1%	9%	1%	4%	1%	5%	1%	1%	4%
Grande roussette	1%	0%	2%	7%	2%	4%	0%	0%	1%	2%	0%
Petit tacaud	1%	14%	1%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Invertébré benthique commerc	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Araignée	51%	90%	10%	6%	75%	42%	65%	0%	28%	0%	0%
Buccin	29%	3%	35%	51%	22%	37%	14%	71%	60%	15%	83%
Homard	10%	0%	0%	0%	0%	20%	18%	0%	0%	48%	0%
Pétoncle	6%	1%	55%	13%	2%	2%	1%	26%	12%	37%	12%
Coquille St-Jacques	2%	4%	0%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Invertébré benthique associé	Total général	févr-19	mai-19	nov-19	mai-20	nov-20	mars-21	avr-23	juin-23	sept-23	mars-24
Oursin <i>P. miliaris</i>	52%	9%	7%	36%	35%	51%	10%	73%	88%	82%	91%
Etoile <i>A. rubens</i>	39%	85%	90%	50%	53%	39%	85%	23%	4%	0%	0%

Quelle que soit la campagne considérée, les cartographies des CPUE différenciées par compartiment ne mettent pas en évidence de schéma de répartition spatial particulier sur la zone d'étude (Figure 13 à Figure 16). Elles illustrent surtout les fortes fluctuations saisonnières et interannuelle. Elles font une fois encore ressortir les fortes abondances de poissons pélagiques sur la saison froide et les pics de capture d'espèces grégaires comme les tacauds pour le compartiment benthodémersal (max 165951 ind/km² en mars 2021).

Par ailleurs, la campagne de septembre 2023 ressort dans les données comme étant la meilleure campagne pour les espèces benthodémersales. Les cartographies montrent que l'ensemble de la zone d'étude est concerné par ce constat (intérieur et extérieur du parc).

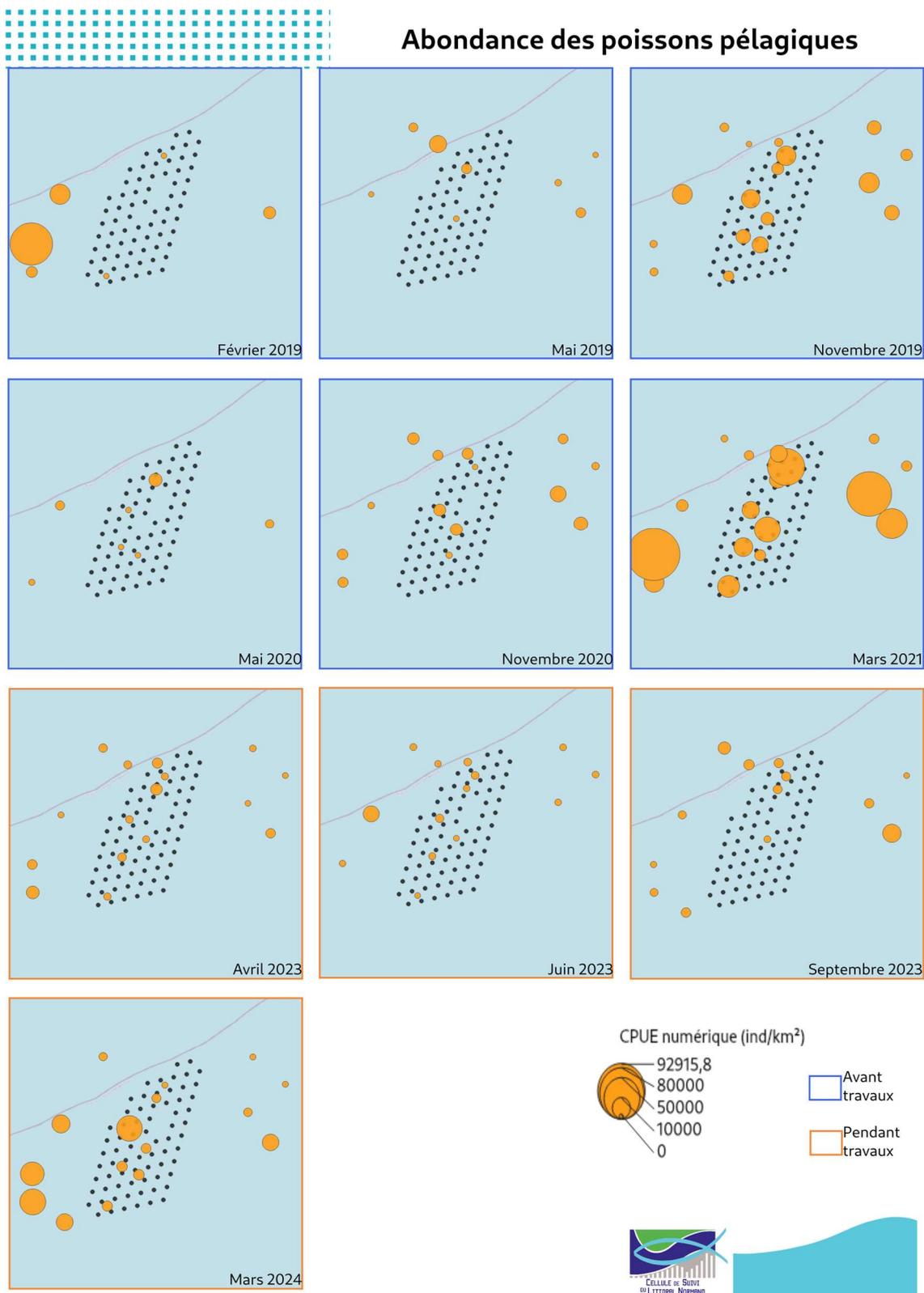


Figure 13 : Cartographies des CPUE numériques (ind./km²) d'ichtyofaune pélagique observées lors 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux.

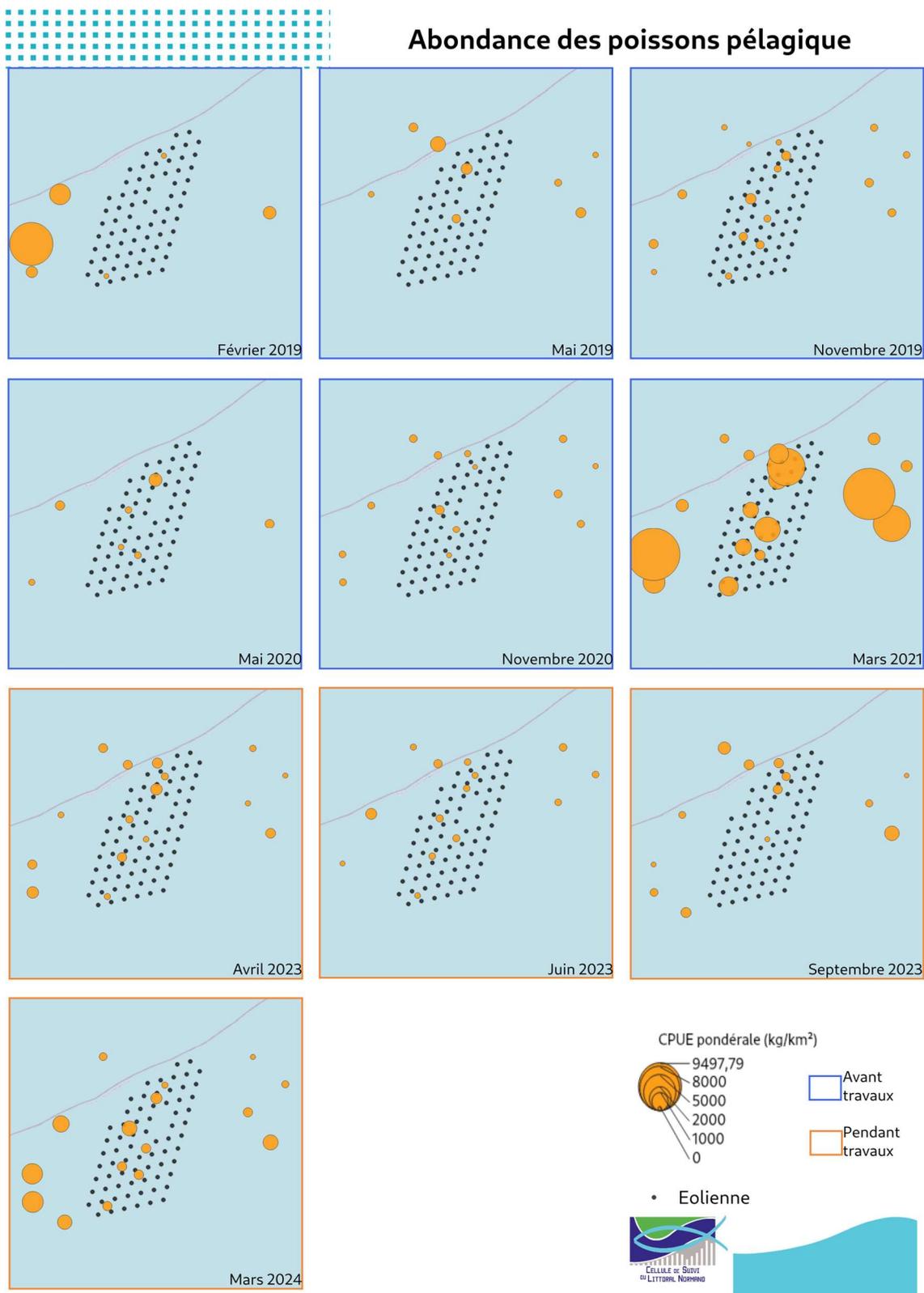


Figure 14 : Cartographies des CPUE pondérales (kg/km²) d'ichtyofaune pélagique observées lors 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux.

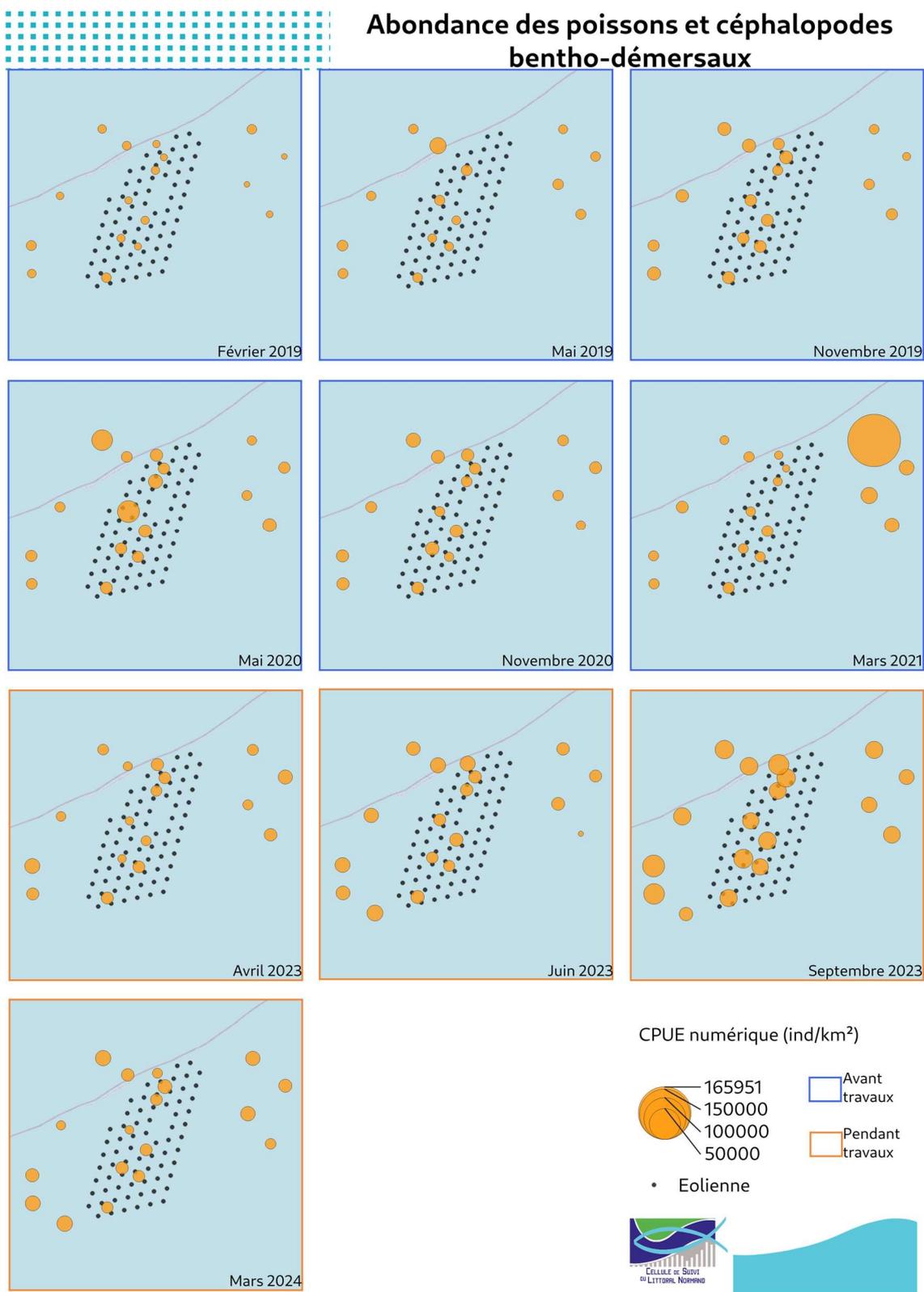


Figure 15 : Cartographies des CPUE numériques (ind./km²) d'ichtyofaune benthodémersale et céphalopodes observés lors 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux.

APPROCHE GENERALE - A RETENIR

- Au total le suivi a permis de recenser 43 espèces de poissons et céphalopodes ainsi que 35 espèces d'invertébrés. Les variations de richesses spécifiques sont de l'ordre du saisonnier et de l'interannuel, sans schéma de répartition spatial particulier.
- Trois espèces sont constantes sur la zone d'étude : la petite roussette, le grondin rouge et le casseron. Il existe des variations saisonnières et interannuelle plus ou moins importantes des fréquences d'occurrences. La comparaison des données extérieur/intérieur du parc montre des évolutions similaires en phase travaux sauf pour le grondin rouge et la raie bouclée (diminution de la fréquence).
- Le cortège d'espèces bento-demersales représente 72% des effectif et 88% de la biomasse. Il est principalement composé par la petite roussette et la dorade grise. Les fluctuations saisonnières et interannuelles d'abondances sont importantes. La campagne de septembre 2023 se distingue avec des abondances moyennes deux fois plus importantes que la moyenne du suivi sur l'ensemble de la zone d'étude.

6.5 RECHERCHE D'EFFETS DE LA PHASE TRAVAUX

6.5.1 Approche par assemblage

Le jeu de données utilisé comprend uniquement les poissons et céphalopodes, espèces directement ciblées par le chalut canadien.

Le tableau-ci après reprends les résultats de la Permanova réalisée sur l'ensemble du jeu de données. La prise en compte des deux paramètres, saison et travaux (ligne « Saison : Travaux ») est significatif ($P < 0,05$), ce résultat étant principalement lié aux variations saisonnières. En effet, l'effet saison ressort avec un niveau de significativité important ($0,01 < P < 0,05$) tandis que l'effet des travaux n'est pas significatif ($P > 0,1$). Le terme « effet saison » englobe l'ensemble des variations saisonnières naturelles des paramètres abiotiques (température, salinité, turbidité etc) et biotiques (abondance du phytoplancton, disponibilité en proie...) qui influent sur les communautés observées à un instant t.

Tableau 14 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques de poissons/céphalopodes entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil GranulatsShinny développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,022	0,009	1,631	0,207	
Saison	2	0,010	0,039	3,669	0,028	*
Saison:Travaux	2	0,010	0,038	3,578	0,047	*
Residuals	171	0,228	0,914			
Total	176	0,250	1,000			

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Les analyses réalisées ci-après ont pour but d'affiner les résultats et de déterminer l'évolution des assemblages au niveau saisonnier.

Cette approche est réalisée via deux types d'analyses : la classification hiérarchique ascendante (CAH) et la représentation sur deux dimensions de la matrice de proximité qui en résulte (nMDS). Sur les groupes de chaque niveau créé par la CAH est réalisée une recherche d'espèces indicatrices (méthode IndVal) mettant en avant les espèces dont la fréquence de capture et l'abondance sont significativement plus élevées sur un groupe de stations à un niveau donné.

Notons que la qualité des représentations 2D présentées ci-dessous est mauvaise (Stress de Kruskal $> 0,25$). Les points les plus éloignés ou en périphérie sont donc à interpréter avec précaution.

Sur l'ensemble de la période 2019-2024 (Figure 17), la petite roussette et le casseron ressortent comme espèces indicatrices de la zone d'étude. La méthode Indval employée pour déterminer les espèces indicatrices utilise à la fois les niveaux d'abondance/densité de l'espèce et la fréquence de l'espèce dans les captures. La petite roussette et le casseron étant fréquents et abondants dans les captures sur l'ensemble du site (voir 5.3.2 et 5.3.3) elles ressortent comme caractéristique de la zone d'étude. L'analyse illustre plutôt des variations saisonnières et interannuelles dans le cortège d'espèces présent sur la zone d'étude. Ces fluctuations existent particulièrement entre la saison hivernale et le reste de l'année. Elle met également en évidence l'influence du niveau de réchauffement de la masse d'eau au moment de la campagne d'hiver sur les assemblage avec : i) de faibles richesses spécifiques en février 2019 (début d'hiver) ; ii) des fortes abondances de maquereau en mars 2021 (fin d'hiver froid) ; iii) des assemblages de transition hiver/printemps en avril 2023 et mars 2024 (fin d'hiver/début de printemps, réchauffement précoce) avec la dorade grise comme espèce indicatrice pour ces deux campagnes ainsi que pour celles de printemps et d'automne. L'analyse fait également ressortir quelques singularités telles que l'énorme capture de tacaud sur FEC19 en mars 2021.

A RETENIR

L'analyse ne fait pas ressortir de disparité ou d'évolution du point de vue spatial, ni d'évolution significativement différente sur les stations impactées par les travaux entre 2023 et 2024.

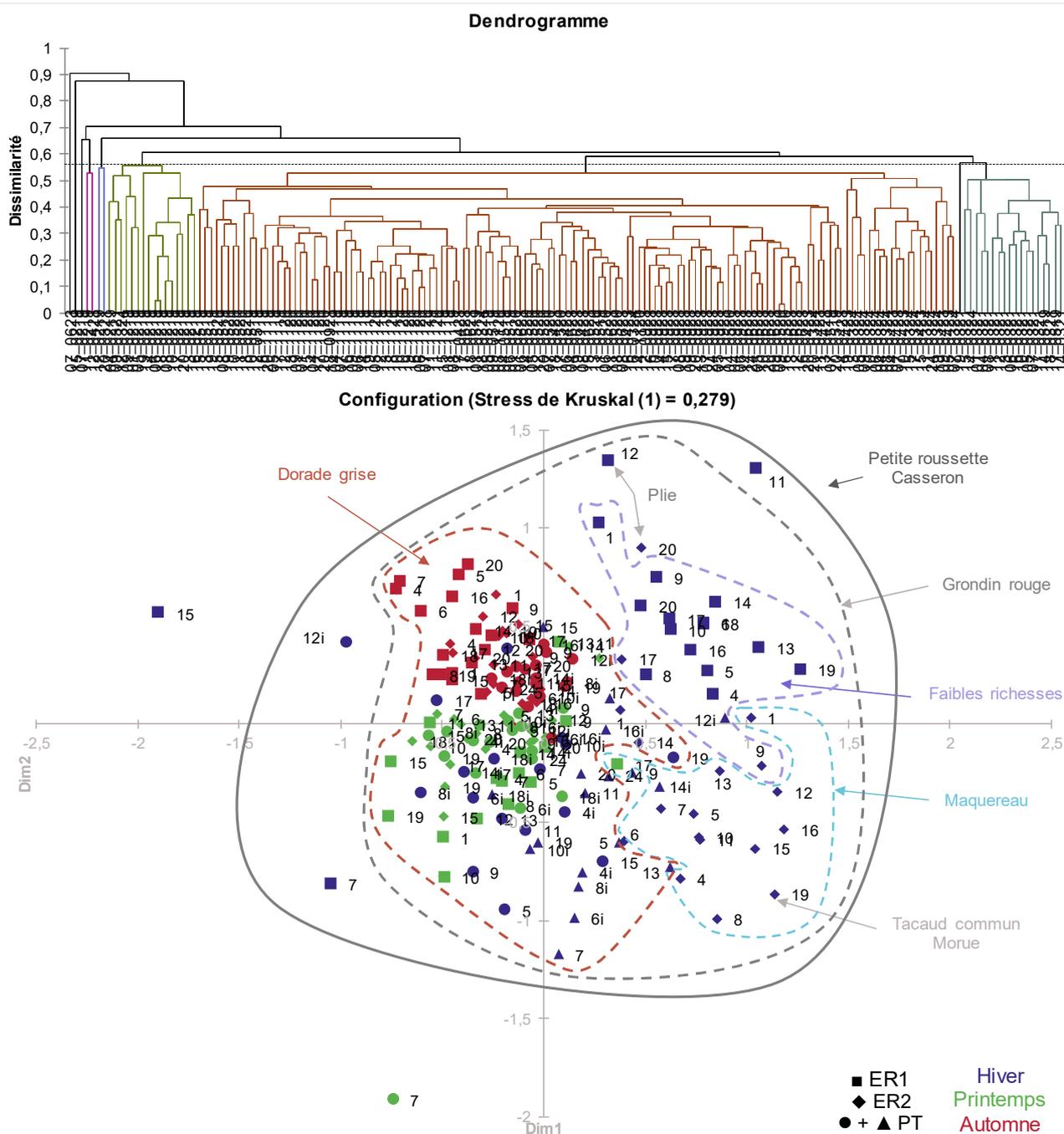


Figure 17 : (en haut) dendrogramme résultant de la classification des captures de poissons et céphalopodes réalisées au chalut canadien entre 2019 et 2024 (CAH, lien moyen et l'indice de Bray-Curtis). (en bas) nMDS réalisée sur la matrice de proximité de Bray-Curtis et espèces indicatrices (méthode IndVal). Le « i » après les numéros indiquent les stations à l'intérieur du parc en phase travaux. ER1 : état de référence 2019-2020 ; ER2 : état de référence 2020-2021 ; PT : phase travaux 2023-2024.

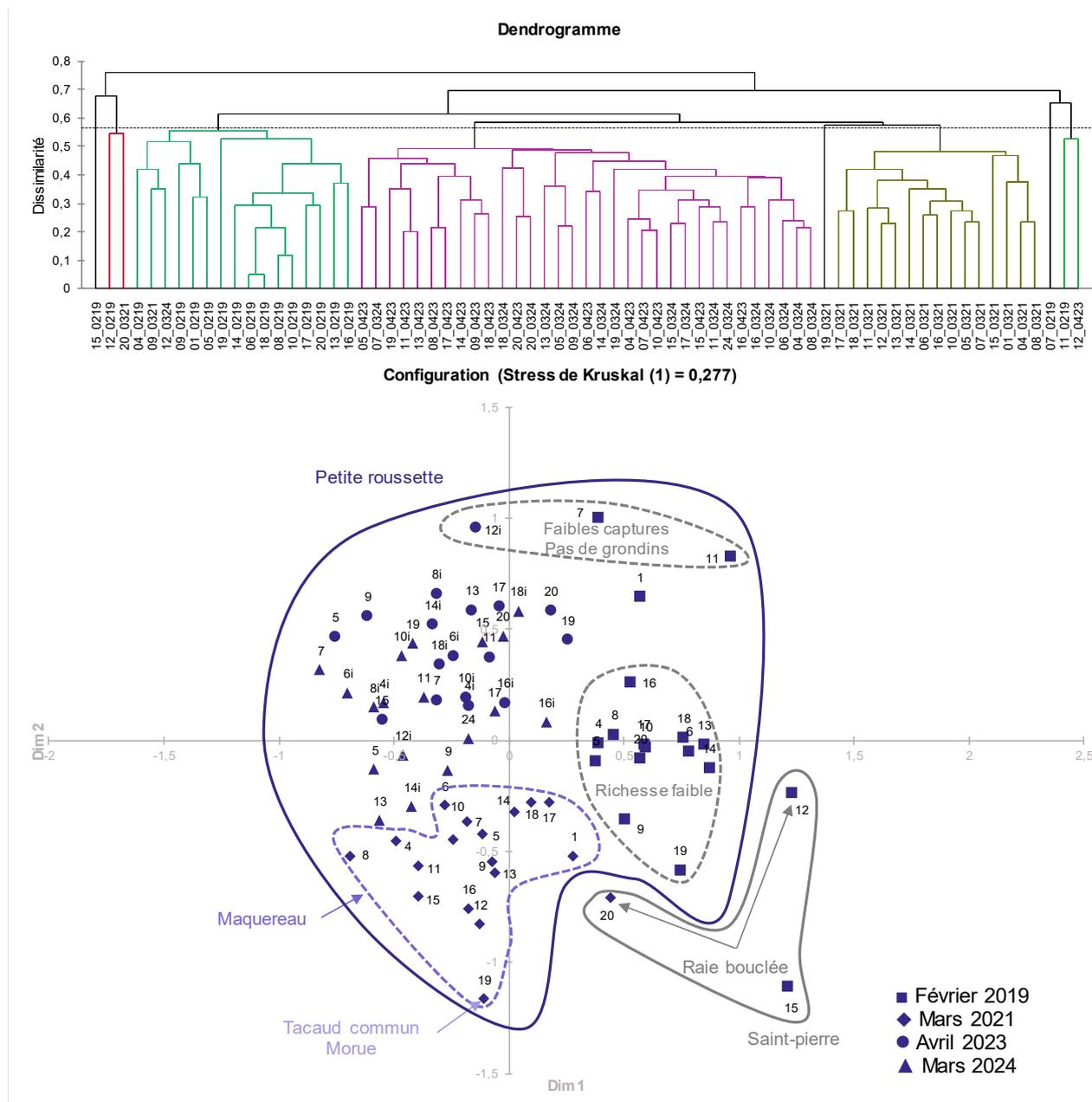


Figure 18 : (en haut) dendrogramme résultant de la classification des captures de poissons et céphalopodes réalisées au chalut canadien en hiver entre 2019 et 2024 (CAH, lien moyen et l'indice de Bray-Curtis). (en bas) nMDS réalisée sur la matrice de proximité de Bray-Curtis et espèces indicatrices (méthode IndVal). Le « i » après les numéros indiquent les stations à l'intérieur du parc en phase travaux.

L'analyse par saisons (Figure 18 ; Figure 19 ; Figure 20) n'apportent pas d'éléments supplémentaires quant à l'effet des travaux sur les assemblages. Les groupes et espèces indicatrices sur les campagnes d'hiver sont en accord avec l'analyse globale. Au printemps, les assemblages semblent homogènes sur les trois campagnes réalisées, avec seulement deux singularités : la présence de seulement une émissole dans les captures sur FEC07 en juin 2023 ; les fortes captures d'espèces grégaires (tacaud, maquereau, chinchard) sur FEC17 en mai 2019). Le même constat peut être fait en automne avec des assemblages plutôt homogènes caractérisés par la présence de dorade grise et de raie bouclée.

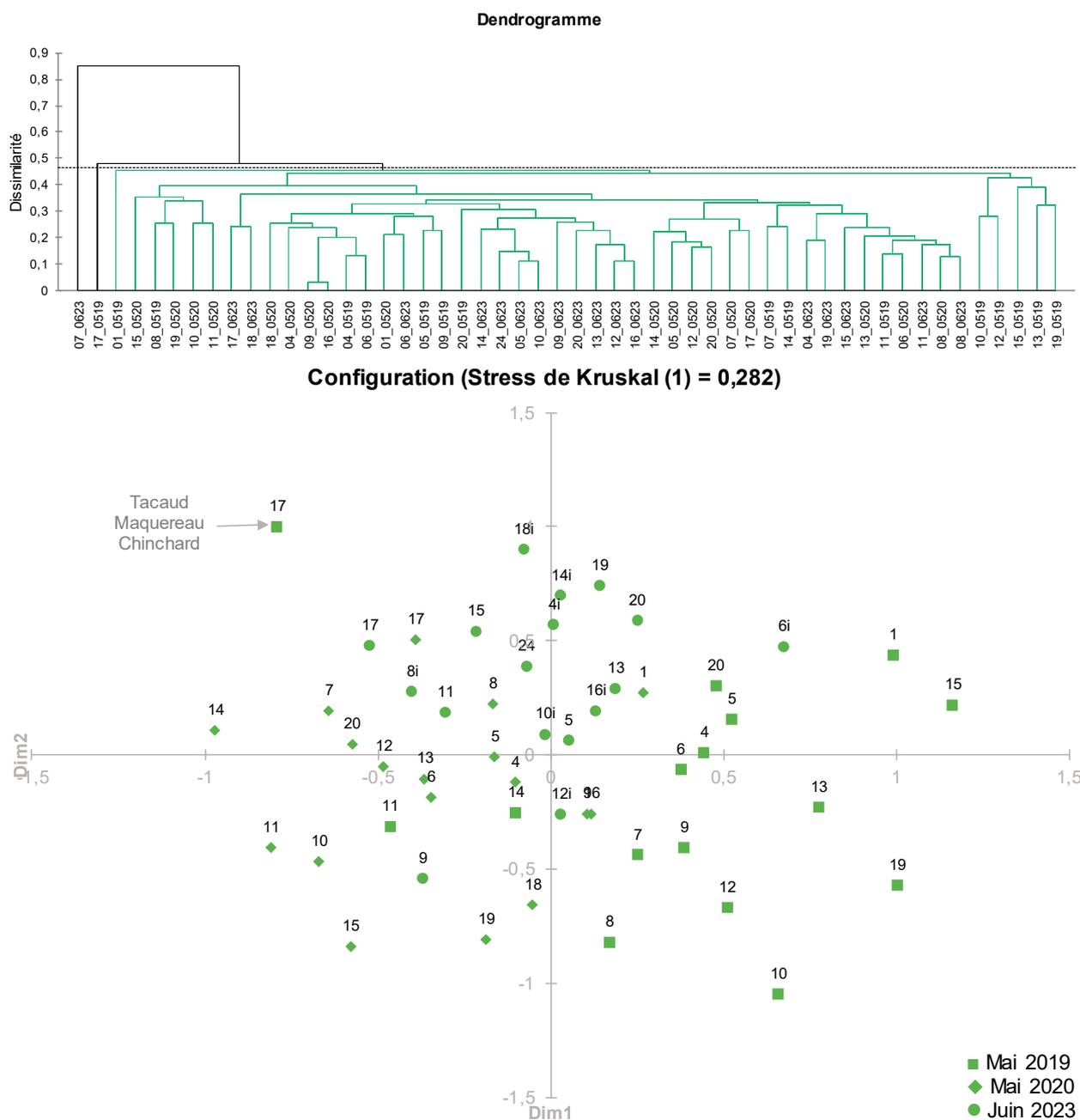


Figure 19 : (en haut) dendrogramme résultant de la classification des captures de poissons et céphalopodes réalisées au chalut canadien au printemps entre 2019 et 2023 (CAH lien moyen et l'indice de Bray-Curtis). (en bas) nMDS réalisée sur la matrice de proximité de Bray-Curtis et espèces indicatrices (méthode IndVal). Le « i » après les numéros indiquent les stations à l'intérieur du parc en phase travaux.

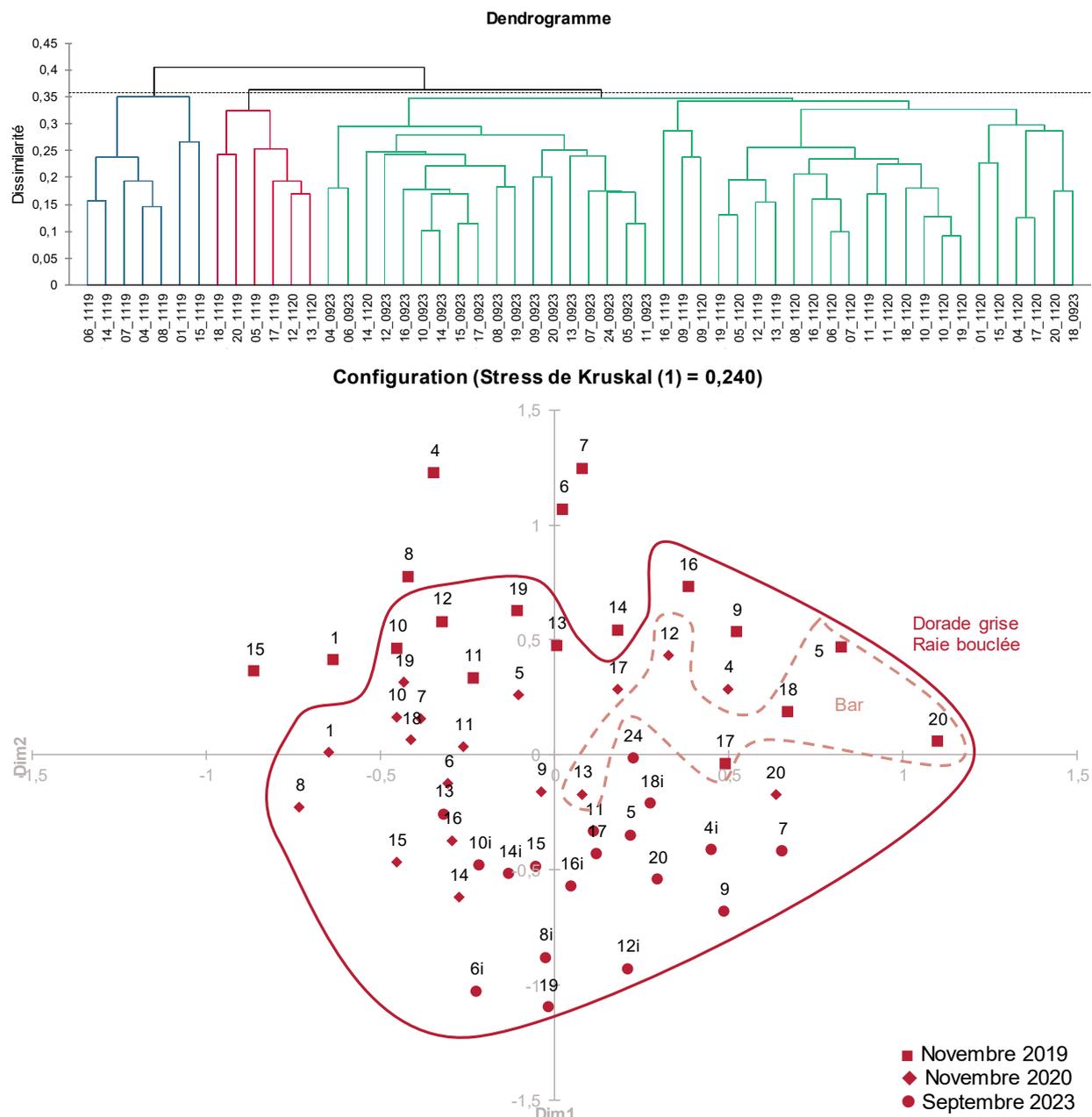


Figure 20 : (en haut) dendrogramme résultant de la classification des captures de poissons et céphalopodes réalisées au chalut canadien en automne entre 2019 et 2023 (CAH lien moyen et l'indice de Bray-Curtis). (en bas) nMDS réalisée sur la matrice de proximité de Bray-Curtis et espèces indicatrices (méthode IndVal). Le « i » après les numéros indiquent les stations à l'intérieur du parc en phase travaux.

6.5.2 Approche par indicateurs globaux

Pour être le plus complet possible dans la recherche d'effets liés aux travaux, des tests sont réalisés sur les différents indicateurs généraux des poissons et céphalopodes : richesse spécifique, CPUE numériques et CPUE pondérales.

La comparaison des données de richesses spécifiques (Figure 21) sur les périodes de référence et les stations impactées par les travaux ne révèle pas de différence significatives (MW ; $p > 0,05$; $\alpha = 0,05$) quelle que soit la période considérée (totalité du suivi ou suivi saisonnier). La richesse reste autour de 9 à 10 espèces par trait de chalut.

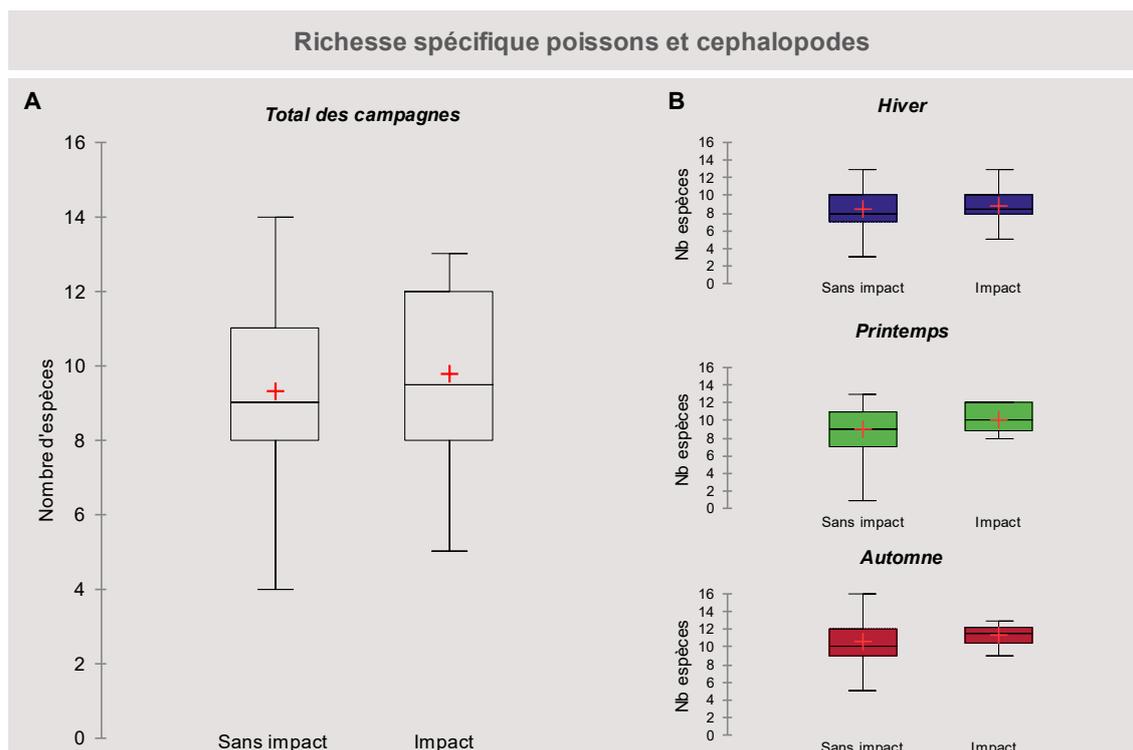


Figure 21 : Box plot des richesses spécifiques de poissons et céphalopodes ; A : total des 10 campagnes réalisées entre 2019 et 2024 ; B : campagnes saisonnières, 4 en hiver, 3 au printemps et 3 en automne. Les données « sans impact » incluent les stations de 2019 à 2021 + stations de références en 2023-2024 et « impact » correspond aux stations à l'intérieur du parc en phase travaux (2023-2024). Les étoiles représentent le niveau de significativité du test de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) appliqués aux données avec $p \leq 0,001$ **** ; $p \leq 0,01$ *** ; $p \leq 0,05$ *.

En ce qui concerne les abondances numériques (Figure 22), l'analyse sur l'ensemble des campagnes ne fait pas ressortir d'évolution au cours de la phase travaux (impact). En revanche il existe une différence significative (MW, $p \leq 0,001$; $\alpha = 0,05$) en automne avec une moyenne établie à 7873 ± 4571 ind/km² pour les données sans impact et 13316 ± 2983 ind/km² avec impact. Les abondances semblent plus fortes au sein du parc pendant la phase de travaux en automne.

Ces résultats sont à relativiser puisqu'il a été établi plus avant que les abondances de poissons et céphalopodes sont maximales sur la campagne de septembre 2023 (automne 2023) sur l'ensemble de la zone d'étude (intérieur et extérieur du parc). Les box plots présentés en Figure 22 C vont dans ce sens : i) il existe une différence significative entre les abondances relevées lors des campagnes de novembre (2019 et 2020) et celles de septembre 2023 ; ii) il n'y a en revanche pas de différences d'abondances entre l'extérieur du parc et la zone impactée par les travaux en septembre 2023, donc pas d'effet avéré des travaux.

La différence qui ressort entre les données « sans impact » et « impact » en automne est donc plutôt imputée au décalage temporel entre les campagnes des années de références réalisées en novembre et celle de la phase travaux réalisée en septembre. Par ailleurs, les valeur de l'« impact » reposent sur les données d'une seule campagne, ce qui ne permet pas une comparaison statistique solide.

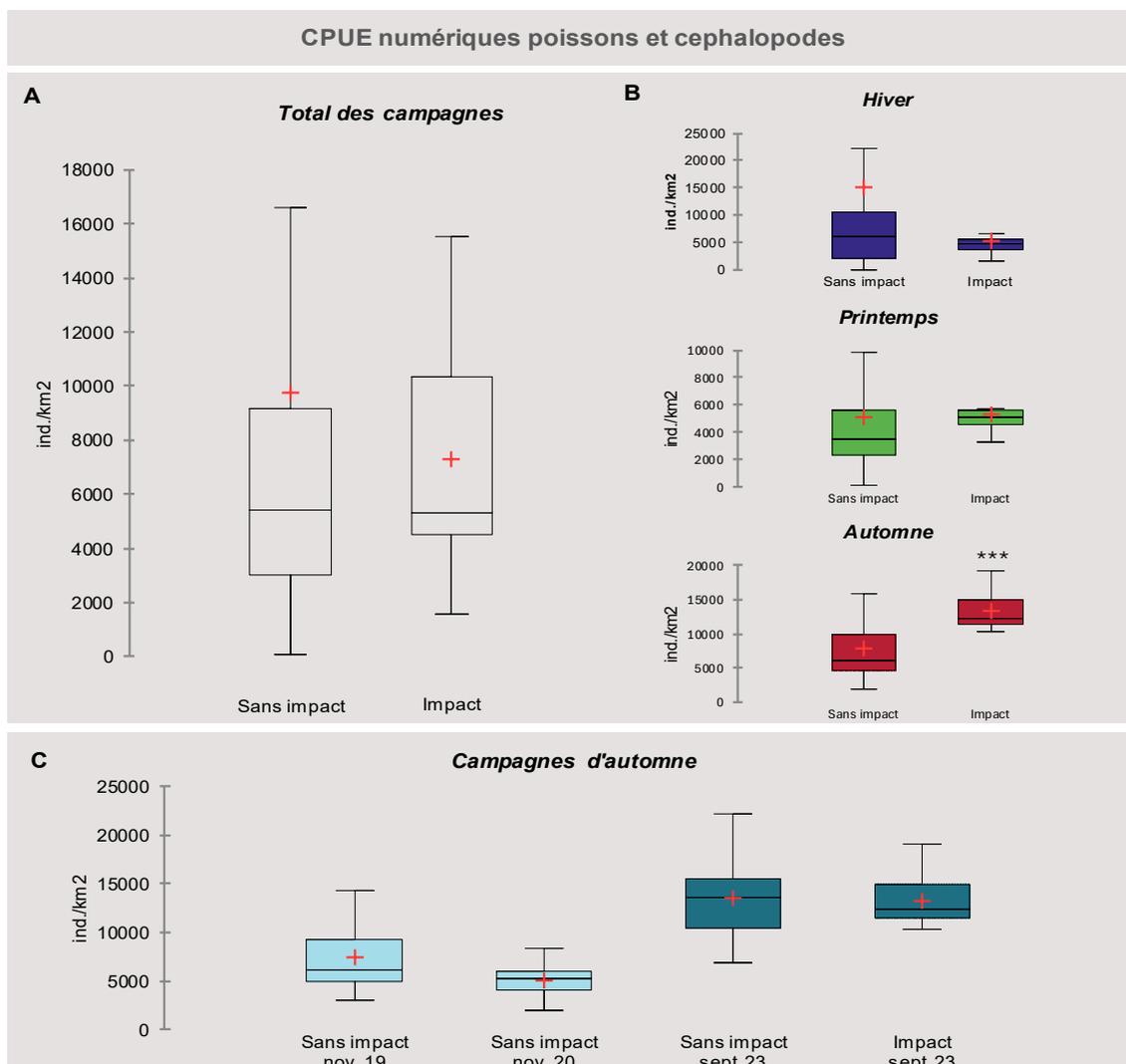


Figure 22 : Box plot des Captures par Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de poissons et céphalopodes ; A : total des 10 campagnes réalisées entre 2019 et 2024 ; B : campagnes saisonnières, 4 en hiver, 3 au printemps et 3 en automne. Les étoiles représentent le niveau de significativité du test de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) appliqués aux données avec $p \leq 0,001$ '****' ; $p \leq 0,01$ '***' ; $p \leq 0,05$ '*'. C : détail des campagnes d'automne, le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$). Les données « sans impact » incluent les stations de 2019 à 2021 + stations de références en 2023-2024 et « impact » correspond aux stations à l'intérieur du parc en phase travaux (2023-2024).

Les mêmes conclusion peuvent être tirées de l'analyse des biomasses par surface chalutées (Figure 23).

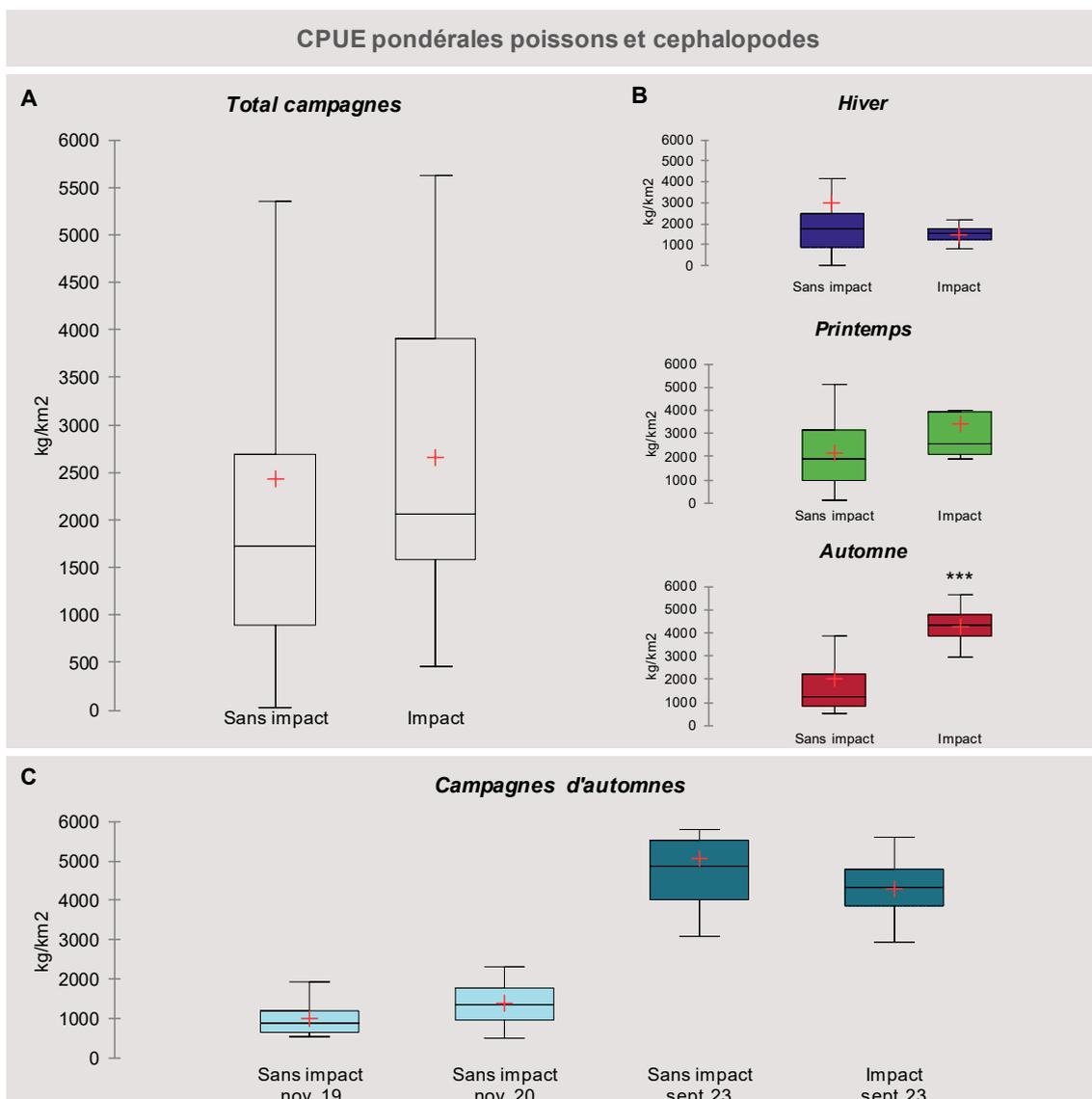


Figure 23 : Box plot des Captures par Unité d'Effort (CPUE) pondérales (kg/km^2) de poissons et céphalopodes ; A : total des 10 campagnes réalisées entre 2019 et 2024 ; B : campagnes saisonnières, 4 en hiver, 3 au printemps et 3 en automne. Les étoiles représentent le niveau de significativité du test de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) appliqués aux données avec $p \leq 0,001$ '****' ; $p \leq 0,01$ '***' ; $p \leq 0,05$ '*'. C : détail des campagnes d'automne, le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$). Les données « sans impact » incluent les stations de 2019 à 2021 + stations de références en 2023-2024 et « impact » correspond aux stations à l'intérieur du parc en phase travaux (2023-2024).

RECHERCHE D'EFFETS SUR LE CORTEGE D'ESPECES - A RETENIR

- Que ce soit en termes d'assemblages ou considérant les différents indicateurs généraux testés, il n'existe pas d'effets significativement avérés des travaux au sein de l'aire d'étude.
- Les différences enregistrées sont d'avantage imputées aux variations saisonnières et/ou interannuelles naturelles sur l'ensemble du site.

6.5.3 Approche monospécifique

Pour compléter l'analyse, des permanova sont réalisées au niveau monospécifique. Il en ressort neuf espèces avec une réponse significative sur la partie impactée par la phase de travaux. Les résultats sont présentés ci-après.

6.5.3.1 Le bar - *Dicentrarchus labrax*

Le bar est une espèce benthodémersale côtière fréquentant les zones rocheuses et sableuses battues et les estuaires. Les bars adultes pondent au large sur des zones où la profondeur est comprise entre 60 et 100 mètres mais il existe également des frayères côtières, moins profondes. La période de reproduction se déroule entre mi-janvier et juin en Manche. Les larves dérivent alors vers les côtes avant d'arriver dans les estuaires et les baies où elles se développent. Sa pêche est réglementée, soumise à quota avec une taille minimale de capture établie à 42cm pour les professionnels.

Sur le site, sa fréquence augmente dans les captures entre 2019 et 2024 et son abondance moyenne est de 45 ± 112 ind./km². Les abondances de bar sont assez variables en fonction des campagnes, la moyenne la plus faible étant identifiée en février 2019 et la plus forte en mars 2024 (KW, $p = 0,006$, $\alpha = 0,05$) (Figure 24).

Les cartographies des CPUE numériques (Figure 25) ne montrent pas vraiment de préférendum spatial à l'échelle de la zone d'étude. Elles font ressortir les pics d'abondances sur deux stations dans la zone du parc en novembre 2019 (max. 978 ind./km²) et mars 2021.

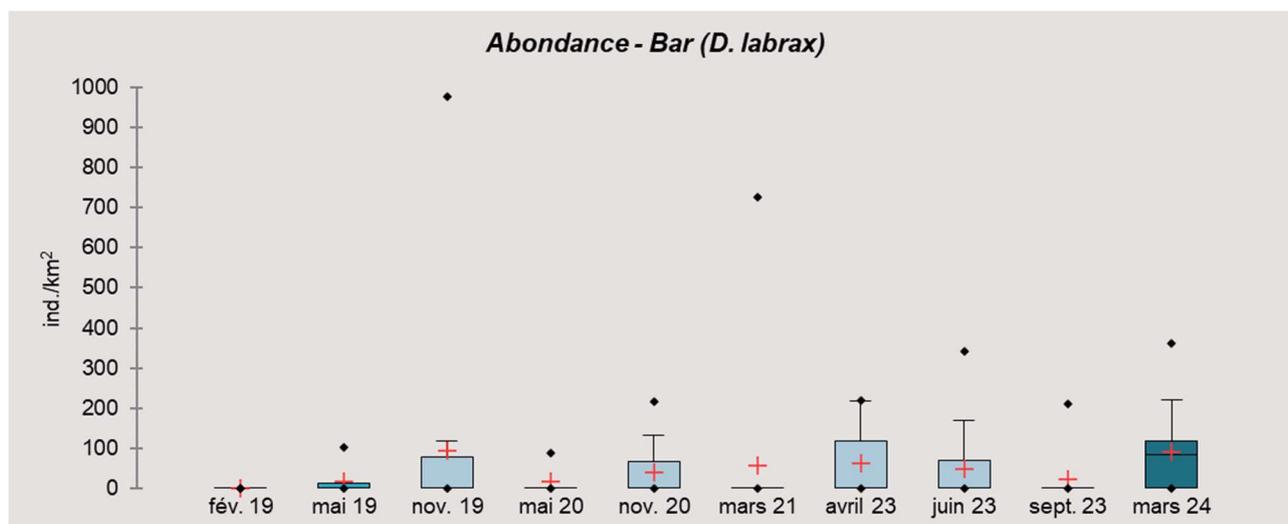


Figure 24 : Box plot des Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de bar *D. labrax* par campagne sur la période 2019-2024 au sein de l'aire d'étude. Le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives, le bleu moyen les valeurs intermédiaires (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$).

Les résultats de la Permanova ci-après suggère qu'il existe une influence positive des travaux sur les abondances de bar au sein du parc. Cependant la significativité du résultat reste assez faible ($p \approx 0,01$) ce qui ne permet pas d'affirmer l'existence d'un effet de manière solide. Par ailleurs, l'augmentation des abondances, notamment en mai 2023 n'est pas catonnée à la zone impactée. Sur l'ensemble des campagnes en phase travaux, il n'existe pas de différence significative entre les abondances relevées à l'intérieur et à l'extérieur du parc.

Tableau 15 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques de bar entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil *GranulatsShinny* développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,012	0,016	2,729	0,098	°
Saison	2	0,005	0,007	0,609	0,544	
Saison:Travaux	2	0,001	0,001	0,117	0,884	
Residuals	171	0,737	0,976			
Total	176	0,755	1,000			

Signif. codes: 0 $'****'$ ≤ 0.001 $'***'$ ≤ 0.01 $'**'$ ≤ 0.05 $'*'$ ≤ 0.1 $'.'$ ≤ 1

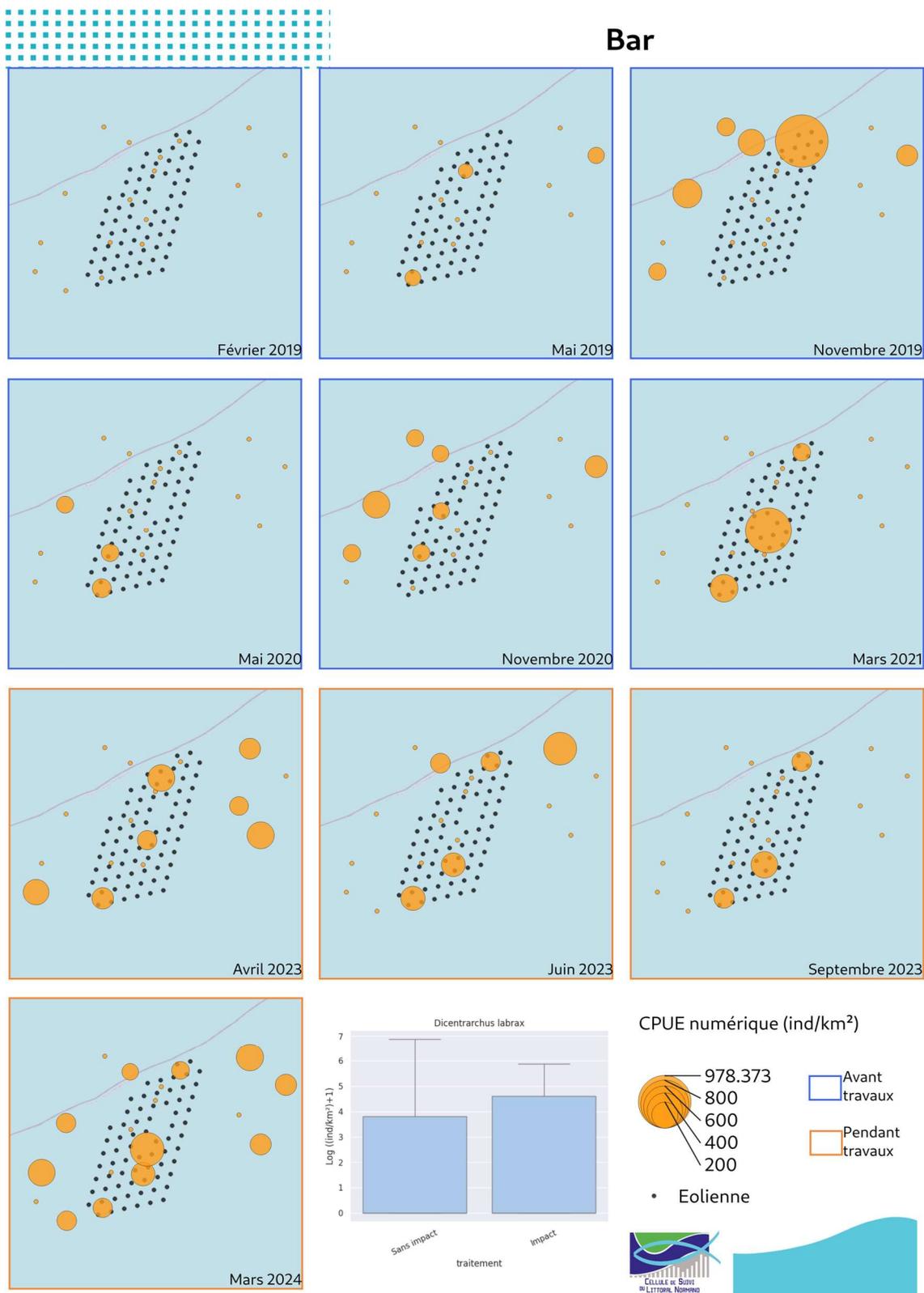


Figure 25 : Cartographies des CPUE numériques de bar *D. labrax* réalisées lors des 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux. Le box plot sur les données logées présente les abondances pour les deux types de traitements « sans impact » et « impact ».

6.5.3.2 Le callionyme lyre - *Callionymus lyra*

En Manche, le callionyme lyre est l'espèce de callionymes la plus répandue. C'est une espèce benthique affectionnant les fond sableux et vaseux, répartie dans les eaux sublittorales jusqu'à 200m de profondeur (préférendum 10-30m). Les callionymes se nourrissent principalement de petits invertébrés benthiques (annélides, gastéropodes et crustacés). La maturité sexuelle est atteinte autour de 3 à 5 ans et la reproduction a lieu de février à août. Pouvant mesurer jusqu'à 30cm, la taille commune dans les captures se situe dans une gamme entre 10 et 20cm. Cette espèce n'a pas d'intérêt commercial particulier et n'est donc pas réglementée.

Le callionyme lyre est capturé de manière très occasionnelle sur le site (Focc% < 10%) avec une abondance moyenne très faible sur la période 2019-2024 (7 ± 37 ind./km²). Présent uniquement en mai 2019, mai 2020, septembre 2023 et mars 2024 dans les captures, il atteint son maximum d'abondance en mars 2024 avec 35 ± 59 ind./km² (Figure 26).

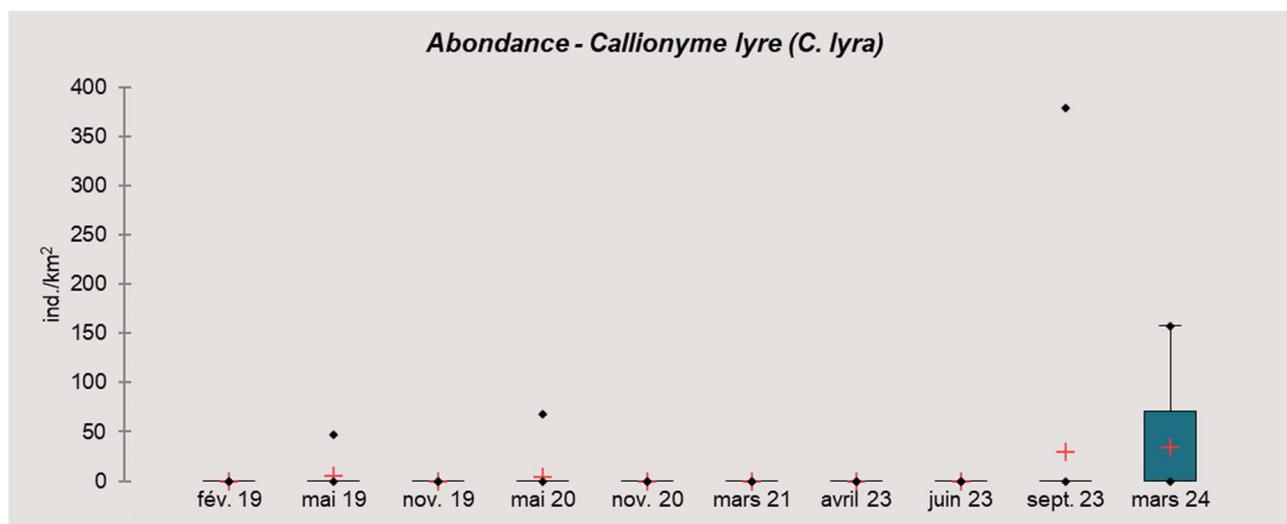


Figure 26 : Box plot des Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de callionyme lyre *C. lyra* par campagne sur la période 2019-2024 au sein de l'aire d'étude. Le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives, le bleu moyen les valeurs intermédiaires (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$).

Les cartographies (Figure 27) illustrent bien le caractère sporadique des captures de callionyme. En termes d'effectifs, les données correspondent à 1 à 5 individus maximum recensés dans un trait de chalut, ce qui est excessivement faible.

Les résultats d'analyse ci-dessous font ressortir un effet significatif des travaux et de l'interaction saison/travaux sur les captures de callionyme. L'espèce, bien que peu capturée, est mieux représentée sur la partie impactée par les travaux, notamment en mars 2024. Cette évolution sera à suivre dans le temps.

Tableau 16 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques de callionyme lyre entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil GranulatsShinny développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,016	0,017	3,051	0,047	*
Saison	2	0,002	0,002	0,200	0,813	
Saison:Travaux	2	0,046	0,049	4,457	0,024	*
Residuals	171	0,885	0,933			
Total	176	0,949	1,000			

Signif. codes: 0 < '****' ≤ 0.001 < '***' ≤ 0.01 < '**' ≤ 0.05 < '.' ≤ 0.1 < ' ' ≤ 1

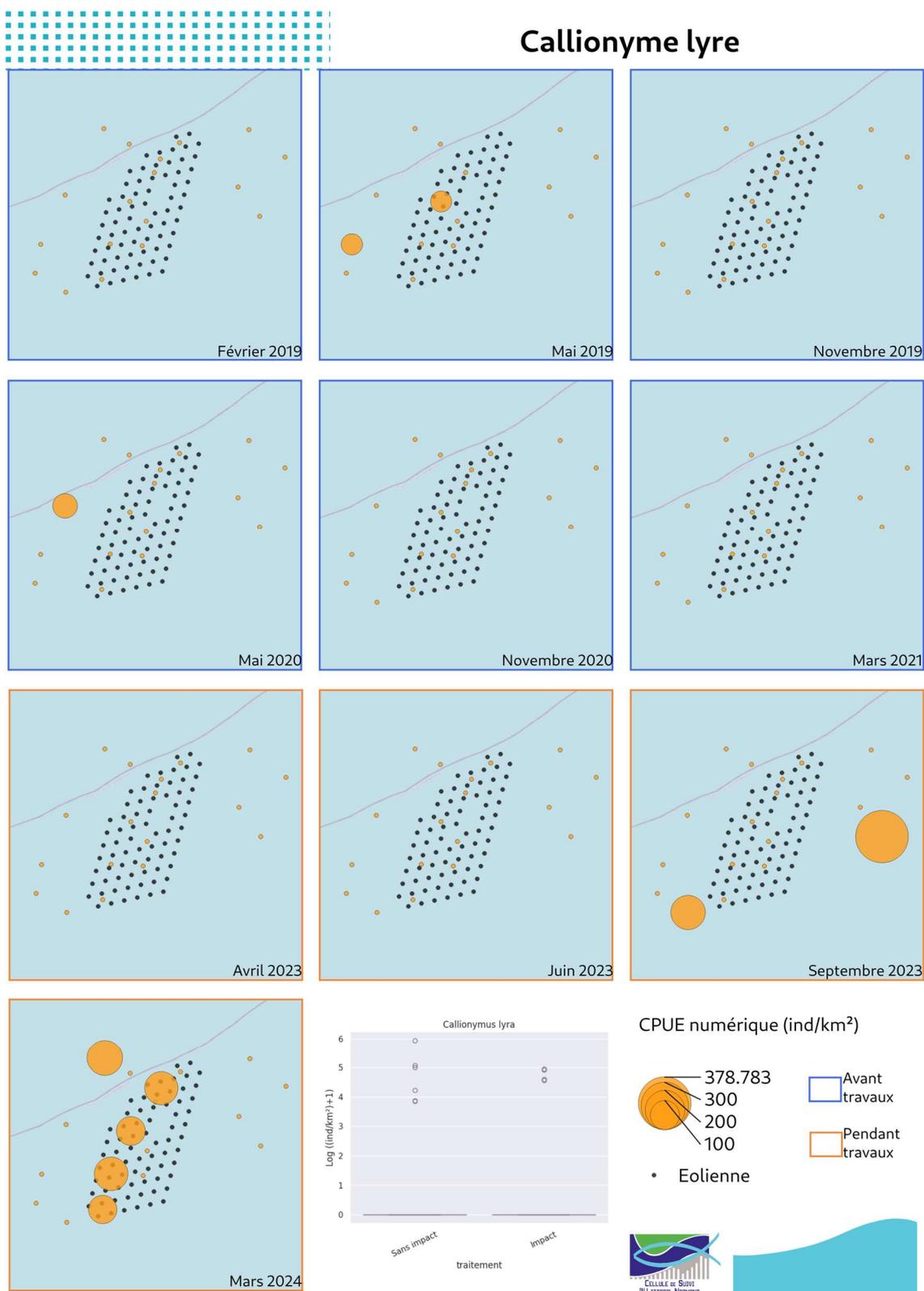


Figure 27 : Cartographies des CPUE numériques de callionyme lyre *C. lyra* réalisées lors des 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux. Le box plot sur les données logées présente les abondances pour les deux types de traitements « sans impact » et « impact ».

6.5.3.3 La dorade grise - *Spondyliosoma cantharus*

La dorade grise *S. cantharus* est un poisson grégaire benthodémersal vivant sur des fonds de 0 à 100 m de profondeur, soit à proximité du fond, soit en pleine eau. Il a pour substrat préférentiel les fonds sableux ou rocheux (Forest, 2001). Il a un régime alimentaire omnivore. Il est capable de s'adapter aux disponibilités du milieu (algues, crustacés, hydriaires, petits poissons, ...). La dorade grise est hermaphrodite protogynique (femelle pendant une partie de sa vie avant de devenir mâle). La taille de première maturité sexuelle est d'environ 20 cm (entre 2 et 4 ans pour les femelles, vers 7 et 8 ans pour les mâles) et ils peuvent mesurer jusqu'à 46 cm à 17 ans (Quéro et Vayne, 1997).

En Manche, la reproduction a lieu d'avril à septembre dans les eaux côtières. Ces poissons ont une ponte benthique : ils déposent leurs œufs dans des nids aux mois d'avril à mai en Manche. La larve est pélagique environ 2 mois avant de rejoindre les zones de nurseries dans les zones peu profondes (Carpentier et al. 2009). En ce qui concerne les pêcheries, la dorade grise est ciblée par les chalutiers pélagiques et constitue une espèce accessoire pour le chalutage de fond, côtier et hauturier (Forest, 2001). Sa taille de capture et de débarquement est fixée à 23 cm.

Cette espèce est bien représentée sur l'aire d'étude. Plus fréquente au cours de la deuxième année d'état de référence et de la phase travaux (Focc% > 70%), elle est capturée en moyenne avec une abondance de 972 ± 2187 ind./km². Le maximum d'abondance est identifié en septembre 2023 avec 6938 ± 2419 ind./km² capturés en moyenne, les minimas sont surtout identifiés en hiver (Figure 28).

Les cartographies ne font pas apparaître de schéma de répartition spatiale particulier. Elles font ressortir les fortes captures de septembre 2023, à l'intérieur et à l'extérieur de la zone impactée par les travaux (Figure 30).

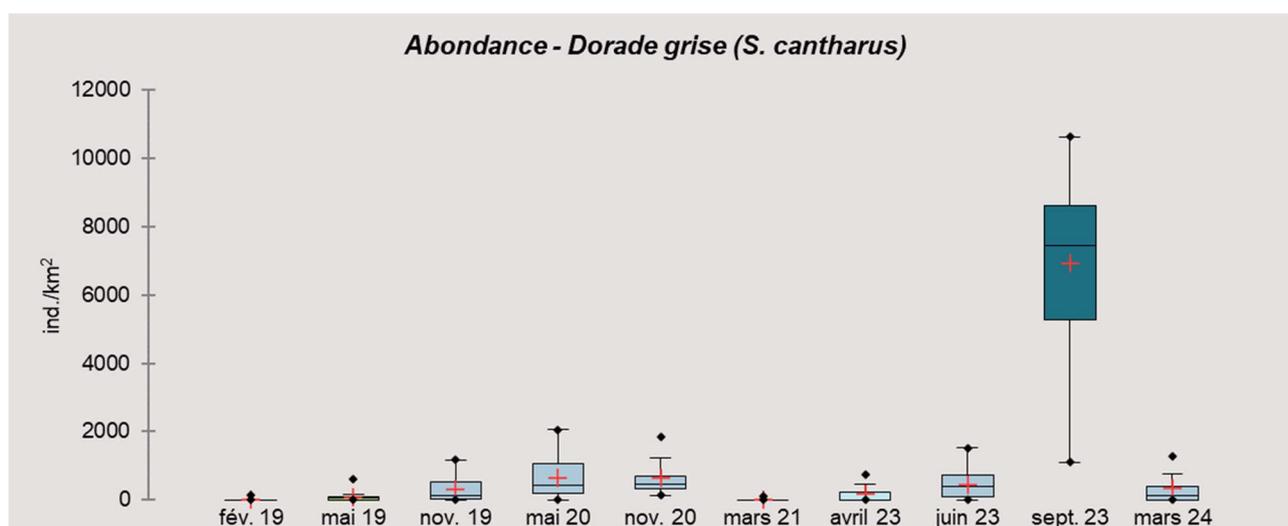


Figure 28 : Box plot des Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de dorade grise *S. cantharus* par campagne sur la période 2019-2024 au sein de l'aire d'étude. Le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives, le bleu moyen les valeurs intermédiaires (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$).

De L'analyse par Permanova (Tableau 17) ressort une réponse positive des abondances de dorade grise sous l'influence des travaux et de la saison. L'interaction saison/travaux est également significative ($p = 0,001$). Avec un R² à 0,349, l'effet saisonnier reste prédominant.

Tableau 17 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques de dorade grise entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil GranulatsShinny développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,028	0,045	17,142	0,001	***
Saison	2	0,217	0,349	65,824	0,001	***
Saison:Travaux	2	0,094	0,152	28,626	0,001	***
Residuals	171	0,282	0,454			
Total	176	0,622	1,000			

Signif. codes: 0 < '****' ≤ 0.001 < '***' ≤ 0.01 < '**' ≤ 0.05 < '.' ≤ 0.1 < ' ' ≤ 1

La significativité de l'effet saison peut être expliquée par les variations d'abondance annuelles de l'espèce qui semble plus abondante sur le site en saison chaude de mai à septembre.

Concernant l'effet des travaux, il existe une différence d'abondance de dorade grise en fonction du traitement uniquement pour les campagnes d'automne (Figure 29). En allant un peu plus loin dans l'analyse, il existe une différence significative entre les abondances de cette espèce en novembre (campagnes de l'état de référence) et en septembre (phase travaux). En revanche en septembre, il n'existe pas de différences d'abondances entre les stations non soumises aux travaux et l'intérieur du parc (impact). Il est alors difficile de conclure à un effet avéré des travaux sur les abondances de dorade grise, qui semble plutôt biaisé par le décalage temporel des campagnes d'automnes.

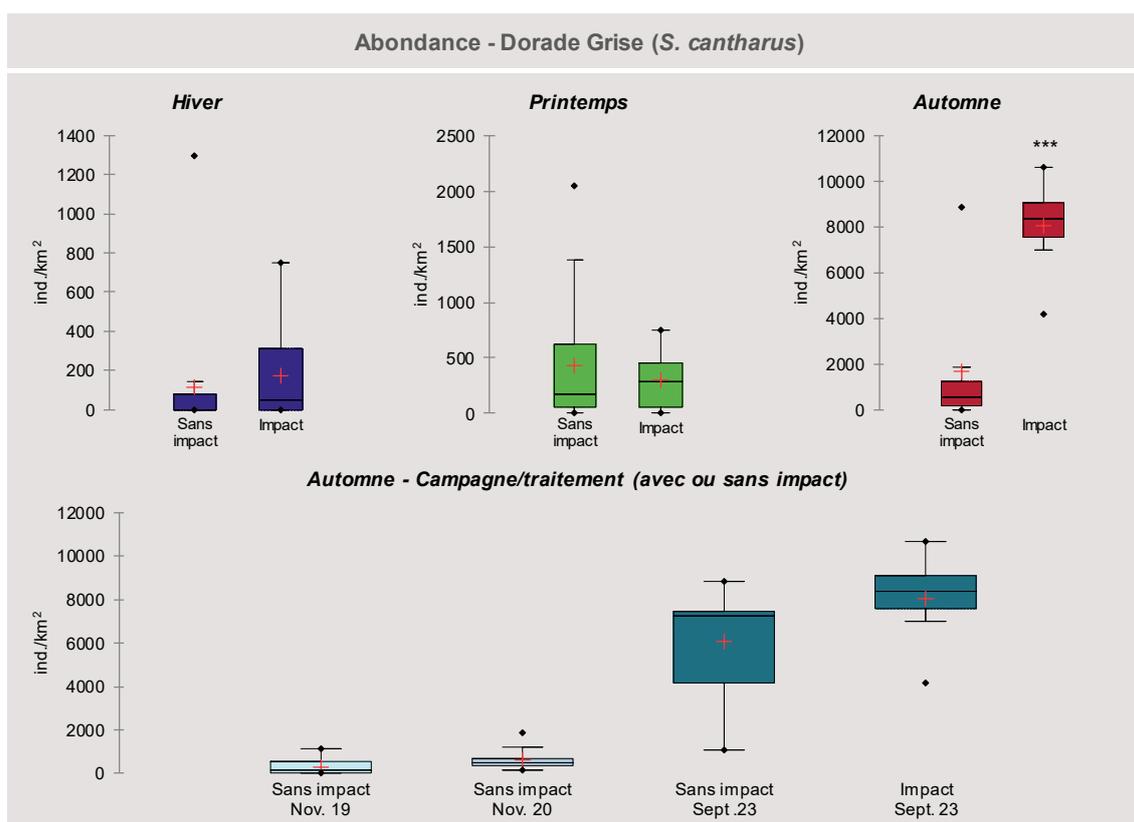


Figure 29 : Box plot des abondances en Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de dorade grise ; En haut : par campagnes saisonnières et traitement. Les étoiles représentent le niveau de significativité du test de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) appliqués aux données avec $p \leq 0.001$ '****'; $p \leq 0.01$ '***'; $p \leq 0.05$ '**'; En bas : détail des campagnes d'automnes, le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$). Les données « sans impact » incluent toutes les stations de 2019 à 2021 + stations de références en 2023-2024 et « impact » correspond aux stations à l'intérieur du parc en phase travaux (2023-2024).

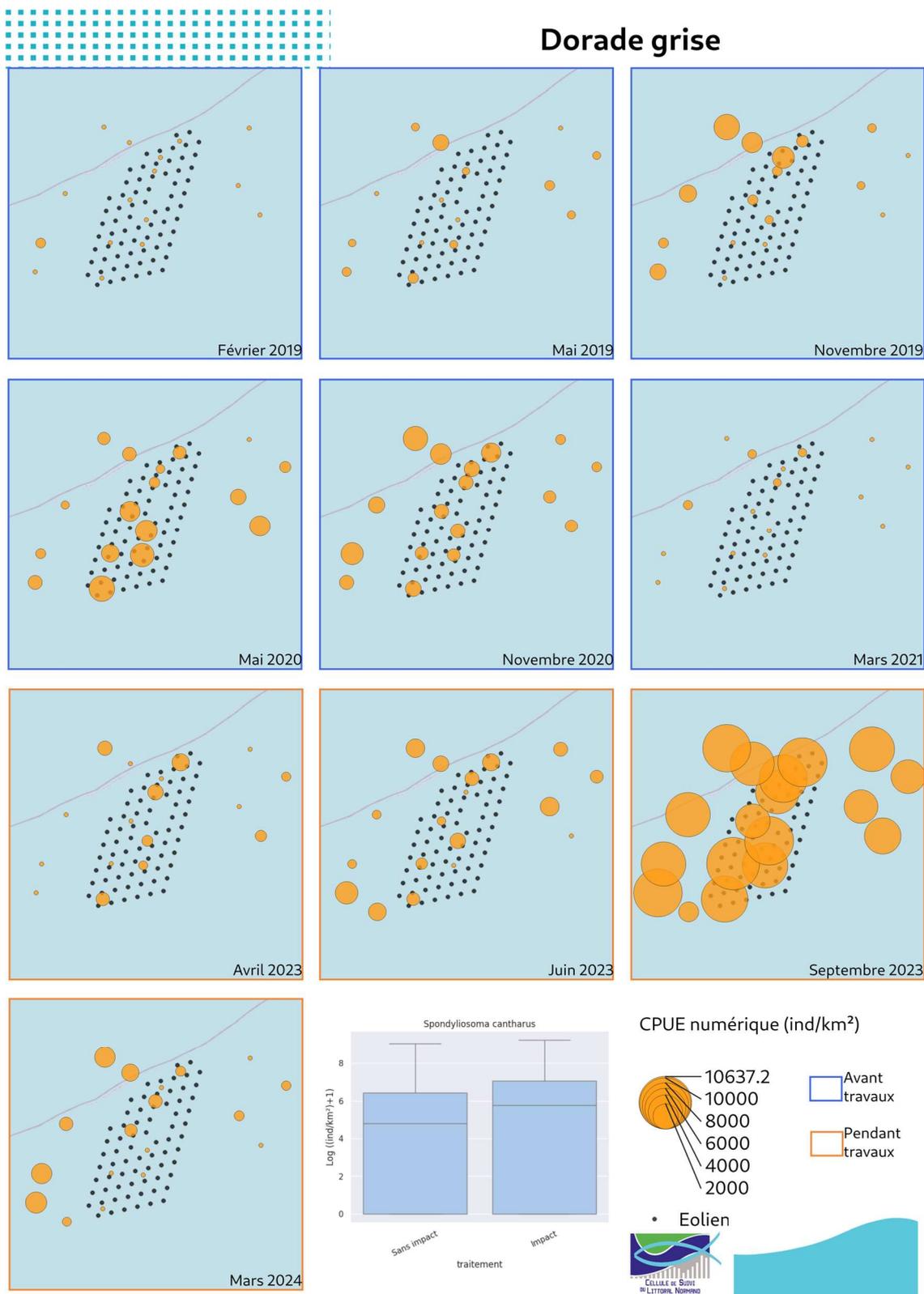


Figure 30 : Cartographies des CPUE numériques de dorade grise *S. cantharus* réalisés lors des 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux. Le box plot sur les données logées présente les abondances pour les deux types de traitements « sans impact » et « impact ».

6.5.3.4 L'émissole tachetée – *Mustellus asterias*

L'émissole tachetée *M. asterias* vit principalement près du fond cherchant les zones vaseuses, sablo-vaseuses et les herbiers. Elle vit de la zone côtière (-5m) à 180 m de profondeur. Elle acquiert sa maturité sexuelle vers 90 cm pour les mâles et 1 m pour les femelles qui sont vivipares. Jeunes, elles se nourrissent principalement de crustacés, adultes de poissons (Quéro & Wayne, 1997). Bien que leur chair soit appréciée dans certaines régions comme en Normandie, leur importance économique est minime. Elle fait partie des captures accessoires au chalut (Quéro & Wayne, 1997).

Ce petit requin voit sa fréquence augmenter progressivement sur le site entre 2019 et 2024, passant d'occasionnelle dans les captures la première année (42%) à constante (83%) en 2023-2024. Son abondance moyenne est de 246 ± 377 ind./km² avec un variabilité saisonnière importante. Les fortes abondances se concentrent à partir du milieu de printemps et jusqu'en fin été (saison chaude) avec un maximum de 590 ± 422 ind./km² en mai 2020 (Figure 31). Au niveau spatial, aucun schéma de répartition ne peut être défini (Figure 33).

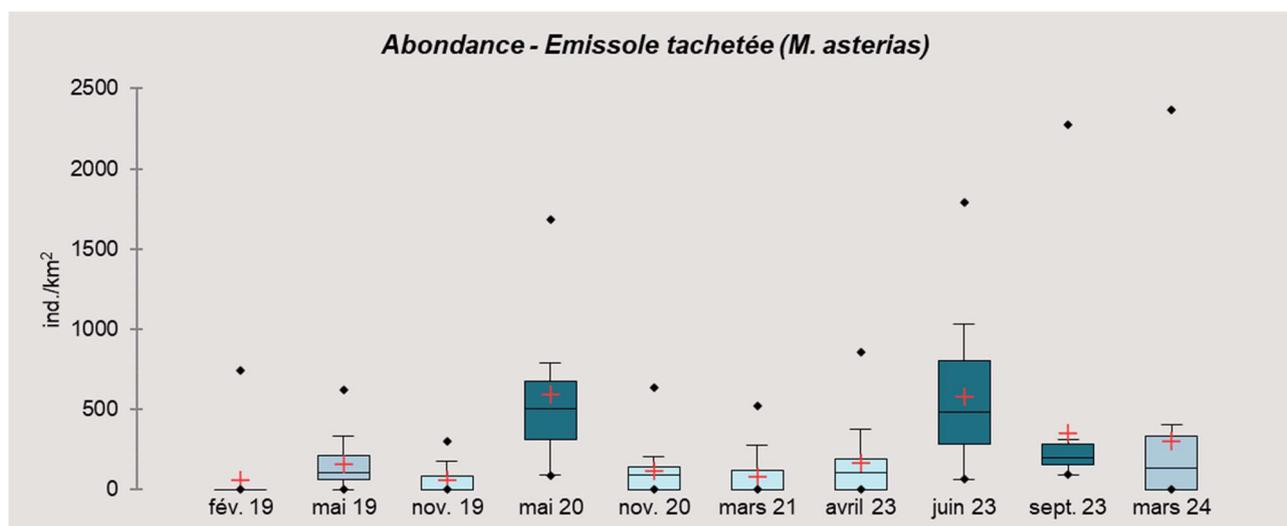


Figure 31 : Box plot des Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) d'émissole tachetée *M. asterias* par campagne sur la période 2019-2024 au sein de l'aire d'étude. Le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives, le bleu moyen les valeurs intermédiaires (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$).

La permanova (Tableau 18) fait ressortir l'influence importante de la saison sur les variations annuelles et interannuelles d'abondance d'émissole tachetée au sein de l'aire d'étude ($p = 0,001$). Elle met aussi en évidence de manière significative l'effet des travaux, l'espèce semblant être légèrement mieux représentée et/ou plus fréquente dans le parc en phase travaux.

Tableau 18 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques d'émissole tachetée entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil GranulatsShinny développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,011	0,023	5,399	0,023	*
Saison	2	0,106	0,229	26,518	0,001	***
Saison:Travaux	2	0,001	0,002	0,216	0,808	
Residuals	171	0,345	0,748			
Total	176	0,461	1,000			

Signif. codes: 0 < '****' ≤ 0.001 < '***' ≤ 0.01 < '**' ≤ 0.05 < '.' ≤ 0.1 < ' ' ≤ 1

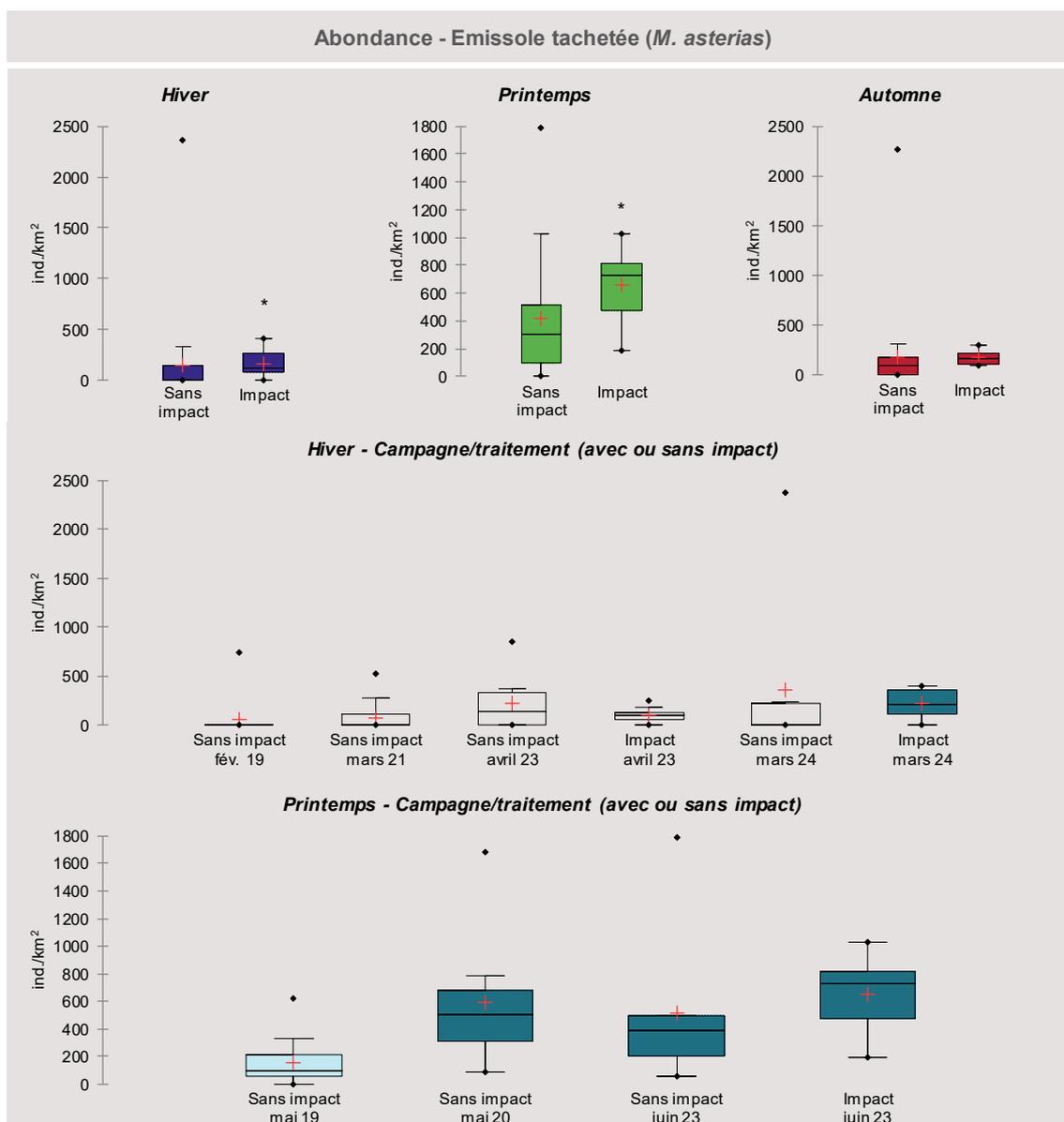


Figure 32 : Box plot des abondances en Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) d'émissole tachetée ; En haut : par campagnes saisonnières et traitement. Les étoiles représentent le niveau de significativité du test de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) appliqués aux données avec $p \leq 0.001$ **** ; $p \leq 0.01$ *** ; $p \leq 0.05$ * ; Au centre : détail des campagnes d'hiver ; En bas : détail des campagnes de printemps, le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$). Les données « sans impact » incluent toutes les stations de 2019 à 2021 + stations de références en 2023-2024 et « impact » correspond aux stations à l'intérieur du parc en phase travaux (2023-2024).

Les tests saisonniers indiquent des abondances d'émissole plus fortes pour les stations impacts en hiver et au printemps (Figure 32). Le détail par campagne/traitement pour l'hiver et le printemps suggère qu'il s'agirait plutôt d'une augmentation globale et progressive des abondances d'émissole sur l'ensemble du site entre 2019 et 2024. Les moyennes maximales sont bien relevées sur les stations à l'intérieur du parc en mars 2024 et juin 2023 mais elles ne diffèrent pas significativement de celles de la partie non impactée. Les données pour le traitement « impact » ne prenant en compte qu'une année de donnée (ou 1 à 2 campagnes par saison), il paraît difficile de conclure sur un effet avéré des travaux.

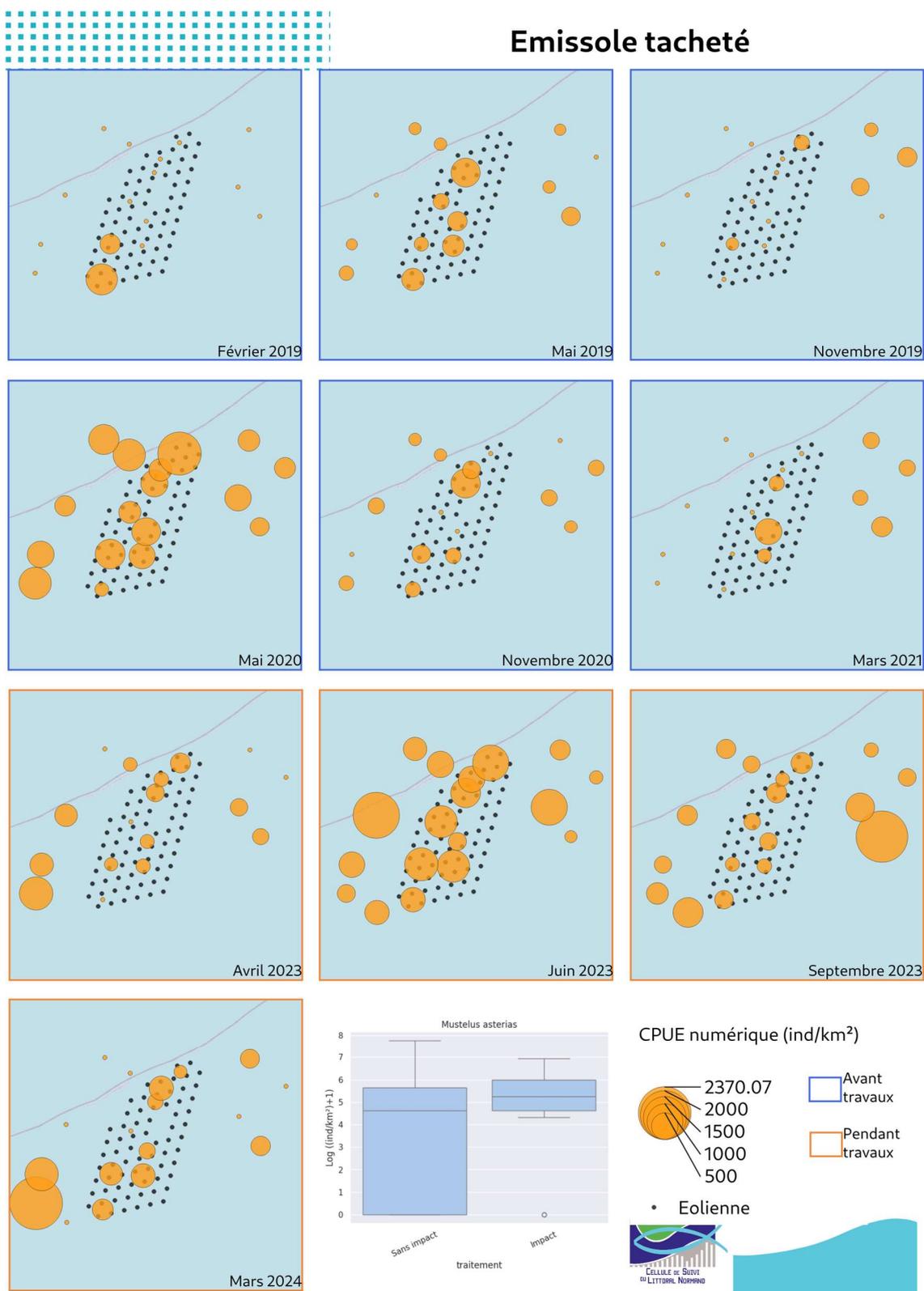


Figure 33 : Cartographies des CPUE numériques d'émissole tachetée *M. asterias* réalisés lors des 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux. Le box plot sur les données logées présente les abondances pour les deux types de traitements « sans impact » et « impact ».

6.5.3.5 L'encornet – *Loligo vulgaris*

L'encornet *L. vulgaris* est un céphalopode semi-pélagique vivant en bancs près du fond mais pouvant chasser en pleine eau. Il se nourrit de poissons, crustacés et polychètes. En Manche, la reproduction a principalement lieu au printemps dans les eaux côtières. La femelle pond des cartouches gélatineuses contenant les œufs qui sont collées à des substrats solides. Le recrutement en Manche intervient en fin d'été début d'automne (Carpentier et al, 2009).

Ce céphalopode, commun sur le site, est capturé avec une abondance moyenne de 298 ± 579 ind./km². Très abondant en automne (novembre), il est absent au printemps et moins bien représenté le reste de l'année sur la zone d'étude. Son pic d'abondance est enregistré en novembre 2019 avec une moyenne de 1530 ± 964 ind./km² (Figure 34 et Figure 36).

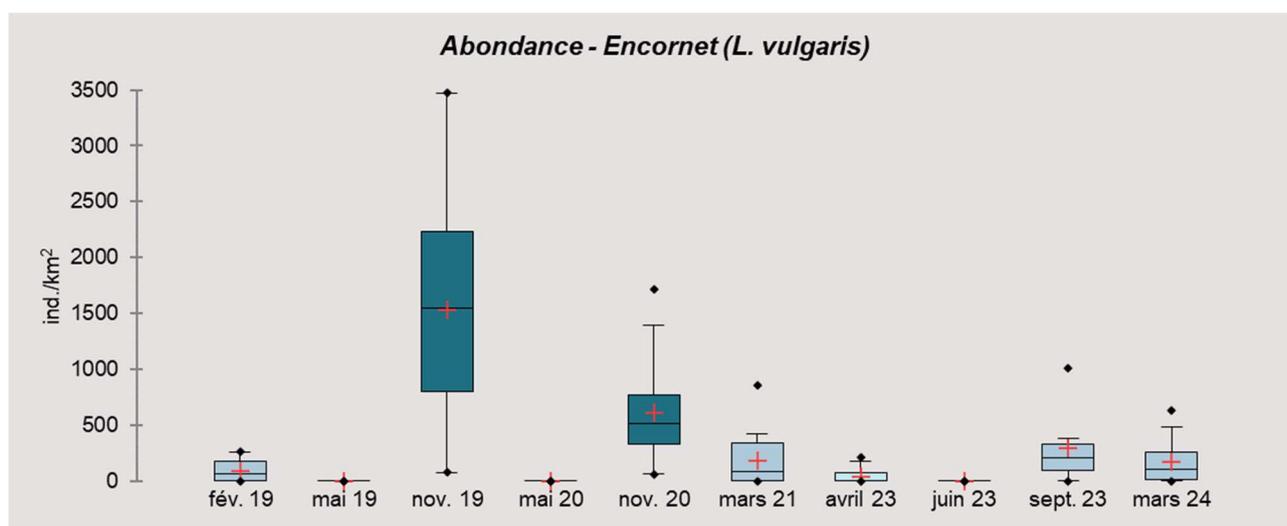


Figure 34 : Box plot des Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind/km²) d'encornet *L. vulgaris* par campagne sur la période 2019-2024 au sein de l'aire d'étude. Le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives, le bleu moyen les valeurs intermédiaires (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$).

La permanova (Tableau 19) fait ressortir l'influence importante de la saison sur les variations d'abondance d'encornet au sein de l'aire d'étude ($p = 0,001$). Elle suggère également un effet des travaux avec des abondances moindres pour le traitement impact.

Tableau 19 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques d'encornet entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil GranulatsShinny développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,008	0,014	5,618	0,021	*
Saison	2	0,325	0,529	109,914	0,001	***
Saison:Travaux	2	0,028	0,045	9,425	0,001	***
Residuals	171	0,253	0,412			
Total	176	0,614	1,000			

Signif. codes: 0 < '***' ≤ 0.001 < '**' ≤ 0.01 < '*' ≤ 0.05 < '.' ≤ 0.1 < ' ' ≤ 1

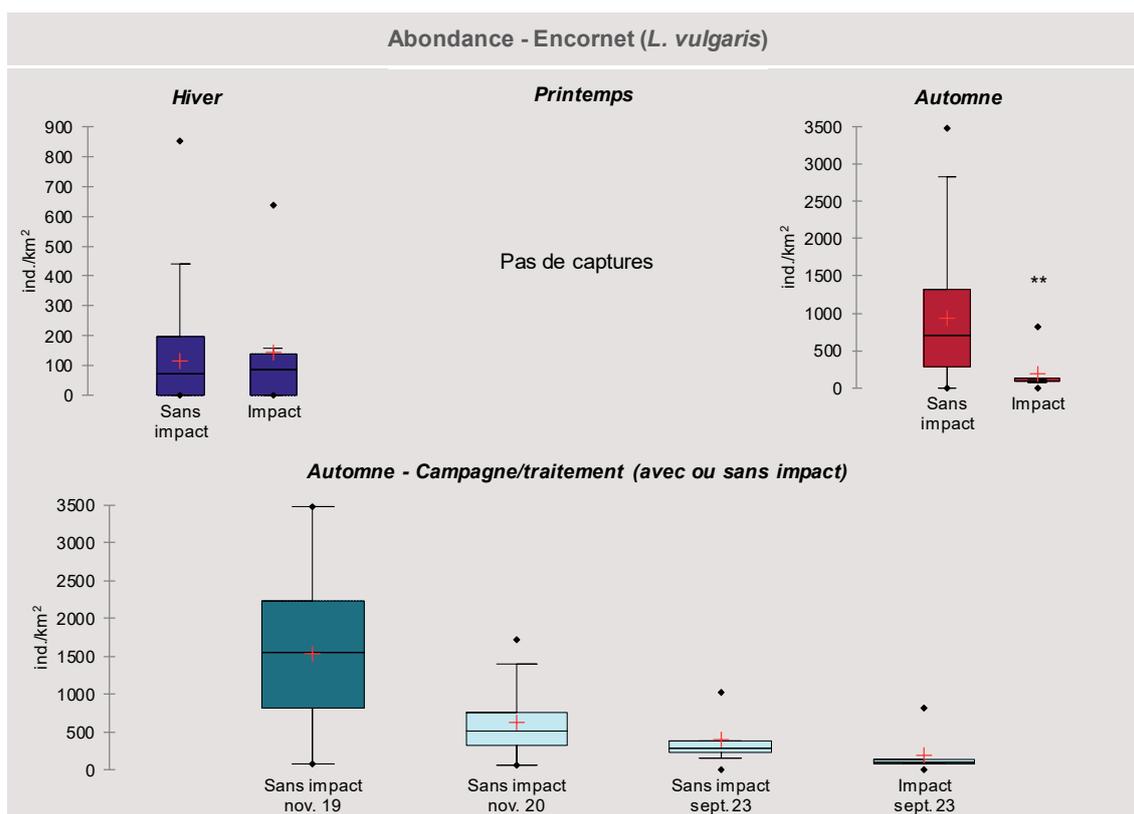


Figure 35 : Box plot des abondances en Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) d'encornet ; En haut : par campagnes saisonnières et traitement. Les étoiles représentent le niveau de significativité du test de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) appliqués aux données avec $p \leq 0,001$ '***' ; $p \leq 0,01$ '**' ; $p \leq 0,05$ '*'. En bas : détail des campagnes d'automne, le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$). Les données « sans impact » incluent toutes les stations de 2019 à 2021 + stations de références en 2023-2024 et « impact » correspond aux stations à l'intérieur du parc en phase travaux (2023-2024).

La différence d'abondance la plus importante entre les traitements est relevée en automne (Figure 35). Le détail par campagne montre que la campagne de novembre 2019 se distingue significativement des autres quel que soit le traitement alors que les données relevées en novembre 2020 et septembre 2023 (avec et sans impact) semblent du même ordre de grandeur. Le niveau de capture exceptionnel en novembre 2019 est susceptible de biaiser l'interprétation des résultats en termes d'effet des travaux. Les résultats de la permanova doivent être relativiser et consolider par l'analyse des résultats des futures campagnes. Ici encore il est difficile de statuer avec une seule année de donnée pour la phase travaux.

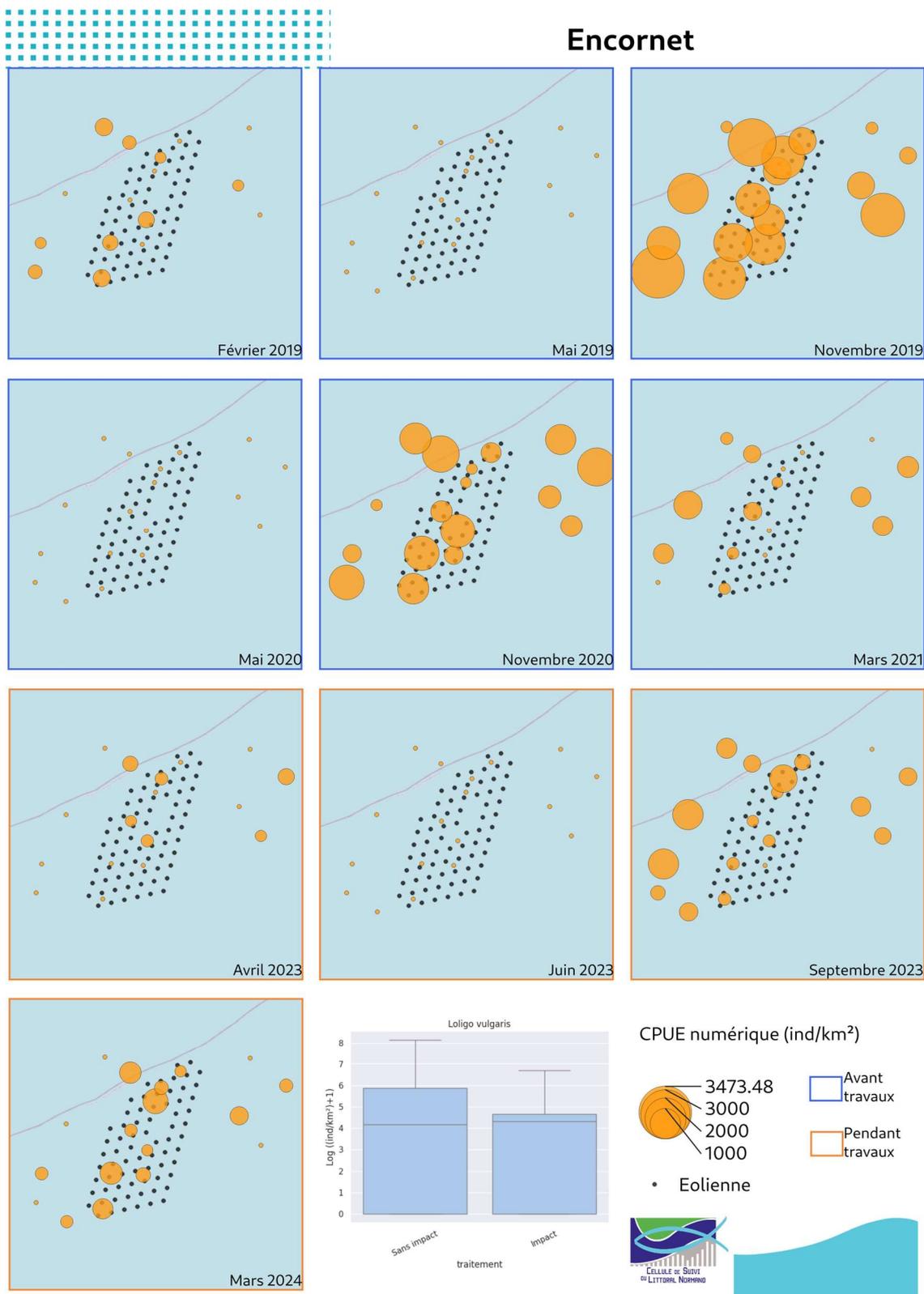


Figure 36 : Cartographies des CPUE numériques d'encornet *L. vulgaris* réalisés lors des 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux. Le box plot sur les données logées présente les abondances pour les deux types de traitements « sans impact » et « impact ».

6.5.3.6 Le grondin rouge - *Chelidonichtys cuculus*

Les grondins rouges font partie des espèces de grondins les plus fréquentes et abondantes dans les captures. L'espèce n'est pas restreinte à un type sédimentaire particulier et évolue entre 25 et 200 m de profondeur. Il se nourrit essentiellement de petits crustacés lorsqu'il est juvénile et passe progressivement en grandissant à un régime mixte (crustacés, gobies et callionymes). En Manche, il se reproduit d'avril à août. L'âge et la taille à maturité se situent vers 3-4 ans et 25 à 30 cm. Cette espèce n'est régie par aucune réglementation particulière.

Espèce constante dans les captures sur le site d'étude, le grondin rouge est capturé avec une moyenne de 411 ± 579 ind./km². Le maximum d'abondance est relevé en septembre 2023 avec 1570 ± 847 ind./km² en moyenne. Il semble mieux capturé en fin de printemps/été et début d'automne (Figure 37). Les cartographies page suivante ne font pas ressortir de schéma de répartition spatiale.

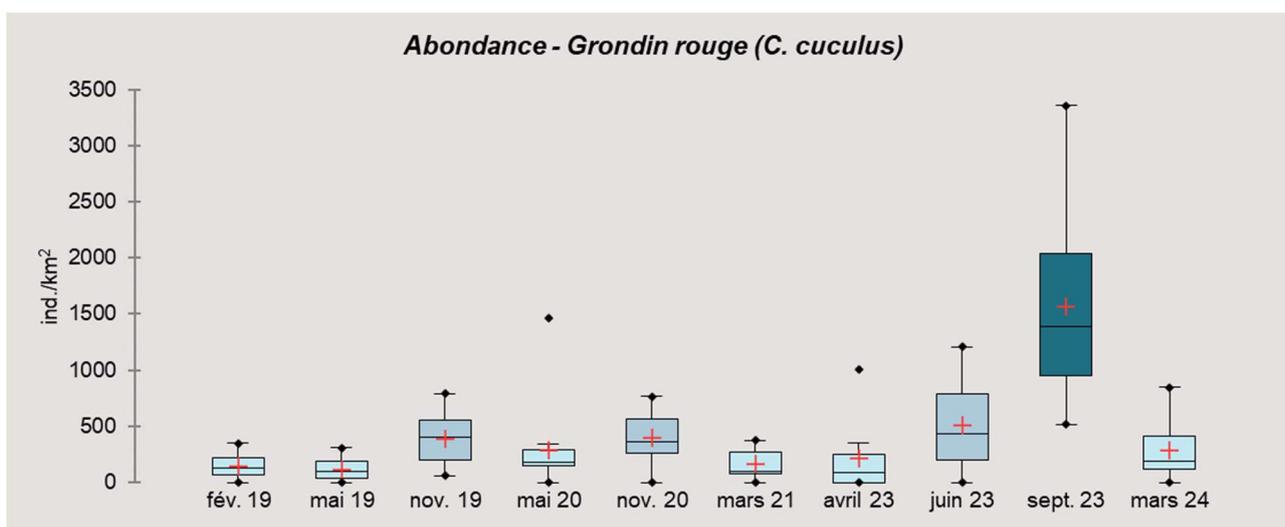


Figure 37 : Box plot des Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de grondin rouge *C. cuculus* par campagne sur la période 2019-2024 au sein de l'aire d'étude. Le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives, le bleu moyen les valeurs intermédiaires (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$).

Les résultats de la permanova (Tableau 20) indique une réponse significative sur la partie impactée avec une abondance moyenne légèrement plus élevée de grondin dans le parc en phase de travaux. L'effet saison est également significatif, il reste le paramètre le plus structurant pour les abondances de grondin rouge ($R^2 = 0,280$).

Tableau 20 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques de grondin rouge entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil *GranulatsShinny* développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,012	0,038	10,164	0,003	**
Saison	2	0,087	0,280	37,879	0,001	***
Saison:Travaux	2	0,015	0,049	6,617	0,004	**
Residuals	171	0,195	0,633			
Total	176	0,309	1,000			

Signif. codes: 0 < '***' ≤ 0.001 < '**' ≤ 0.01 < '*' ≤ 0.05 < '.' ≤ 0.1 < ' ' ≤ 1

Les tests réalisés au niveau saisonnier indiquent des différences significatives entre les traitements pour le printemps et l'automne, avec une plus forte abondance au sein de la zone du parc (Figure 38). Le détail ne révèle toutefois pas de différences entre les stations sans impact et impact en juin 2023 et en septembre 2023. Les différences d'abondances observées semblent plutôt imputées aux décalages de périodes de prélèvements entre les états de référence et la phase travaux. L'espèce semble mieux capturée sur site en saison chaude, notons qu'il existe un différentiel de température non négligeable entre les campagnes de mai 2019/2020 et celle de juin 2023 (+2°C) et entre novembre 2019/2020 et septembre 2023 (+5°C).

Les résultats quant aux effets des travaux restent donc à consolider par la suite.

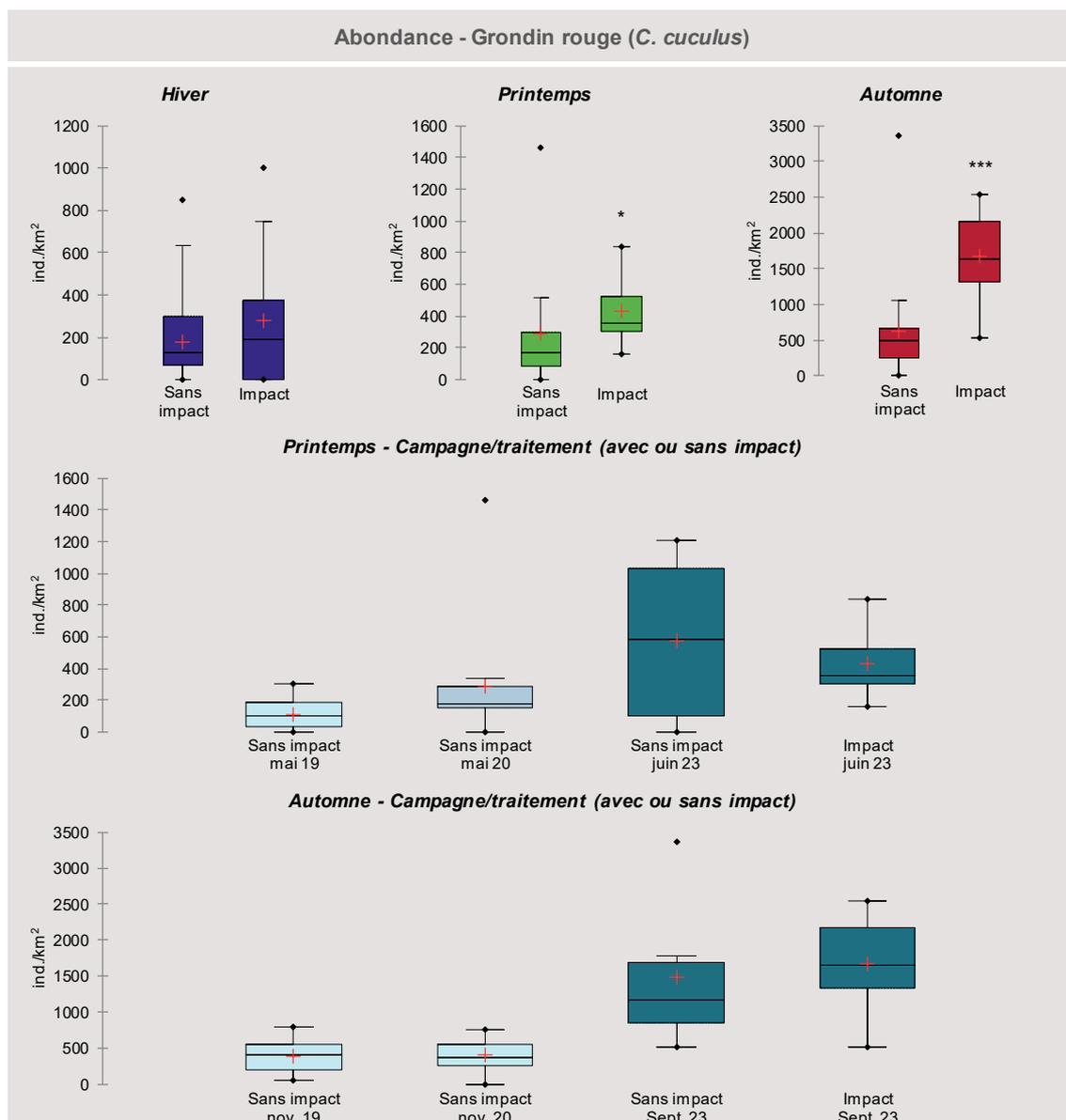


Figure 38 : Box plot des abondances en Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de grondin rouge ; En haut : par campagnes saisonnières et traitement. Les étoiles représentent le niveau de significativité du test de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) appliqués aux données avec $p \leq 0.001$ **** ; $p \leq 0.01$ *** ; $p \leq 0.05$ * ; Au centre : détail des campagnes de printemps ; En bas : détail des campagnes d'automne, le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$). Les données « sans impact » incluent toutes les stations de 2019 à 2021 + stations de références en 2023-2024 et « impact » correspond aux stations à l'intérieur du parc en phase travaux (2023-2024).

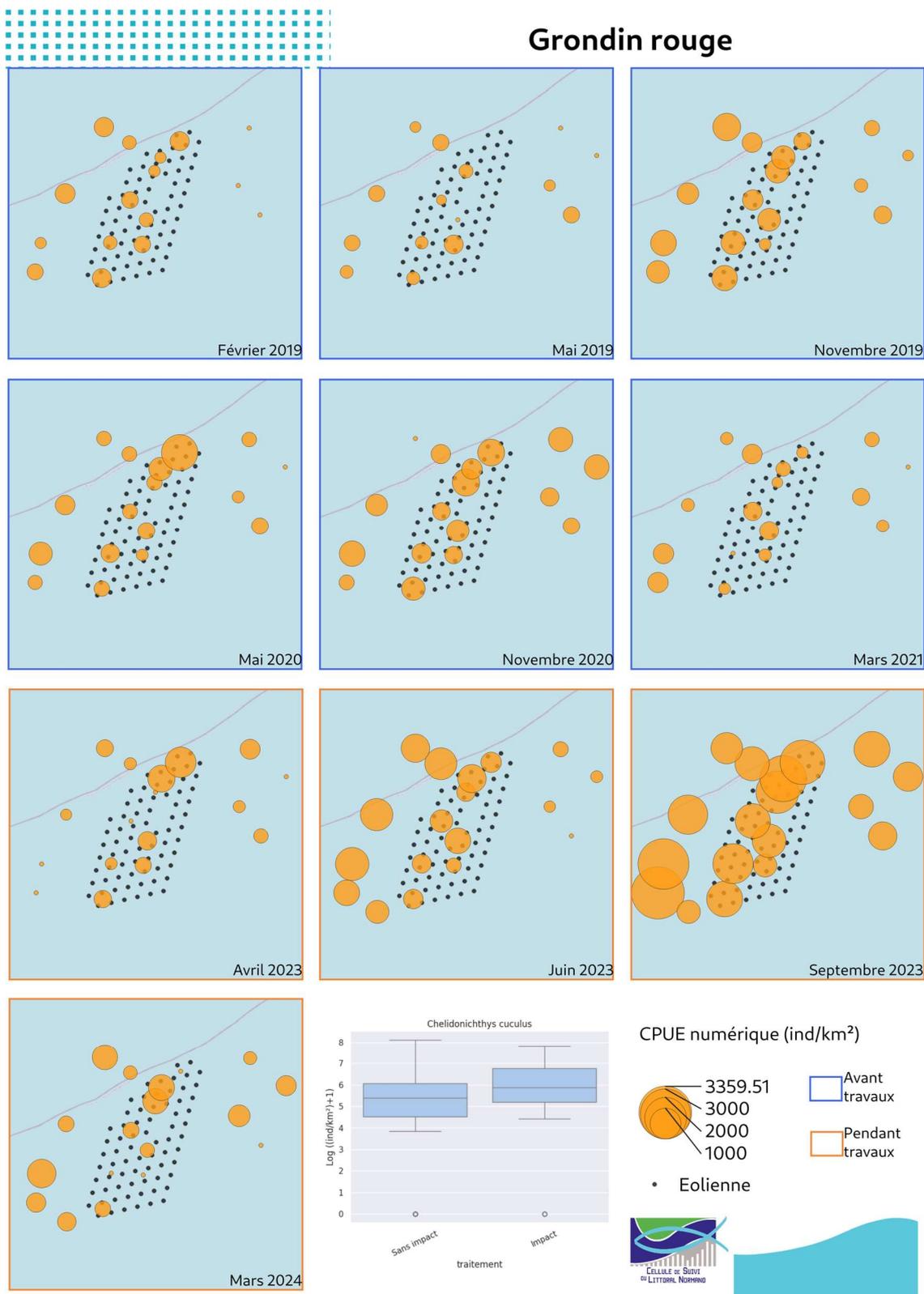


Figure 39 : Cartographies des CPUE numériques de grondin rouge *C. cuculus* réalisées lors des 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux. Le box plot sur les données logées présente les abondances pour les deux types de traitements « sans impact » et « impact ».

6.5.3.7 La petite roussette - *Scyliorhinus canicula*

La petite roussette compte parmi les espèces les plus fréquentes et abondantes dans les captures. Elles affectionnent les fonds de sables et de graviers. Cette espèce étant démersale, elle se nourrit principalement d'invertébrés benthiques tels que des mollusques, des crustacés, des vers et des petits poissons (Quéro et Vayne, 1997). La taille de première maturité sexuelle serait de 52 cm pour les mâles et de 55 cm pour les femelles, à l'âge d'un an. La reproduction a lieu de mai à septembre en Manche (Mahé et al. 2006). Ces poissons produisent des œufs à coque munie de filaments qui s'accrochent au substrat (algues, hydraires, roches, ...) lorsque les femelles s'y frottent (Quéro et Vayne, 1997). La petite roussette présente un intérêt commercial limité et est souvent capturée comme espèce accessoire par les chaluts de fond et les trémails (Carpentier et al. 2009).

Constante dans les captures, la petite roussette est capturée avec une abondance moyenne de 812 ± 1058 ind./km². Les plus fortes valeurs sont concentrées sur 2023 et 2024 (Figure 40) avec un maximum lors de la dernière campagne de mars (2672 \pm 1453 ind./km²). L'étude des cartographies (Figure 42) fait ressortir ce constat avec une augmentation d'abondance sur l'ensemble du site depuis avril 2023. Les maximas étant localisés à l'extérieur du parc.

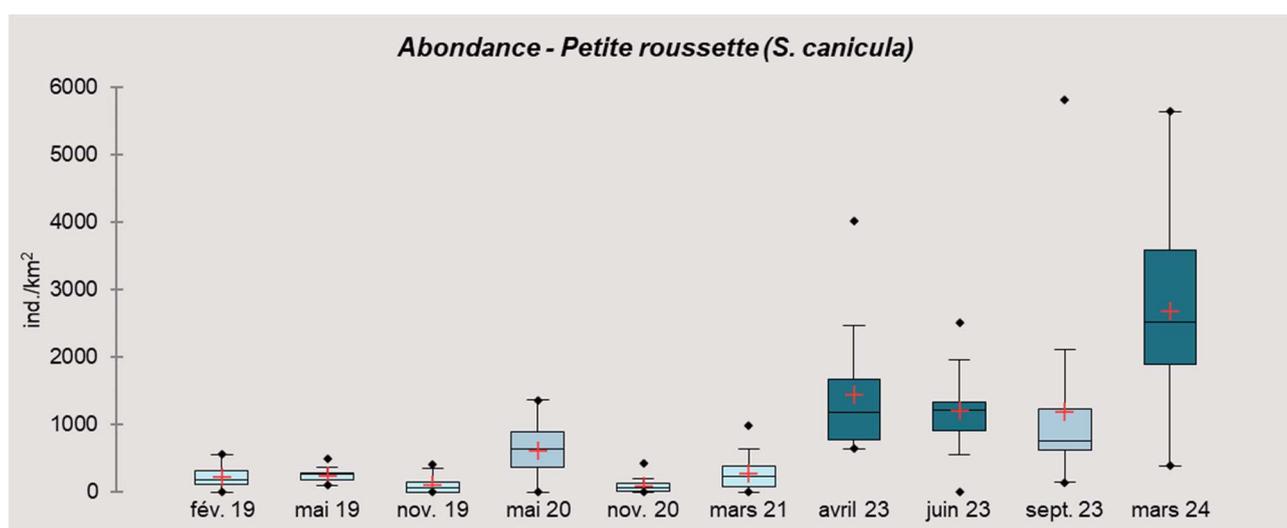


Figure 40 : Box plot des Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de petite roussette *S. canicula* par campagne sur la période 2019-2024 au sein de l'aire d'étude. Le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives, le bleu moyen les valeurs intermédiaires (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$).

La permanova (ci-dessous) indique une réponse significative sur la partie impactée par les travaux et un effet saison non négligeable. L'espèce semble légèrement mieux capturée à l'intérieur du parc en phase travaux.

Tableau 21 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques de petite roussette entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil GranulatsShinny développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,033	0,100	21,084	0,001	***
Saison	2	0,029	0,088	9,341	0,001	***
Saison:Travaux	2	0,001	0,004	0,376	0,691	
Residuals	171	0,270	0,808			
Total	176	0,333	1,000			

Signif. codes: 0 < '****' ≤ 0.001 < '***' ≤ 0.01 < '**' ≤ 0.05 < '.' ≤ 0.1 < ' ' ≤ 1

La différence de traitement est significative quel que soit la saison considérée (Figure 41). En revanche la comparaison des données impact/sans impact à l'échelle d'une campagne ne fait ressortir aucune différence significative des abondances de petite roussette. L'évolution à la hausse des abondances sur l'ensemble du site depuis avril 2023 ne semble pas être directement reliée à un impact des travaux. Elle s'inscrit dans un phénomène plus global observé à plus large échelle sur d'autre site d'étude en Manche et est également constatée par les acteurs de la filière pêche.

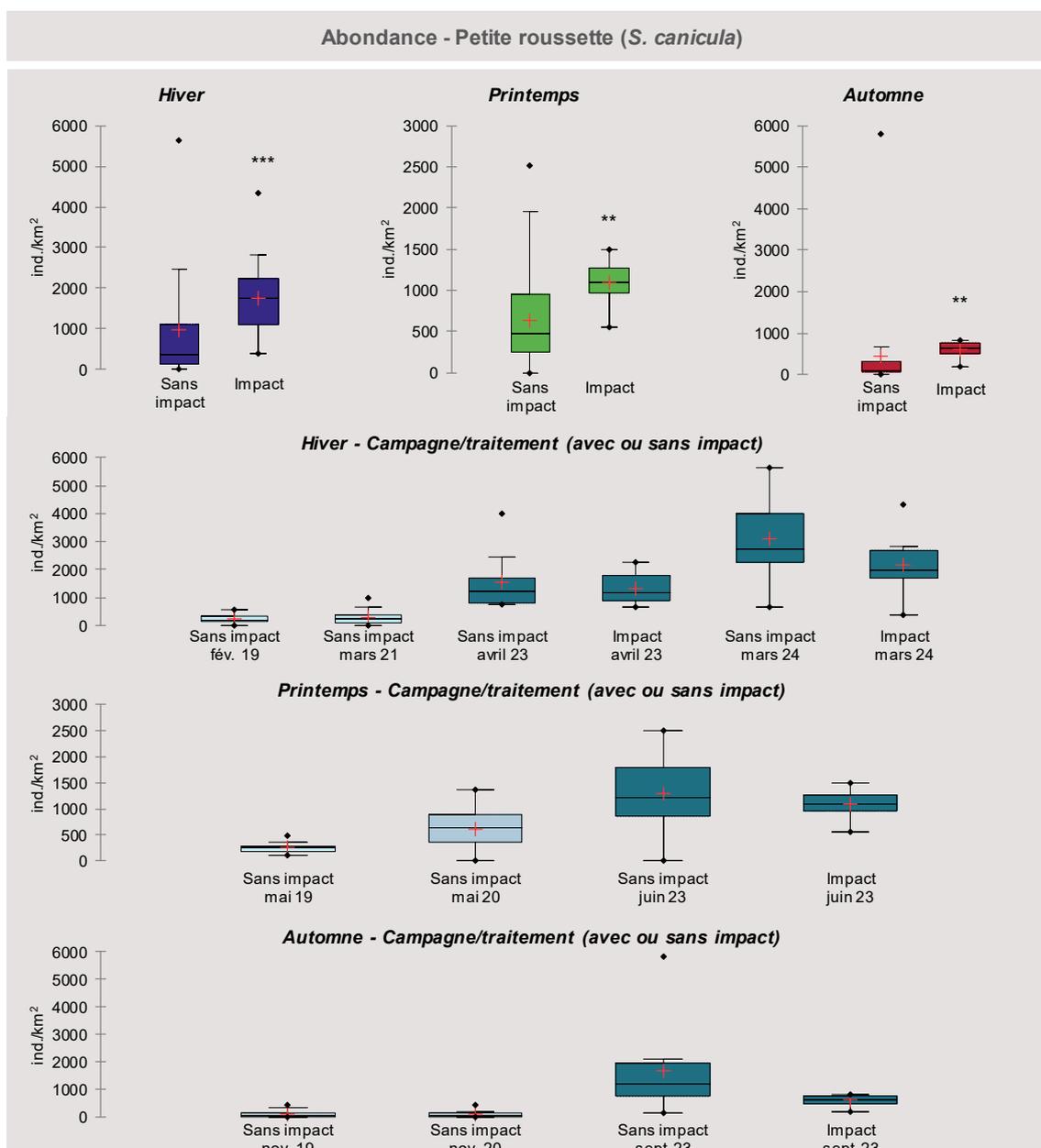


Figure 41 : Box plot des abondances en Captures par Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de petite roussette ; En haut : par campagnes saisonnières et traitement. Les étoiles représentent le niveau de significativité du test de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) appliqués aux données avec $p \leq 0.001$ '****' ; $p \leq 0.01$ '***' ; $p \leq 0.05$ '*'; En bas : détail des campagnes/traitement, le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$). Les données « sans impact » incluent toutes les stations de 2019 à 2021 + stations de références en 2023-2024 et « impact » correspond aux stations à l'intérieur du parc en phase travaux (2023-2024).

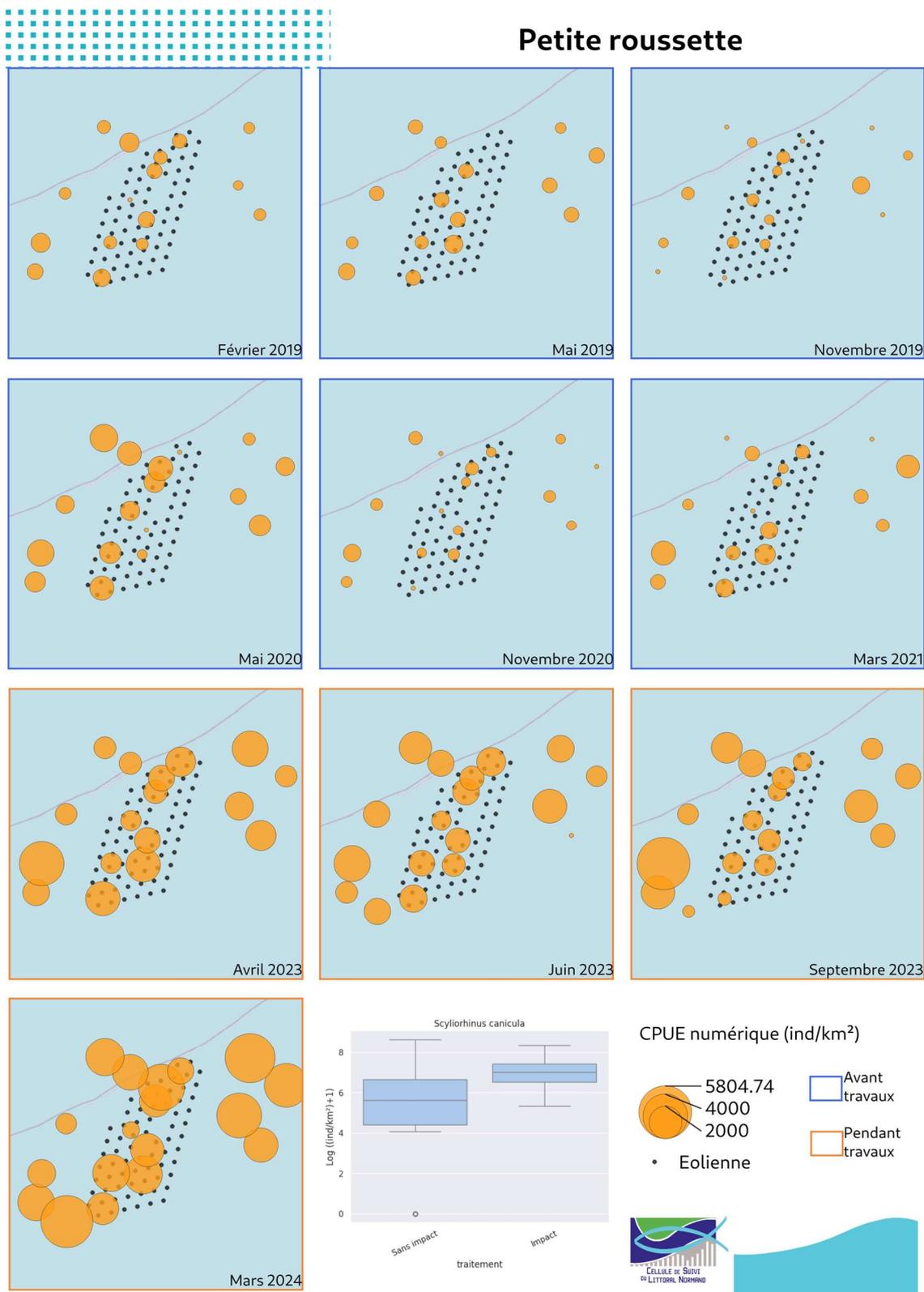


Figure 42 : Cartographies des CPUE numériques de petite roussette *S. canicula* réalisés lors des 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux. Le box plot sur les données logées présente les abondances pour les deux types de traitements « sans impact » et « impact ».

6.5.3.8 La raie brunette – *Raja undulata*

Les deux espèces les plus capturées sur la zone d'étude sont la raie bouclée et la raie brunette. La raie brunette *R. undulata* est une espèce démersale vivant de la côte à une centaine de mètres de profondeur, préférentiellement sur les substrats sableux. Son régime alimentaire est surtout composé de crustacés dont de nombreux mysidacés, des caridés et quelques crabes (*Liocarcinus* spp.). Elle mange aussi des poissons (gobiidés). L'interdiction de pêche de la raie brunette a été levée début 2014. Sa capture n'est pas encore réglementée.

Occasionnelle à commune sur le site lors des états de référence, elle devient rare sur la période 2023-2024. Elle est capturée en moyenne avec une abondance de 38 ± 69 ind./km² avec un maximum relevé en mai 2020 (135 ± 108 ind./km²). Spatialement, il n'est pas évident de définir un schéma de répartition sur la zone d'étude (Figure 45) cependant l'espèce semble mieux capturée sur l'extérieur du parc à partir d'avril 2023.

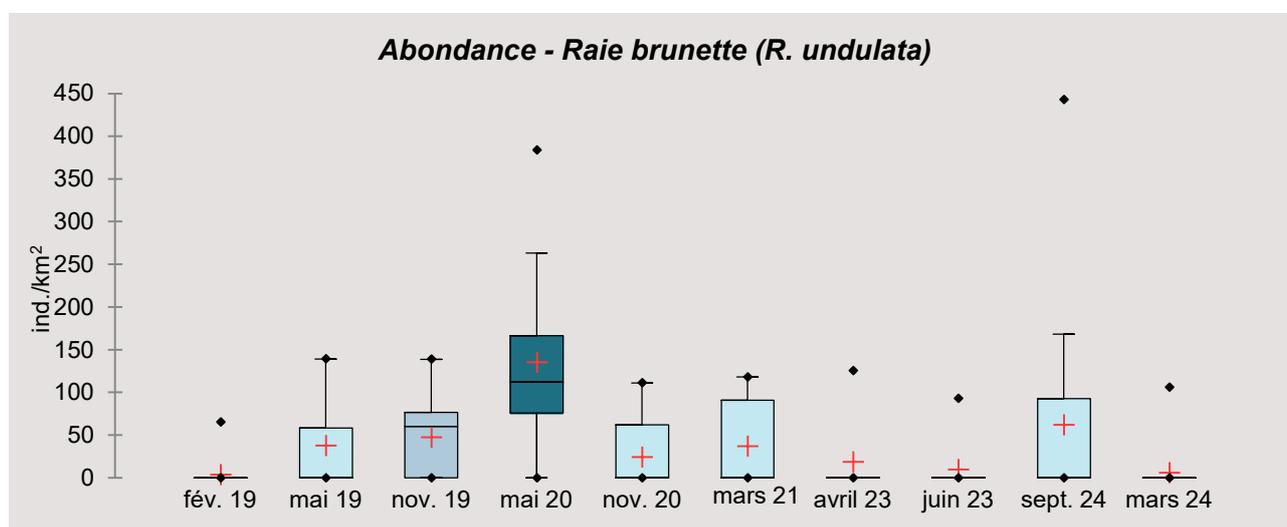


Figure 43 : Box plot des Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de raie brunette *R. undulata* par campagne sur la période 2019-2024 au sein de l'aire d'étude. Le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives, le bleu moyen les valeurs intermédiaires (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$).

Les résultats (Tableau 22) mettent en avant un effet significatif de la saison et des travaux sur l'évolution de cette espèce au sein de l'aire d'étude avec la saisonnalité qui prédomine légèrement. Depuis avril 2023, l'espèce est capturée de manière plus ponctuelle à l'intérieur du parc, principalement sur les stations les plus périphériques.

Tableau 22 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques de raie brunette entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil *GranulatsShinny* développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,028	0,041	8,115	0,005	**
Saison	2	0,054	0,078	7,717	0,001	***
Saison:Travaux	2	0,008	0,012	1,147	0,316	
Residuals	171	0,596	0,869			
Total	176	0,686	1,000			

Signif. codes: 0 < '****' ≤ 0.001 < '***' ≤ 0.01 < '**' ≤ 0.05 < '.' ≤ 0.1 < ' ' ≤ 1

La différence de traitement est significative au printemps (Figure 44), elle semble principalement liée aux fortes captures réalisées en mai 2020.

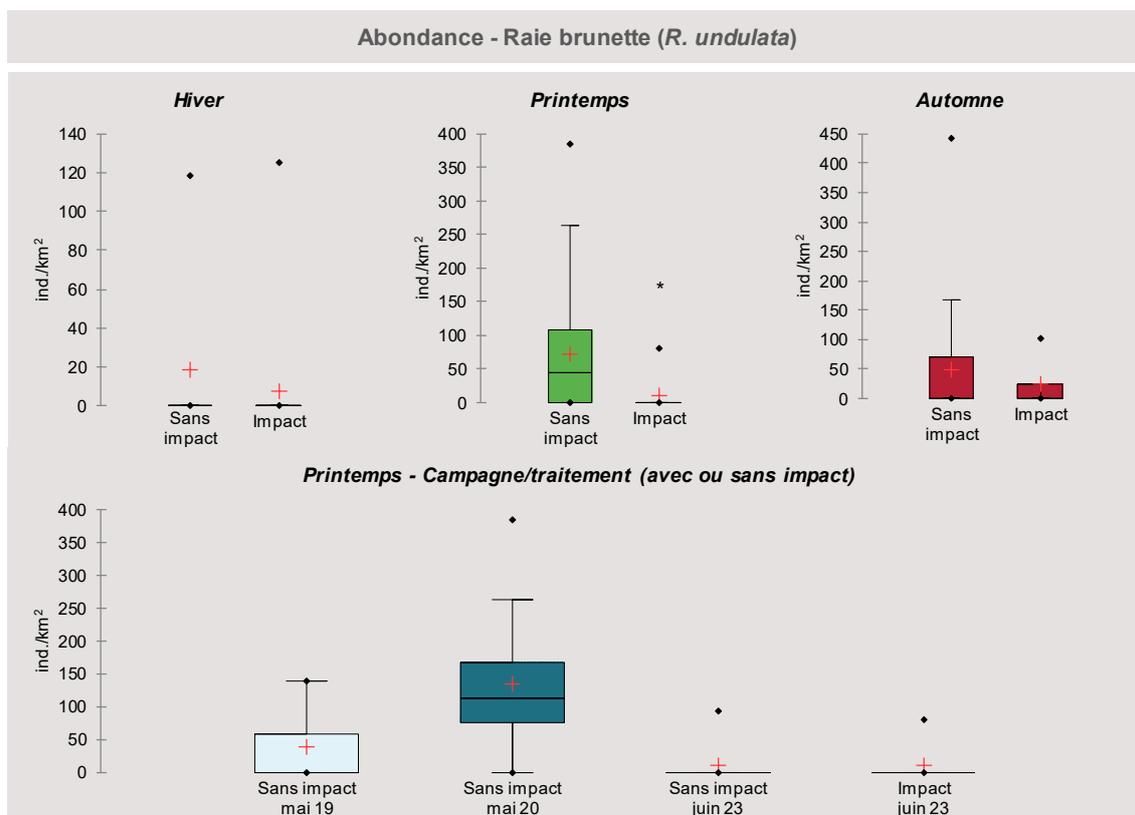


Figure 44 : Box plot des abondances en Captures pas Unité d'Effort (CPUE) numériques (ind./km²) de raie brunette ; En haut : par campagnes saisonnières et traitement. Les étoiles représentent le niveau de significativité du test de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) appliqués aux données avec $p \leq 0.001$ **** ; $p \leq 0.01$ *** ; $p \leq 0.05$ * ; En bas : détail des campagnes de printemps, le bleu foncé et le bleu clair représentent les différences significatives (test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$). Les données « sans impact » incluent toutes les stations de 2019 à 2021 + stations de références en 2023-2024 et « impact » correspond aux stations à l'intérieur du parc en phase travaux (2023-2024).

L'effet des travaux est à suivre pour cette espèce, en effet il est nécessaire de consolider les résultats par la suite, le nombre de données sur la phase travaux étant insuffisant pour établir des conclusions solides.

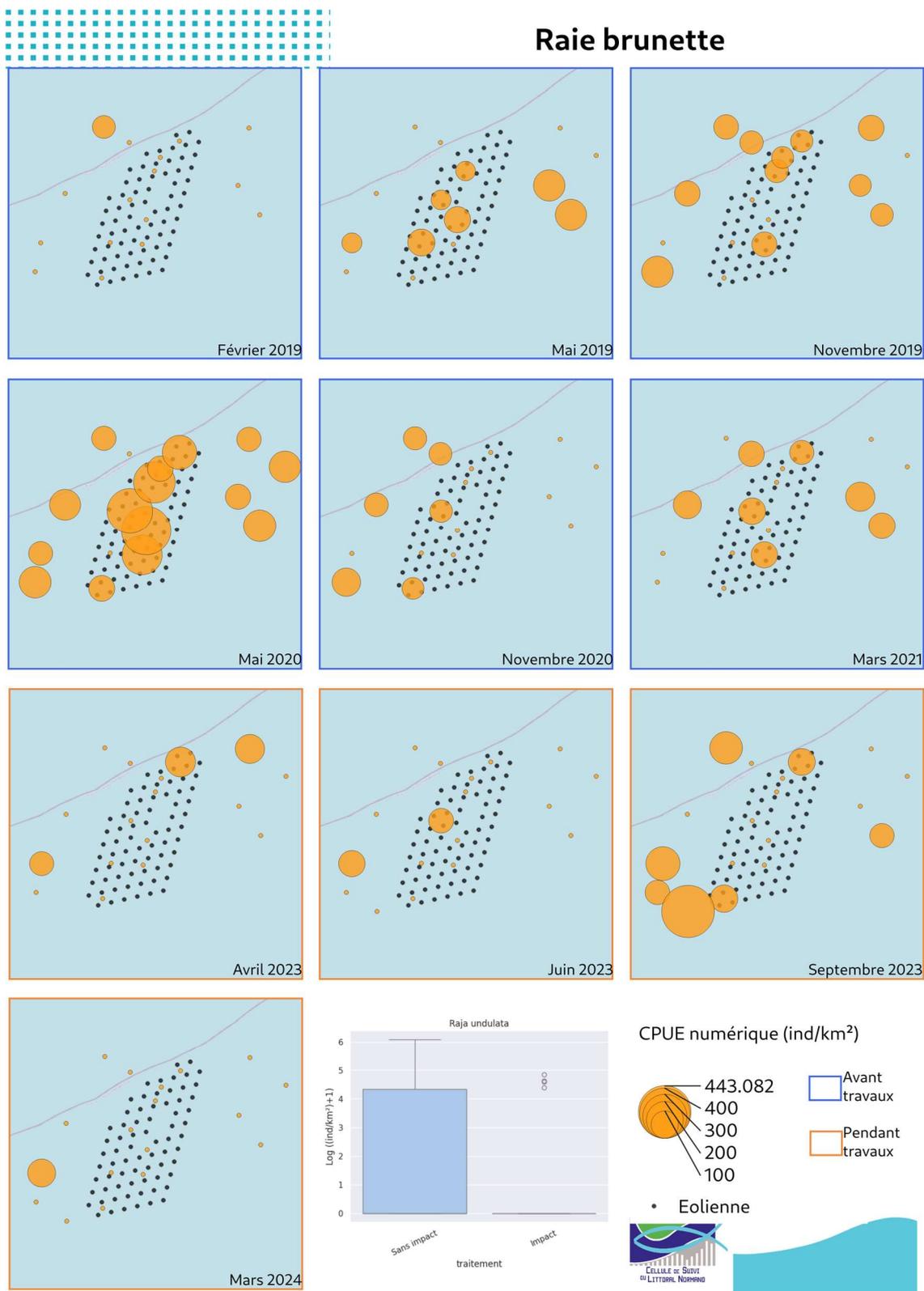


Figure 45 : Cartographies des CPUE numériques de raie brunette *R. undulata* réalisés lors des 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux. Le box plot sur les données logées présente les abondances pour les deux types de traitements « sans impact » et « impact ».

6.5.3.9 Le vracton grelue - *Symphodus bailloni*

Le vracton grelue ou crénilabre de Baillon, est une espèce appartenant à la famille des Labridés. Il vit principalement dans des environnements rocheux à des profondeurs comprises entre 1 et 50 m. Rare dans les captures et souvent confondu avec d'autres espèces de Labridés (*Symphodus melops*), sa biologie est mal connue. Il semble vivre en couple en saison de reproduction et se nourrit probablement de petits invertébrés (Henderson, 2014). Adulte, il peut atteindre jusqu'à 20cm de longueur. Cette espèce ne présente pas d'intérêt particulier pour la filière professionnelle et n'est pas réglementée.

Avec seulement 2 individus capturés sur la totalité du suivi, le vracton grelue est qualifié d'espèce accidentelle sur la zone d'étude. Les cartographies (Figure 46) montrent que les individus sont uniquement capturés au sein de la zone du parc pendant la phase de travaux (juin et septembre 2023).

Bien que la permanova suggère une évolution significativement liée aux travaux, le jeu de données est très insuffisant pour obtenir des résultats statistiquement solides. Néanmoins, celle espèce affectionnant particulièrement les abris rocheux, il est possible que l'installation des enrochements et la pose des bases gravitaires fournissent un habitat propice à son développement. Cette hypothèse reste à vérifier dans les années à venir.

Tableau 23 : Résultats de la PERMANOVA réalisée sur la matrice des CPUE numériques de vracton grelue entre 2019 et 2024 sur la zone du parc éolien de Fécamp (Permanova réalisée à l'aide de l'outil *GranulatsShinny* développé par l'IFREMER).

	Df	SumsOfSqs	R2	F	Pr(>F)	Significativité
Travaux	1	0,051	0,052	9,998	0,005	**
Saison	2	0,012	0,012	1,161	0,323	
Saison:Travaux	2	0,051	0,051	4,951	0,005	**
Residuals	171	0,875	0,885			
Total	176	0,989	1,000			

Signif. codes: 0 $< \text{'****'}$ ≤ 0.001 $< \text{'***'}$ ≤ 0.01 $< \text{'**'}$ ≤ 0.05 $< \text{'*'}$ ≤ 0.1 $< \text{'.'}$ ≤ 1

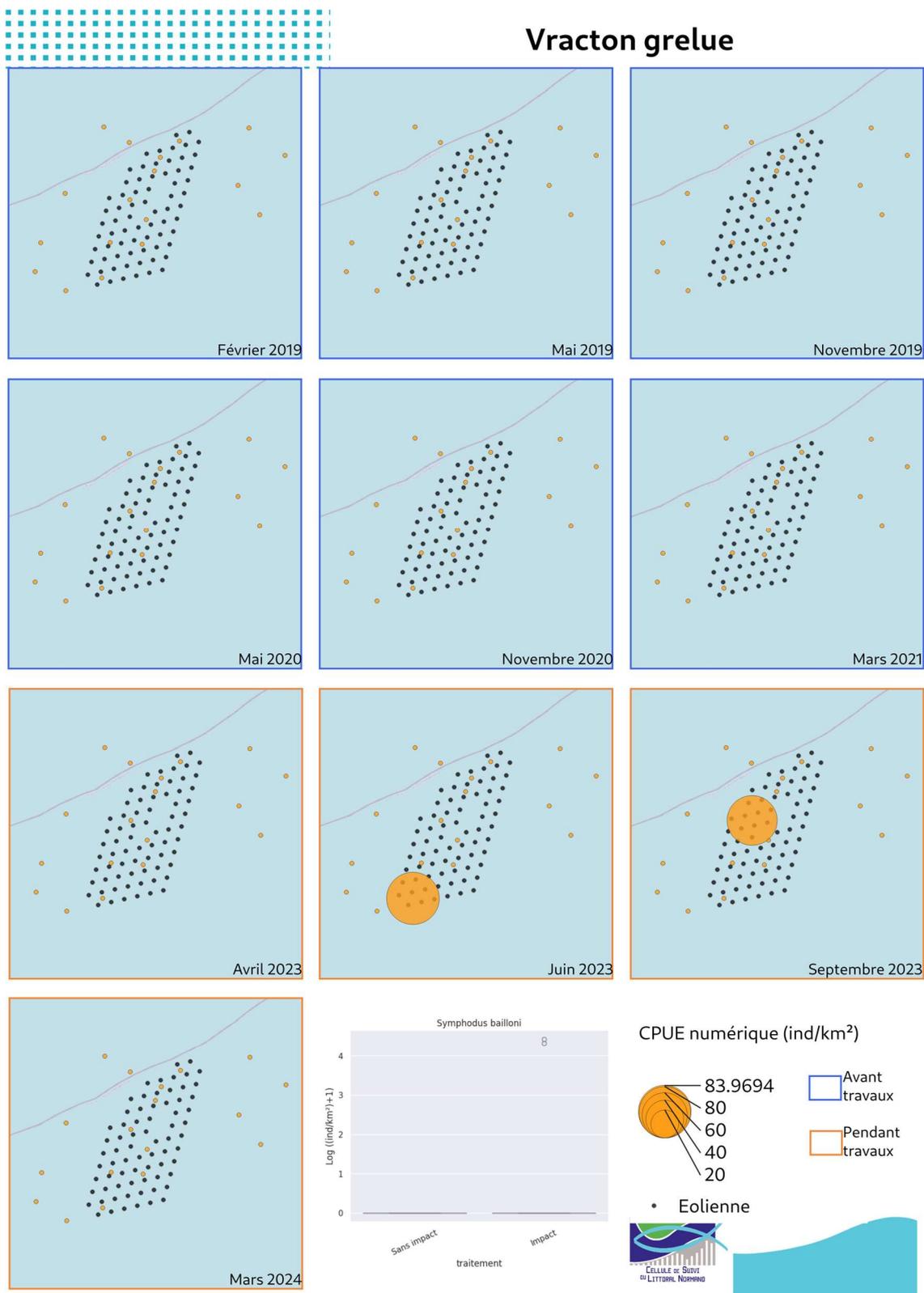


Figure 46 : Cartographies des CPUE numériques de vracton grelue *S. bailloni* réalisés lors des 10 campagnes au chalut canadien entre 2019 et 2024. Les cartes encadrées en bleu correspondent aux campagnes réalisées pour l'état de référence avant travaux, celles en orange les campagnes réalisées pendant la phase de travaux. Le box plot sur les données logées présente les abondances pour les deux types de traitements « sans impact » et « impact ».

RECHERCHE D'EFFETS A L'ECHELLE DE L'ESPECE - A RETENIR

- Les analyses font ressortir des résultats significatifs de la phase travaux i) positifs pour le bar, le callionymes lyre, la dorade grise, l'émissole tachetée, le grondin rouge, la petite roussette et le vracton grelue ; ii) négatifs pour la raie brunette et l'encornet.
- Il important de relativiser les résultats qui peuvent être liés à i) une évolution à plus large échelle (cf. émissole et petite roussette) ; ii) le décalade temporel de la campagne d'automne entre l'état de référence et la phase travaux (cf. dorade grise et grondin rouge) ; iii) une faible représentation dans les captures (callionyme lyre et vracton grelue) ; iv) le faible nombre de campagnes pour la phase de travaux.
- Les résultats sont à suivre dans le temps.

7. SYNTHÈSE

Ce rapport rend compte des résultats des campagnes réalisées au chalut canadien sur la zone d'étude du parc éolien en mer de Fécamp entre 2023 et 2024. Ces campagnes en mer sont réalisées dans le cadre du suivi pendant la phase de travaux débutée en juin 2022. Elles font suite à la réalisation de deux années d'état de référence (6 campagnes) entre 2019 et 2021 (Balay *et al*, 2022). La comparaison des résultats s'attèle à rechercher des effets potentiels des opérations et des modifications du milieu pendant la phase de construction sur les communautés ichtyologiques et halieutiques. Au regard de l'Etude d'Impact Environnemental, les effets attendus sur ce compartiment sont faibles.

Entre l'état de référence et la phase de travaux la méthodologie globale d'échantillonnage est restée inchangée : 18 stations réparties à l'intérieur et à l'extérieur du parc ; trois campagnes annuelles en hiver, au printemps et en fin d'été/automne. Le navire mobilisé pour la réalisation des campagnes n'est en revanche plus le même mais l'engin de pêche reste inchangé, ses dimensions et sa confection sont similaires à celles du précédent chalut canadien. Deux stations ont été déplacées, FEC18 pour s'éloigner des câbles sous-marins et FEC01 est remplacé par FEC24 pour éviter la zone de pêche aux casiers à bulots.

Cette nouvelle année d'échantillonnage a permis d'ajouter six nouveaux taxons à la liste des espèces de poissons et céphalopodes présents sur la zone d'étude : la grande alose, le gobie noir, la raie douce, le requin hâ, le rouquié et le vracton grelue. Elles portent à 43 le nombre d'espèces de poissons et céphalopodes trouvées sur la zone d'étude depuis 2019. Le compartiment pélagique compte 7 espèces dont les plus fréquentes et abondantes sont le hareng, le maquereau, le chinchard et la sardine. En croisant les rangs des fréquences de captures, abondances numériques et abondances pondérales du total des 10 campagnes réalisées depuis 2019, 10 espèces ressortent comme caractéristique de la zone d'étude : la petite roussette, le grondin rouge, le casseron, la raie bouclée, la dorade grise, l'émissole tachetée, le chinchard, l'encornet, le grondin camard et le tacaud commun.

L'analyse des données de capture à travers les différents indicateurs biologiques et l'étude des assemblages d'espèces met en évidence de fortes fluctuations saisonnières sur la zone d'étude avec, comme déjà démontré lors de l'état de référence, une opposition de la saison froide (février/mars) avec le reste de l'année (mai à novembre). Ces cinq années d'études permettent aussi de constater les fluctuations interannuelles importantes. Elles sont connues pour être naturellement fortes dans le milieu marin. Ces fluctuations sont d'autant plus importantes pour les espèces fortement migratrices comme les espèces pélagiques (par ex. hareng et chinchard) ou l'encornet pour le compartiment benthodémersal. La zone d'étude n'échappe pas non plus aux changements observés sur une échelle plus globale avec notamment la morue, classée en stock effondré par l'Ifremer depuis 2019 en Manche, absente des captures en 2023 et 2024. Le bar, dont l'état des stocks est classé comme non satisfaisant depuis 2016, affectionne particulièrement les zones d'épaves et pourrait à terme voire sa population se développer sur le site en lien avec l'effet récif attendu en phase d'exploitation.

Ce rapport s'intéresse principalement à la recherche d'effets potentiels des travaux sur les populations de poissons et céphalopodes en place au sein de la zone d'étude. L'étude de l'évolution des assemblages et la comparaison des indicateurs généraux ne permettent pas de faire ressortir une influence significative des travaux. Elles confirment surtout la prédominance de l'effet saison sur les assemblages d'espèces et met en évidence une différence non négligeable entre les données obtenues en septembre 2023 lors de la phase travaux et celles de novembre lors des états de références pour l'automne. Ce décalage temporel est susceptible de générer un biais dans l'interprétation des résultats avant/pendant travaux.

Les tests réalisés au niveau monospécifique montrent des résultats significatifs visibles sur les abondances de 9 espèces de poissons du compartiment benthodémersal avec des abondances supérieures à l'intérieur parc pour le bar, le callionyme lyre, la dorade grise, l'émissole tachetée, le grondin rouge, la petite roussette et le vracton grelue, inférieures pour la raie brunette et l'encornet. Les données utilisées pour la caractérisation des effets de la phase travaux se basant uniquement sur une année d'échantillonnage, il est nécessaire de consolider ces résultats par la suite et considérer ces conclusions avec parcimonie. Pour certaines espèces, il est également important de prendre en compte le décalage temporel des campagnes entre l'état de référence et la phase de travaux et de recontextualiser à plus large échelle pour comprendre et interpréter au mieux les fluctuations d'abondance sur le site.

Au regard de l'EIE, les résultats obtenus sont en accord avec les prévisions. Les mesures acoustiques indiquent que les seuils d'impacts physiologiques et d'évitements des populations de poissons et céphalopodes ne sont jamais atteints, sauf lors du battage des pieux de la sous-station. L'opération a cependant été très courte, n'entraînant potentiellement qu'un phénomène de fuite/migration à très court terme. Les campagnes d'échantillonnages ayant été réalisées après la majorité de la phase de construction, les résultats obtenus ne permettent pas de caractériser des effets directs et ponctuels des travaux. En revanche, ils permettent d'ores et déjà d'observer des changements au niveau monospécifiques pouvant, pour certains, être associés à une modification pérenne du substrat (mise en place des enrochements et des fondations gravitaires). C'est le cas pour le bar ou encore le vracton grelue, espèces affectionnant ce type d'habitat et observé en abondance plus importante dans le parc après l'immersion des différents éléments.

Pour conclure, la phase de construction du Parc éolien de Fécamp semble avoir eu un impact très limité dans le temps et dans l'espace sur le compartiment piscicole et halieutique de la zone. Les changements observés sont plutôt en accord avec les effets attendus en phase de construction.

Bibliographie

BALAY P., BERNO A., HANIN C., MAZE Q., 2015. Parc éolien en mer de Fécamp : Etat initial de l'ichtyofaune et de La ressource halieutique – Rapport de synthèse des campagnes chalut et filets 2013-14. Rapport CSLN/Parc éolien en mer de Fécamp : 89 pp + annexes.

BALAY P., CHAIGNON C., HANIN C., MORVAN E., REY M., 2022. Suivi de l'ichtyofaune et des ressources halieutiques : Etat de référence du parc éolien de Fécamp. Rapport CSLN/Eoliennes Offshore des Hautes-Falaises : 50pp + annexes.

BISEAU A., 2023. Résumé graphique des diagnostics et avis émis par le CIEM en 2022. [En ligne] <https://peche.ifremer.fr/content/download/165516/file/stocks-2022-decembre.pdf>

CARPENTIER A., MARTIN CS., VAZ S. (EDS.), 2009. Atlas des habitats des ressources marines de la Manche orientale, rapport final (CHARM phase II). INTERREG 3a Programme, IFREMER, Boulogne-sur-Mer, France. 626 pp. & CD-Rom.

DEGRAER, S., BRABANT, R., RUMES, B. & VIGIN, L. (eds). 2019. Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Assessing and Managing Effect Spheres of Influence. Brussels: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, Marine Ecology and Management, 138 p.

DEGRAER S., BRAHAN R., RUMES B., VIGIN L., 2016. Environnemental impact of offshore Wind farms in the Belgian part of the North Sea : Environnemental impact monitoring reloaded. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environnement, Marine Ecology an Management Section. 287 pp.

GRALL, J. AND COÏC, N., 2005. Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier. Rebut, 48, 90.

HENDERSON P.A., 2014. Identification Guide to the Inshore Fish of the British Isles. Executive Editor : J. R. Somes : 321p.

IFREMER, 2011. Protocole conseillé pour la description de l'état initial et le suivi des ressources halieutiques dans le cadre d'une exploitation de granulats marins. [En ligne] <http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Materiaux-marins/Protocoles/Ressources-halieutiques>.

IFREMER, 2022. Analyse comparative des protocoles de réalisation des états de référence des suivis halieutiques et benthiques dans le cadre des autorisations des parcs éoliens en mer et de leur raccordement. 20pp + annexes.

MOONEY, T. A., ANDERSSON, M. & STANLEY, J., 2020. Acoustic Impacts of Offshore Wind Energy on Fishery. *Oceanography* **33**, 82–95pp.

Parc Eolien en Mer de Fécamp (PEF), 2015. Etude d'Impact Environnemental. Fascicule B1 – Etudes spécifiques du Parc Eolien en Mer de Fécamp. 606p. + annexes.

QUERO J.C. & J.J. VAYNE, 1997. Les poissons de mer des pêches françaises. Les encyclopédies du naturaliste, Delachaux et Niestlé : 304p.

REGIMBART A., GUITTON J., LE PAPE O., 2018. Zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française ; Deuxième partie : Inventaire. Rapport d'étude. Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°46. Rapport de recherche, 175p.

PERROW MR., 2019. Wildlife and Wind Farms: Conflicts and solutions, Volume 3 - Offshore: Potential Effects. Pelagic publishing. 301 p.

PERSOHN, C., HELLOCO, L., BAUDINIÈRE, E. & MARTINEZ, L., 2020. Préconisations pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer d'origine anthropique sur la faune marine. 212p.

POPPER, A. N. & HASTINGS, M. C, 2009. The effects of human-generated sound on fish. Integr. Zool. 4, 43-53pp.

POPPER, A. N. & HAWKINS, A. D, 2019. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. J. Fish Biol. 94, 692–713pp.

SEVERIN T., 2001. Effet Réserve : Synthèse bibliographique en milieu marin et mise en place d'un protocole de suivi à la Réunion.

SLABBERKOORN, H. et al., 2010. A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. Trends Ecol. Evol. 25, 419-427pp.

VAN HOEY, G. et al., 2021. Overview of the effects of offshore wind farms on fisheries and aquaculture.

WILHEMSSON, D. et al., 2010. Greening Blue Energy: Identifying and managing the biodiversity risks and opportunities of offshore renewable energy.





CELLULE DE SUIVI
DU LITTORAL NORMAND

CSLN

Association Loi 1901
53 rue de Prony
76600 LE HAVRE
Tél. : 02 35 21 71 70
E-mail : csln@csln.fr