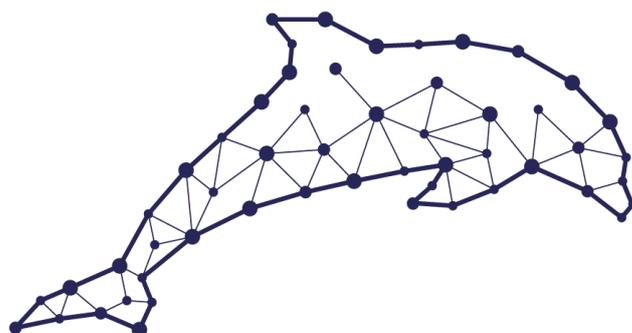


# Parc Éolien en Mer de Saint-Nazaire Banc de Guérande

Suivi Halieutique en Phase d'Exploitation – 2023

Rapport Final – Mai 2024



# SINAY

MARITIME DATA SOLUTION

Parc éolien   
en mer de St-Nazaire  


## SUIVI DU DOCUMENT

Version	Date Rédaction	Description	Rédacteurs	Relecture
1	14/02/2024	Version Initiale	Charles-Éric DEPLANCK Pascal HACQUEBART	Alex CHAILLOUX Pierre-André FARQUE
2	20/03/2024	Version révisée après commentaires EDF-Re	Charles-Éric DEPLANCK Pascal HACQUEBART	Alex CHAILLOUX Pierre-André FARQUE
3	21/05/2024	Version corrigée	Charles-Éric DEPLANCK	Pascal HACQUEBART
VF	07/08/2024	Version finale après commentaires IFREMER et DREAL	Charles-Éric DEPLANCK Samuele TECCHIO	Pascal HACQUEBART

## TABLE DES MATIERES

<b>Résumé de l'étude .....</b>	<b>14</b>
<b>1 Présentation de l'étude .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Contexte .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 Objet du document.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 Rappel des conclusions de l'étude d'impact environnementale.....</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Synthèse des connaissances issues de la bibliographie.....</b>	<b>21</b>
1.4.1 Effet acoustique.....	21
1.4.2 Effet turbidité .....	21
1.4.3 Effet récif artificiel .....	21
1.4.4 Effet des champs électromagnétiques .....	22
1.4.5 En synthèse.....	23
<b>2 Environnement du site .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1 Habitats .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 Espèces caractéristiques de la zone .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Rôles fonctionnels du site du banc de Guérande.....</b>	<b>26</b>
<b>3 Matériel et méthodes.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Planification et Réalisation – Déroulement de l'étude de Suivi .....</b>	<b>29</b>
3.1.1 Calendrier des campagnes .....	29
3.1.2 Qualité de l'eau (MSu1).....	29
3.1.3 Campagne de collecte d'ichtyoplancton en mer (MSu6) .....	30
3.1.4 Campagnes métiers (MSu3 et MSu5).....	34
<b>3.2 Modalités d'interprétation.....</b>	<b>42</b>
3.2.1 Analyses descriptives et indicateurs.....	42
3.2.2 Traitements statistiques.....	44
<b>4 Limites de l'étude.....</b>	<b>45</b>
<b>5 Résultats des suivis qualité des eaux marines .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1 Rappel des objectifs.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2 Contexte hydrologique .....</b>	<b>46</b>
<b>5.3 Mesures physico-chimiques .....</b>	<b>47</b>
5.3.1 Température de l'eau .....	54
5.3.2 Salinité .....	55
5.3.3 Turbidité .....	56
5.3.4 Oxygène dissous .....	57

5.3.5	Fluorescence.....	58
5.3.6	synthese de la comparaison des résultats 2023 avec ceux de l'état de référence .....	58
<b>6</b>	<b>Résultats des suivis de l'ichtyoplancton .....</b>	<b>60</b>
<b>6.1</b>	<b>Rappel des objectifs.....</b>	<b>60</b>
<b>6.2</b>	<b>Œufs de poissons.....</b>	<b>60</b>
6.2.1	Indices de diversité biologique.....	60
6.2.2	Fréquence d'occurrence.....	63
6.2.3	Abondance des œufs.....	65
6.2.4	Assemblages des espèces.....	66
6.2.5	Analyse multivariée .....	69
6.2.6	Synthèse « Œufs de poissons » .....	70
<b>6.3</b>	<b>Larves de Poissons.....</b>	<b>70</b>
6.3.1	Indices de diversité biologique.....	70
6.3.2	Fréquence d'occurrence.....	72
6.3.3	Abondance des larves.....	73
6.3.4	Assemblage des espèces .....	74
6.3.5	Analyse multivariée .....	76
6.3.6	Synthèse « Larves de poissons » .....	77
<b>6.4</b>	<b>Zooplancton hors ichtyoplancton .....</b>	<b>78</b>
6.4.1	Indices de diversité biologique.....	78
6.4.2	Fréquence d'occurrence.....	80
6.4.3	Abondance du zooplancton.....	81
6.4.4	Assemblage des espèces .....	83
6.4.5	Analyse multivariée .....	84
6.4.6	Synthèse « Autre zooplancton » .....	85
<b>7</b>	<b>Résultats des suivis halieutiques.....</b>	<b>86</b>
<b>7.1</b>	<b>Rappel des objectifs.....</b>	<b>86</b>
<b>7.2</b>	<b>Campagnes métiers « filets à poissons et crustacés » (filet pêche-tout).....</b>	<b>86</b>
7.2.1	Indices de diversité biologique.....	86
7.2.2	Fréquence d'occurrence.....	88
7.2.3	Abondance.....	88
7.2.4	CPUE .....	90
7.2.5	Assemblage des espèces .....	93
7.2.6	Étude monospécifique.....	95
7.2.7	Analyse multivariée .....	109

7.2.8	Synthese de la comparaison des résultats de suivi en phase d'exploitation avec ceux de l'état de référence des campagnes « filets à poissons et crustacés » .....	111
<b>7.3</b>	<b>Campagnes métier « Casier à crustacés » (MSu5) .....</b>	<b>112</b>
7.3.1	Indices de diversité biologique .....	112
7.3.2	Fréquence d'occurrence .....	114
7.3.3	Abondance.....	115
7.3.4	CPUE .....	117
7.3.5	Assemblage des espèces .....	120
7.3.6	Étude monospécifique.....	122
7.3.7	Analyse multivariée .....	136
7.3.8	Synthese de la comparaison des résultats du suivi en phase d'exploitation avec ceux de l'état de référence des campagnes « casier à crustacés » .....	137
<b>7.4</b>	<b>CAMPAGNES METIERS « PALANGRES À POISSONS » .....</b>	<b>138</b>
7.4.1	Indice de diversité biologique .....	138
7.4.2	Fréquence d'occurrence.....	139
7.4.3	Abondance.....	140
7.4.4	CPUE .....	141
7.4.5	Assemblage des espèces .....	144
7.4.6	Étude monospécifique.....	146
7.4.7	Analyse multivariée .....	154
7.4.8	Synthese des comparaison des résultats de suivi en phase d'exploitation avec ceux de l'état de référence des campagnes « palangre à poissons » .....	154
<b>8</b>	<b>Synthèse et Conclusion .....</b>	<b>156</b>
<b>8.1</b>	<b>Qualité de l'eau lors des campagnes.....</b>	<b>156</b>
<b>8.2</b>	<b>Ichtyo- et zooplancton – Fonction Frayère .....</b>	<b>156</b>
8.2.1	Œufs de poissons.....	156
8.2.2	Larves.....	156
8.2.3	Autre zooplancton .....	156
8.2.4	Fonction frayère .....	156
<b>8.3</b>	<b>Filet à poissons et crustacés .....</b>	<b>156</b>
<b>8.4</b>	<b>Casier à crustacés .....</b>	<b>157</b>
<b>8.5</b>	<b>Palangre à poissons .....</b>	<b>157</b>
<b>8.6</b>	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>158</b>
<b>9</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>159</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation du projet éolien en mer de Saint-Nazaire. ....	17
Figure 2: Situation de la présente étude de suivi en période d'exploitation dans la vie du parc éolien. ....	18
Figure 3 : Répartition des habitats benthiques connus du Banc de Guérande.....	24
Figure 4 : Cartographie des habitats benthiques aux alentours du parc éolien en mer de Banc de Guérande.....	28
Figure 5 : Schéma de l'approche BACI (extrait de Secor D. 2017. Priorities and challenges of monitoring).....	29
Figure 6 : Calendrier des campagnes de 2023 pendant la phase d'exploitation. ....	29
Figure 7 : Utilisation de la sonde multi-paramètres lors d'une campagne en mer pour les besoins des missions MSu1.....	30
Figure 8 : Cartographie des stations d'échantillonnage prévues pour les missions ichtyoplanctoniques (MSu6) et modifications du plan d'échantillonnage apportées en avril et août 2021. ....	31
Figure 9 : Présentation du filet Bongo utilisé lors de la campagne de collecte MSu6. ....	32
Figure 10 : Localisation des stations échantillonnées au cours des missions ichtyoplanctoniques (MSu6) en 2023.....	34
Figure 11 : Cartographie des zones de prélèvements prévues pour les campagnes métiers (MSu3 et MSu5). ....	35
Figure 12 : Casiers utilisés pour les campagnes MSu3 à l'arrière du navire ....	36
Figure 13 : Localisation des stations échantillonnées au cours des missions aux casiers en 2019 et 2023. ....	37
Figure 14 : Parc à l'arrière du navire rassemblant les filières utilisées pour les campagnes MSu5a....	38
Figure 15 : Localisation des stations échantillonnées au cours des missions au filet (MSu5a) en 2019 et 2023.....	39
Figure 16 : Préparation des appâts sur les séries de palangres par un marin lors des campagnes MSu5b. ....	40
Figure 17 : Localisation des stations échantillonnées au cours des missions aux palangres (MSu5b) en 2019 et 2023.....	41
Figure 18 : Positionnement des stations DCE/REPHY au large de la Loire (en vert lieux de surveillance actifs, en gris station expérimentale non activée ; Le Merrer et al., 2022). ....	47
Figure 19 : Comparaison du débit de la Loire au cours des années 2019 (« EtatRef ») et 2023 (« Exploitation ») par rapport à la moyenne 1993-2018 (« Moyenne »). Source : <a href="https://www.hydro.eaufrance.fr/sitehydro/M6240010/series">https://www.hydro.eaufrance.fr/sitehydro/M6240010/series</a> .....	53
Figure 20 : Évolution de la valeur médiane de la température mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 et 2023, comparée avec les données 2016-2018 de la station de suivi Basse Michaud (REPHY – Référence Surval 069-P-075). 2019 : EtatRef; 2023 : Exploitation ; Moyenne 2016-2018 : Moyenne.....	54
Figure 21 : Évolution de la valeur médiane de la salinité mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 et 2023, comparée avec les données 2016-2018 de la station de	

suivi Basse Michaud (REPHY – Référence Surval 069-P-075). 2019 : EtatRef; 2023 : Exploitation ; Moyenne 2016-2018 : Moyenne.....	55
Figure 22 : Évolution de la valeur médiane de la turbidité mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 et 2023, comparée avec les données 2016-2018 de la station de suivi Basse Michaud (REPHY – Référence Surval 069-P-075). 2019 : EtatRef; 2023 : Exploitation ; Moyenne 2016-2018 : Moyenne.....	56
Figure 23 : Évolution de la valeur médiane de la teneur en oxygène dissous mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 à 2023, comparée avec les données 2016-2018 de la station de suivi Basse Michaud (REPHY – Référence Surval 069-P-075). 2019 : EtatRef; 2023 : Exploitation ; Moyenne 2016-2018 : Moyenne.....	57
Figure 24 : Évolution de la valeur médiane de la fluorescence mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 et 2023. 2019 : EtatRef, 2023 : Exploitation (pas de données comparables pour la station Basse Michaud). .....	58
Figure 25 : Évolution la richesse spécifique S des œufs de poisson au cours des missions.....	61
Figure 26 : Évolution de l'indice H de diversité biologique des œufs de poisson au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). .....	61
Figure 27 : Évolution de l'indice J d'équitabilité biologique des œufs de poisson au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé) .....	62
Figure 28: Abondance du nombre d'œufs de poisson prélevés par 1000 m <sup>3</sup> par mission.....	65
Figure 29: Abondance moyenne des œufs de poissons en N / 1000m <sup>3</sup> , par phase d'étude et par zone. ....	66
Figure 30 : Pourcentage d'abondance totale des œufs des 15 espèces de poissons les plus fréquemment observées par mission. ....	66
Figure 31 : Abondance des œufs des 15 espèces de poissons les plus fréquentes. ....	67
Figure 32 : Répartition des CPUE des œufs des espèces de poisson les plus fréquemment observées sans ceux du Rouquié.....	67
Figure 33 : Représentation de l'assemblage des espèces d'œufs sans ceux du Rouquié, en fonction de l'abondance par mission. ....	68
Figure 34 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au filet bongo entre 2019 et 2023. Toutes les stations sont représentées par des points (à l'intérieur du parc) et des carrés (à l'extérieur du parc). Seuls les paramètres dont l'influence est caractérisée sont présentés par des vecteurs ou des étiquettes. La valeur de stress de l'analyse est 0,221.....	69
Figure 35 : Évolution de l'indice S de richesse spécifique moyen des larves au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	71
Figure 36 : Évolution de l'indice H de diversité biologique moyen des larves au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	71
Figure 37 : Évolution de l'indice J d'équitabilité biologique moyen des larves au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	71
Figure 38 : Abondance des larves de poissons prélevées par mission.....	73
Figure 39 : Abondance moyenne des larves de Poissons en N / 1000 m <sup>3</sup> , par phase d'étude et par zone. ....	74
Figure 40 : Assemblage des 15 espèces de poissons dont les larves ont été les plus fréquemment observées par mission.....	74

Figure 41 : Assemblage des 15 espèces de poissons dont les larves ont été les plus fréquemment observées par mission, en n/1000m <sup>3</sup> .....	75
Figure 42 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au filet bongo entre 2019 et 2023. Toutes les stations sont représentées par des points (à l'intérieur du parc) et des carrés (à l'extérieur du parc). Seuls les paramètres dont l'influence est caractérisée sont présentés par des vecteurs ou des étiquettes. La valeur de stress de l'analyse est 0,196.....	76
Figure 43 : Évolution de l'indice S de richesse spécifique du zooplancton au cours des missions. ....	78
Figure 44 : Évolution de l'indice H de diversité biologique du zooplancton au cours des missions. ....	79
Figure 45 : Évolution de l'indice J d'équitabilité biologique du zooplancton au cours des missions....	79
Figure 46 : Abondance du zooplancton par mission. ....	81
Figure 47 : Abondance moyenne du plancton hors ichtyoplancton en N / 1000 m <sup>3</sup> , par phase d'étude et par zone.....	82
Figure 48 : Assemblage des 15 espèces de zooplancton les plus fréquemment observées par mission. ....	83
Figure 49 : Représentation de l'assemblage des espèces de zooplancton en fonction de l'abondance par mission. ....	83
Figure 50 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au filet bongo entre 2019 et 2023.....	84
Figure 51 : Indice S de richesse spécifique moyen au fil des missions.....	86
Figure 52 : Indice H de diversité biologique moyen au fil des missions.....	87
Figure 53 : Évolution de l'indice J d'équitabilité biologique moyen au fil des missions.....	87
Figure 54 : Abondance de poissons et crustacés prélevés par mission. ....	89
Figure 55: Abondance moyenne par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).....	90
Figure 56 : Carte des CPUE au filet (n/1000m*24h) en 2019.....	91
Figure 57: Carte des CPUE au filet (n/1000m*24h) en 2023.....	92
Figure 58 : Assemblage des 15 espèces les plus fréquemment observées par mission. ....	93
Figure 59 : Assemblage des 15 espèces les plus fréquemment observées en fonction de l'abondance (n/1000m*24h) par mission. ....	93
Figure 60 : Évolution des CPUE (n/1000m * 24h) de la Vieille commune au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	95
Figure 61: Abondance moyenne par zone et par phase d'étude de la Vieille commune. ....	95
Figure 62: Évolution des CPUE (n/1000m*24h) de la Vieille commune au fil des missions. ....	96
Figure 63: Distribution en taille de la Vieille commune lors de l'étude de l'état de référence (2019) et du suivi en phase d'exploitation (2023). ....	97
Figure 64 : Évolution des CPUE (n/1000m * 24h) du Tacaud commun au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	98
Figure 65 : Abondance moyenne par zone et par phase d'étude du Tacaud commun. ....	98
Figure 66 : Évolution des CPUE (n/1000m*24h) du Tacaud commun au fil des missions. ....	98

Figure 67: Distribution en taille des individus de Tacaud commun prélevés au filet depuis l'état de référence. ....	100
Figure 68 : Évolution des CPUE (n/1 000m * 24h) des lieux jaunes au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	101
Figure 69 : Abondance moyenne par zone et par phase d'étude du Lieu jaune. ....	101
Figure 70 : Évolution des CPUE (n/1000m*24h) du Lieu jaune au fil des missions. ....	102
Figure 71: Ventes annuelles de Lieu Jaune à la criée du Croisic pendant la période 1994-2023. Source : FranceAgriMer.....	103
Figure 72 : Distribution en taille des individus de Tacaud commun prélevés au filet depuis l'état de référence. ....	104
Figure 73 : Évolution des CPUE (n/1 000m * 24h) de la Petite Roussette au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	105
Figure 74 : Abondance moyenne par zone et par phase d'étude de la Petite Roussette. ....	105
Figure 75 : Évolution des CPUE (n/1000m*24h) de la Petite Roussette au fil des missions. ....	105
Figure 76: Structure de population de la Petite Roussette dans les prélèvements. ....	106
Figure 77 : Évolution des CPUE (n/1 000m * 24h) d'Araignée de mer au fil des missions. ....	107
Figure 78 : Abondance moyenne par zone et par phase d'étude de l'Araignée de mer. ....	107
Figure 79 : Ventes annuelles d'Araignée de Mer à la criée du Croisic sur la période 1994-2023. Source : FranceAgriMer.....	108
Figure 80 : Ventes d'araignée de Mer à la criée du Croisic par trimestre sur la période 2010-2023. Source : FranceAgriMer.....	108
Figure 81 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au filet entre 2019 et 2023. ....	110
Figure 82 : Indice S de richesse spécifique au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé). ....	112
Figure 83 : Indice H de diversité spécifique au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé). ....	112
Figure 84 : Indice J d'équitabilité spécifique au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé). ....	113
Figure 85: CPUE en nombre d'individus, toutes espèces confondues pour les missions aux casiers. ....	115
Figure 86: Abondance moyenne par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).....	116
Figure 87 : Carte des CPUE au casier (n/100 casiers*24h) lors de l'étude de l'état de référence en 2019. ....	118
Figure 88: Carte des CPUE au casier (n/100 casiers*24h) lors du suivi en phase d'exploitation en 2023. ....	119
Figure 89: Assemblage des principales espèces observées par mission en pourcentage de CPUE. ...	120
Figure 90: CPUE par espèce et par mission (en n/100 casiers*24h). La période affectée par les travaux d'installation est superposée en gris.....	121

Figure 91 : Évolution des CPUE (n/100 casiers * 24h) des Homards au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol/déroctage en foncé). .....	122
Figure 92 : Abondance moyenne du Homard par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation). .....	122
Figure 93 : Évolution des CPUE (n/1000m*24h) du Homard au fil des missions. ....	123
Figure 94: Ventes annuelles de Homard Européen à la criée du Croisic sur la période 2010-2022. Source : FranceAgriMer.....	123
Figure 95: Ventes de Homard européen à la criée du Croisic par trimestre pendant la période 2010-2022. Source : FranceAgriMer.....	124
Figure 96 : Définition schématique de la longueur céphalothoracique du Homard européen. ....	124
Figure 97: Structure de population par sexe des homards prélevés en 2019 - État de référence. ....	125
Figure 98: Structure de population par sexe des Homards prélevés en 2021. ....	125
Figure 99: Structure de population par sexe des homards prélevés en 2022. ....	126
Figure 100: Structure de population par sexe des homards prélevés en 2023. ....	126
Figure 101 : Évolution des CPUE (n/100 casiers * 24h) des Araignées de mer au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). .....	128
Figure 102 : Abondance moyenne de l'Araignée de mer par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).....	129
Figure 103 : Évolution des CPUE (n/1000m*24h) de l'Araignée de mer au fil des missions. ....	129
Figure 104 : Évolution des CPUE (n/100 casiers * 24h) des Tourteaux au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). .....	130
Figure 105 : Abondance moyenne du Tourteau par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).....	131
Figure 106 : Évolution des CPUE (n/1000m*24h) du Tourteau au fil des missions. ....	131
Figure 107 : Évolution des CPUE (n/100 casiers * 24h) des étrilles au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). .....	132
Figure 108 : Abondance moyenne de l'Étrille par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation). ....	133
Figure 109 : Évolution des CPUE (n/1000m*24h) de l'Étrille au fil des missions.....	133
Figure 110: Ventes annuelles d'étrille à la criée du Croisic pour la période 2010-2022.....	134
Figure 111: Ventes de Pieuvre (Poulpe) à la criée du Croisic sur la période 2014-2023 (pas de données antérieures) - Source France AgriMer.....	135
Figure 112 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au casier entre 2019 et 2023.....	136
Figure 113 : Évolution de l'indice de richesse spécifique (S) au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). .....	138
Figure 114 : Évolution de l'indice de diversité spécifique de Shannon (H) au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). .....	139
Figure 115 : Évolution de l'indice d'équitabilité de Piélou (J) au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). .....	139

Figure 116 : Abondance des espèces prélevées à la palangre par mission.....	140
Figure 117: Abondance moyenne par zone, pour chaque étude réalisée (Etat de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).....	141
Figure 118 : Carte des CPUE palangre (n/1 000 hameçons*24h) en 2019 lors de l'étude de l'état de référence. ....	142
Figure 119: Carte des CPUE palangre (n/1 000 hameçons*24h) lors du suivi en phase d'exploitation. ....	143
Figure 120 : Assemblage des 7 espèces les plus fréquemment observées, par mission en pourcentage de CPUE. ....	144
Figure 121 : CPUE des 7 espèces principales par mission (en n/1000 hameçons*24h). ....	144
Figure 122 : Évolution des CPUE (n/1000 hameçons * 24h) des bars au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	146
Figure 123 : Abondance moyenne du Bar par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).....	146
Figure 124: Structure de population des bars prélevés pendant la période 2019-2023. ....	147
Figure 125 : Évolution des CPUE (n/1000 hameçons * 24h) des lieux jaunes au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	149
Figure 126 : Abondance moyenne du Lieu jaune par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).....	149
Figure 127: Structure de population des lieux jaunes prélevés sur la période 2019-2023.....	151
Figure 128 : Évolution des CPUE (n/1000 hameçons * 24h) des Tacauds au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé). ....	152
Figure 129 : Abondance moyenne du Tacaud par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation). ....	152
Figure 130 : Structure de population du Tacaud commun observées pendant la période 2019-2023. ....	153
Figure 131 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de captures à la palangre entre 2019 et 2023.....	154
Tableau 1: Les étapes du développement, de la mise en œuvre et de l'évolution des mesures de suivi MSu3-5-6. ....	18
Tableau 2: Synthèse des conclusions de l'étude d'impact environnementale (2015).....	20
Tableau 3: Espèces échantillonnées à au moins deux étapes du développement depuis 2013. La couleur bleu-ciel signifie que l'espèce a été présente à ce stade de développement.....	25
Tableau 4 : Positions géographiques des stations à échantillonner dans le cadre des campagnes ichtyoplanctoniques (MSu6). ....	31
Tableau 5 : Caractéristiques des missions ichtyoplanctoniques (MSu6) réalisées en 2019 (état de référence) et 2023 (exploitation). ....	33
Tableau 6 : Caractéristiques des missions aux casiers (MSu3) réalisées en 2019 (état de référence) et 2023 (exploitation). ....	36

Tableau 7 : Caractéristiques des missions aux filets (MSu5a) réalisées pour le en 2019 (état de référence) et 2023 (exploitation).....	38
Tableau 8 : Caractéristiques des missions aux palangres (MSu5b) réalisées pour le suivi. ....	40
Tableau 9 : Valeur moyenne des mesures de qualité de l'eau dans les 5 premiers mètres de la colonne d'eau (surface).....	49
Tableau 10 : Valeur moyenne des mesures de qualité de l'eau dans les 5 derniers mètres de la colonne d'eau (fond). ....	51
Tableau 11 : Indices de richesses spécifiques des œufs de poisson par mission.....	60
Tableau 12 : Fréquence d'occurrence des œufs des 10 espèces les plus fréquemment observées. ...	63
Tableau 13 : Indices de diversité biologique moyens des larves de poisson prélevées par mission. ...	70
Tableau 14 : Fréquence d'occurrence (en % des prélèvements) des 15 espèces de poissons dont les larves ont été les plus fréquemment observées. ....	72
Tableau 15 : Indices de diversité biologique du zooplancton par mission.....	78
Tableau 16 : Fréquence d'occurrence des espèces de zooplancton les plus observées.....	80
Tableau 17 : Indices de diversité biologique moyens en fonction des missions.....	86
Tableau 18 : Fréquence d'occurrence (en pourcentage) des prélèvements des 15 espèces les plus fréquemment capturées par année et valeur moyenne de la période 2019-2023. ....	88
Tableau 19 : Synthèse des tailles (mm) relevées de la Vieille commune au cours des missions.....	96
Tableau 20 : Synthèse des tailles (mm) relevées du Tacaud Commun au cours des missions. ....	99
Tableau 21 : Synthèse des tailles (mm) relevées du Lieu Jaune au cours des missions. ....	104
Tableau 22 : Synthèse des tailles (mm) relevées et effectifs de la Petite Roussette au cours des missions. ....	106
Tableau 23 : Synthèse des tailles (mm) relevées de l'Araignée de mer au cours des missions.....	109
<i>Tableau 24: Indice de diversité biologique des espèces prélevées par mission 2013-2022. ....</i>	<i>112</i>
<i>Tableau 25 : Fréquence d'occurrence de l'ensemble des espèces observées en pourcentage du nombre de prélèvements. ....</i>	<i>114</i>
<i>Tableau 26: CPUE (n/100 casiers * 24h) par espèce et par mission. ....</i>	<i>117</i>
Tableau 27 Synthèse des tailles (mm) relevées du Homard au cours des missions. ....	127
Tableau 28: Taille moyenne des Homards dans et à l'extérieur de la zone de parc éolien. ....	128
Tableau 29 : Synthèse des tailles (mm) relevées de l'Araignée de mer au cours des missions.....	130
Tableau 30 : Synthèse des tailles (mm) mesurées du Tourteau au cours des missions. ....	132
Tableau 31 : Synthèse des tailles (mm) relevées de l'étrille au cours des missions. ....	134
Tableau 32: Indices de diversité moyens par mission.....	138
Tableau 33: Fréquence d'occurrence moyenne (en % des prélèvements) des 7 espèces les plus fréquemment identifiées dans les prélèvements à la palangre.....	139
Tableau 34 : Synthèse des tailles (mm) relevées du bar au cours des missions.....	146
Tableau 35 : Synthèse des tailles (mm) relevées du Lieu au cours des missions.....	150
Tableau 36 : Synthèse des tailles (mm) relevées du Tacaud commun au cours des missions. ....	152



## RESUME DE L'ETUDE

Un parc éolien composé de 80 éoliennes a été installé entre 2020 et 2022 en mer au large de Saint-Nazaire. Il est désormais en fonctionnement.

Le site d'implantation est principalement constitué d'un platier rocheux fréquenté de manière régulière par différentes espèces de Poissons et Crustacés. Une partie de ces espèces utilise la zone pour assurer leur reproduction (fonction de frayère), leur croissance avant maturité (fonction de nourricerie) et/ou leur alimentation, leur habitat. La zone ne représente toutefois pas une zone exceptionnelle au titre de l'une ou l'autre de ces fonctionnalités, comme indiqué dans l'étude d'impact et confirmé dans l'étude de l'état de référence.

L'exploitation du parc éolien en mer génère différents effets susceptibles de perturber la faune marine par la modification des conditions de milieu (bruit, vibrations, champs électriques et magnétiques, effet récif autour des structures immergées).

Le suivi des ressources halieutiques présentent dans les environs du parc éolien en mer de Saint-Nazaire en phase d'exploitation repose sur le principe *BACI*<sup>1</sup> réalisé sur la base de comparaisons temporelles (état référent/état perturbé) et spatiales (zone impactée/zone « témoin »). Les résultats sont détaillés dans le document. Cinq types de campagne ont été menés :

- Suivi de la qualité des eaux (MSu1) : par des mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau au moyen d'une sonde multi-paramètres lors de toutes les campagnes de pêche ;
- Des campagnes d'échantillonnage ichtyo-planctonique (MSu6) ciblant les œufs et les larves de poissons par l'utilisation de filets à plancton de type « bongo » ;
- Des campagnes « métiers » ciblant les grands Crustacés (adultes et juvéniles) d'intérêt halieutique avec l'utilisation de casiers (MSu3) ;
- Des campagnes « métiers » ciblant les espèces benthodémersales par l'utilisation de filets à poissons (MSu5) ;
- Des campagnes « métiers » ciblant les espèces benthodémersales par l'utilisation de palangres (MSu5).

Pour chaque mission, un minimum de 6 stations sont échantillonnées à l'intérieur de la zone du parc éolien et 4 stations à l'extérieur de la zone.

**L'état de référence a été réalisé entre avril 2019 et janvier 2020, les missions du suivi en phase d'exploitation ont été réalisées d'avril à décembre 2023 selon le même mode opératoire.**

L'interprétation consiste en une comparaison spatio-temporelle des différents indicateurs d'abondance, de richesse spécifique, et d'assemblages, à l'échelle des peuplements et des espèces. Les plans d'échantillonnage et l'analyse sont basés sur la carte des habitats benthiques. Des tests statistiques sont appliqués aux résultats à différents niveaux afin de déterminer si des différences observées sont aléatoires ou corrélées à un paramètre identifiable. Une analyse multivariée est réalisée afin de mettre en relation d'éventuels effets de la présence du parc éolien sur la qualité physico-chimique des eaux et les résultats d'observations biologiques.

Les résultats obtenus sont les suivants :

**Pour les campagnes ichtyo-planctonique, les différences d'abondance totale constatées sont le plus souvent liées aux variations d'abondance d'une espèce dominante les prélèvements (telle que les œufs de Rouquié (*Ctenolabrus rupestris*). Le nombre moyen d'espèces de poissons prélevées à l'état larvaire est inférieur en 2023 comparativement à l'état de référence ; cette différence est**

<sup>1</sup> Before-After-Control-Impact

probablement due à des conditions du milieu différentes (bien que normales) entre les deux études : température, salinité et oxygénation de l'eau de mer, notamment.

Pour les campagnes "métier" au casier, l'Araignée de Mer et l'Étrille ont vu leur présence fortement diminuée en comparaison avec l'état de référence. Les facteurs pouvant l'expliquer sont principalement liés à une diminution des populations à l'échelle de la façade Bretagne Sud – Pays de la Loire. Les captures de Homard sont plus faibles en phase d'exploitation que lors de l'état de référence ; cette évolution est la même pour les zones intérieure et extérieure du parc éolien, ce qui exclut l'éventualité d'un effet réserve au sein du parc éolien à ce stade.

Pour les campagnes « métier » au filet, les abondances spécifiques calculées sont inférieures en 2023 alors qu'elles étaient fortes ou moyennes lors de l'état de référence. La diversité et l'équitabilité spécifiques évoluent peu au cours du suivi, avant et après les travaux. Les différences observées ne peuvent être imputées à la présence du parc éolien en fonctionnement. L'analyse multivariée montre que les différences de peuplement semblent principalement associées à des paramètres environnementaux et leurs variations dans le temps.

Pour les campagnes « métier » à la palangre à poissons, aucune différence des indices de diversité n'est détectée entre l'état de référence et le suivi 2023. Les espèces principales sont aussi abondantes et réparties de la même manière : aucune différence particulière n'est remarquée entre l'état de référence et après la mise en service du parc éolien. La répartition des peuplements, faiblement différenciés, semble principalement liée à des paramètres environnementaux.

Pour l'ensemble des campagnes, l'analyse (notamment analyse multivariée) ne montre pas de différence notable entre la zone de parc éolien et la zone périphérique considérée comme témoin.

Ce suivi n'a pas mis en exergue d'effet distinct des variations naturelles. Les différences observées peuvent être principalement imputées à des variations interannuelles et saisonnières de paramètres environnementaux tels que la température, la salinité, l'oxygénation et la turbidité de l'eau de mer. En effet, les paramètres physico-chimiques de l'eau de mer pendant l'état de référence et de la phase d'exploitation présentent des différences de valeur et de chronologie, en lien avec les conditions météorologiques et la proximité de l'estuaire de la Loire. Le début des précipitations automnales détermine en partie le moment à partir duquel des changements des salinité et de turbidité peuvent être observés, notamment au niveau des stations proches de l'estuaire de la Loire. En 2019, cette période a démarré en décembre, alors qu'en 2023, de forts cumuls de pluie et un débit augmenté de la Loire ont été constatés dès novembre.

## Glossaire

- **B.A.C.I** : acronyme pour « Before-After-Control-Impact » ; approche selon laquelle une (ou plusieurs) mesure est effectuée avant et après un évènement notable, dans la zone impactée par cet évènement et à l'extérieur de celle-ci (zone témoin).
- **Benthique** : Qualifie un organisme vivant libre (vagile) sur le fond ou fixé (sessile).
- **Bentho--démersal** : L'adjectif benthique qualifie les espèces ayant un lien étroit et permanent avec le fond. L'adjectif démersal qualifie une espèce vivant libre à proximité du fond, c'est-à-dire sans être véritablement liée à celui-ci de façon permanente. Bentho-démersal désigne donc des espèces qui se situent en permanence entre ces deux milieux.
- **Bentho-pélagique** : Un organisme benthopélagique qualifie un animal, un végétal ou tout organisme qui vit indifféremment dans le milieu benthique, démersal ou pélagique.
- **Campagne (de prélèvement/d'échantillonnage)** : la présente étude est décomposée en campagnes de suivi dédiées à différents métiers de pêche, ainsi qu'à la qualité physico-chimique de l'eau et à l'ichtyoplancton (soit 5 campagnes). Chacune de ces campagnes représente un volet entier de l'étude avec ses propres stations et missions de prélèvements, analyses et résultats.
- **C.P.U.E.<sup>2</sup>** : Capture par Unité d'Effort (Catch Per Unit Effort).
- **CM** : Indique qu'une profondeur (en mètres CM) est donnée en « cote marine », soit par rapport au zéro hydrographique des cartes marines.
- **CTE** : Comité Technique et Environnemental.
- **Démersal** : Qualifie une espèce vivant libre à proximité du fond des mers et des océans, c'est-à-dire sans être véritablement liée à celui-ci de façon permanente.
- **Mission** : Une mission correspond à une sortie en mer dédiée à l'échantillonnage d'une campagne à une période spécifique du plan d'échantillonnage.
- **nMDS (Non-metric MultiDimensional Scaling)** : méthode d'analyse statistique multivariée permettant de regrouper des points (stations) en classes de similarité en se basant sur une série de variables mesurées.
- **Prélèvement** : l'ensemble des individus capturés par un engin de pêche à un endroit précis (station) et à une date unique constituent un prélèvement.
- **Station (de prélèvement/d'échantillonnage)** : l'endroit précis où est positionné un engin de prélèvement à une ou plusieurs dates précises représente une station de prélèvement.

<sup>2</sup> <https://peche.ifremer.fr/Glossaire/Glossaire/CPUE>

# 1 PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

## 1.1 CONTEXTE

La société Parc du Banc de Guérande (PBG) bénéficie depuis le 17 mars 2016 d'un arrêté autorisant, au titre de l'article L214-3 du code de l'environnement, la construction et l'exploitation d'un parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire.

Le projet consiste en l'implantation de 80 éoliennes d'une puissance de 6MW localisées sur le banc de Guérande, hauts fonds situés au sud-ouest de la presqu'île de Guérande à environ 12 km de la pointe du Croisic et de la pointe de Penchâteau, au large de l'embouchure de la Loire. Le banc de Guérande s'étend sur environ 22 km de long et 14 km de large et est orienté selon une direction Nord-Ouest – Sud-Est. Les profondeurs y varient entre 13 et 23 m CM. Les fonds rocheux, majoritaires sur le site du parc éolien, abritent des espèces dépendantes des habitats de substrats durs. C'est le cas notamment des grands Crustacés, des Congres, des Lieux et des labridés.

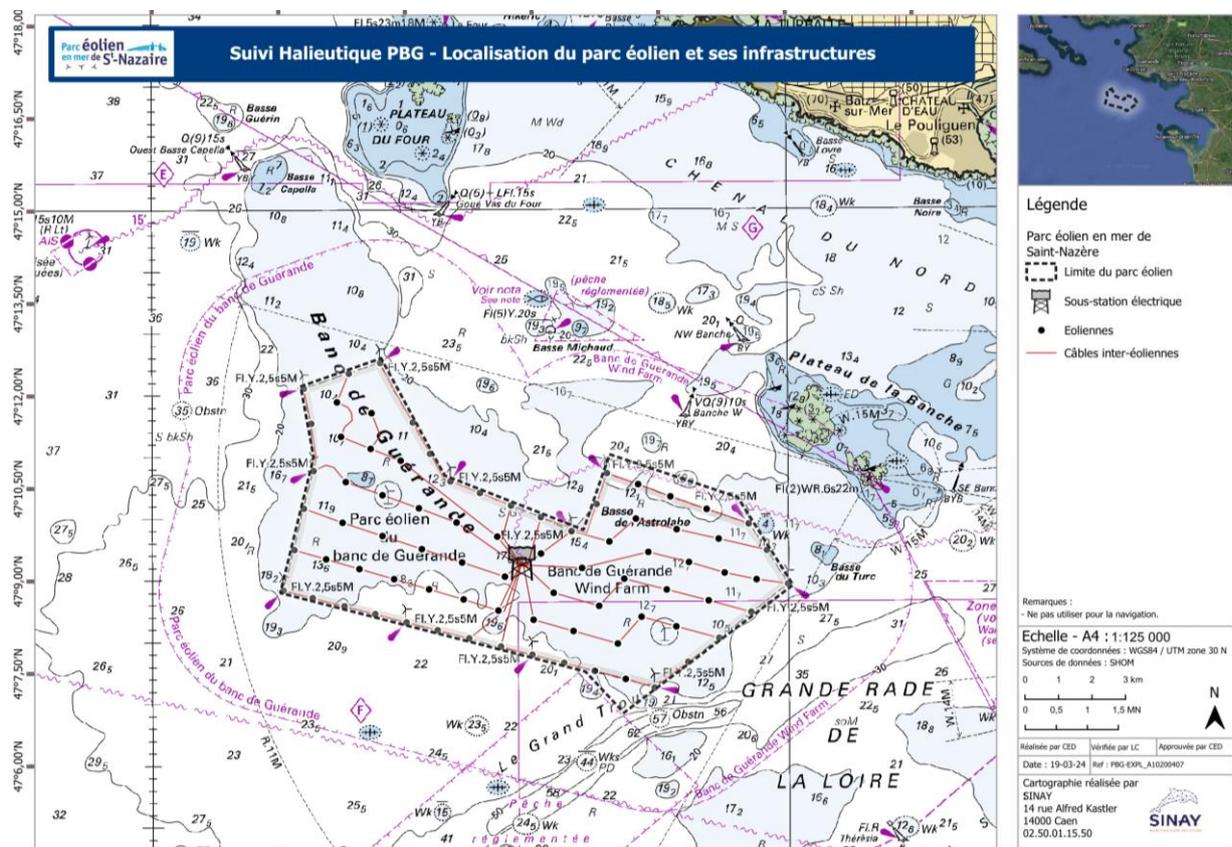


Figure 1 : Carte de localisation du projet éolien en mer de Saint-Nazaire. Les infrastructures principales y sont représentées : sous-station électrique, éoliennes et câbles inter-éoliennes.

L'article 2.5 de l'arrêté préfectoral d'autorisation décrit les suivis environnementaux à réaliser dans le cadre du projet. Ces suivis concernent plusieurs compartiments de l'environnement marin, dont les ressources halieutiques – objet de la présente étude - et doivent être réalisés pendant la phase de construction et en phase d'exploitation du parc éolien.

La Figure 2 permet de situer la présente étude dans le contexte des différentes phases de la vie d'un parc éolien en mer ; elle est présentée sous forme de frise chronologique. L'étude s'est déroulée au cours de la première année d'exploitation du parc éolien en mer.

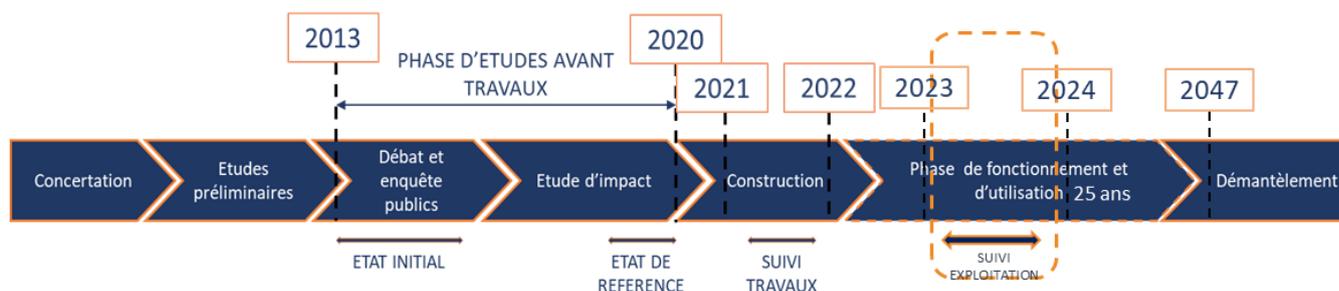


Figure 2: Situation de la présente étude de suivi en période d'exploitation dans la vie du parc éolien.

L'enjeu est de suivre et documenter les impacts éventuels de la présence du parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire sur le milieu en général, sur la ressource halieutique en particulier.

## 1.2 OBJET DU DOCUMENT

L'objet du présent document est de présenter les résultats du suivi lors de la première année de la phase d'exploitation du parc éolien en mer sur la ressource halieutique. Il répond à la question : « Quels sont les impacts avérés du parc éolien en phase de fonctionnement (exploitation) sur les ressources halieutiques, l'ichtyoplancton et la qualité des eaux marines, au regard des données existantes (principalement étude de l'état de référence, retours d'expériences) et des acquisitions prévues (pêches, qualité de l'eau) ? ».

Le compartiment étudié est celui de la ressource halieutique et plus particulièrement les espèces piscicoles et les grands crustacés. L'étude correspond aux mesures de suivi Msu3, Msu5 et Msu6 de l'étude d'impact environnemental et est complétée par la mesure Msu1 – suivi de la qualité des eaux.

De manière opérationnelle, il s'agit d'analyser les résultats de ces campagnes de suivi au regard des effets de l'exploitation du parc et de vérifier l'absence d'impacts notables à l'échelle des populations halieutiques, benthiques et planctoniques. Pour cela, les résultats du suivi en exploitation seront mis en perspective avec les résultats des suivis d'état de référence (2019-2020).

Le Tableau 1 ci-dessous retrace des différentes étapes relatives au développement, à la mise en œuvre et à l'évolution des mesures MSU3 – 5 – 6.

Tableau 1: Les étapes du développement, de la mise en œuvre et de l'évolution des mesures de suivi MSU3-5-6.

Date	Jalon – Rapport
2014	Étude de la faune marine, dont les ressources halieutiques, pour la description de l'État Initial du site
2015	Étude d'Impact Environnementale, incluant :
	- Identification des impacts au regard des travaux prévus
	- Mesures d'évitement par l'adaptation du tracé des câbles
	- Proposition de mesures de suivi environnemental
Mars 2016	Arrêté préfectoral autorisant le projet de parc éolien en mer de Saint-Nazaire, incluant la liste des mesures environnementales et de suivi à mettre en œuvre tout au long de la vie du projet

Aout 2019	Protocoles d'état de référence validé en CTE
Septembre 2020	Réunion scientifique et technique avec les membres du CTE pour présentation des résultats du suivi en État de Référence
Novembre 2020	CTE n°5 : - réception de l'étude MSU3-5-6 - État de référence - protocole de suivi halieutique (MSU 3 – 5 – 6) en phase de construction
Novembre 2021	Réunion scientifique et technique avec les membres du CTE pour échanger sur la méthodologie d'interprétation des résultats de suivi en phase de construction
Décembre 2022	CTE n°9 : réception du protocole de suivi MSU3-5-6 en phase d'exploitation.
Mars 2023	Réunion scientifique et technique avec les membres du CTE pour présenter les résultats des suivis halieutiques en phase de construction.
Juin 2023	CTE n°10 : réception de l'étude MSU3-5-6 - suivi en phase de construction

Les protocoles soumis à validation auprès du CTE pour les suivis en phase d'exploitation sont identiques à ceux mis en œuvre au cours des phases « État initial », « État de Référence », « Phase de Construction », dans la continuité des principes mentionnés dans la Note Halieutique T0+36 requise au paragraphe **6.4.2 mises en œuvre des engagements du cahier des charges de l'appel d'offres n°2011/S 126-208873**<sup>3</sup>, à savoir :

- *La définition des protocoles d'étude est inspirée des guides et des protocoles de référence publiés par l'Ifremer. Ces protocoles ont été adaptés aux caractéristiques environnementales du Banc de Guérande et discutés avec l'Ifremer dans le cadre de réunions techniques au cours de la phase de développement.*
- *La consultation des bureaux d'étude spécialisés, sur la base d'un cahier des charges intégrant les protocoles expérimentaux, a permis de sélectionner des experts sur des éléments préalablement ciblés. Les experts des bureaux d'études ont par ailleurs contribué à enrichir les protocoles en proposant des compléments techniques dans leurs offres.*

*En lien avec le Comité Régional des Pêches et des Élevages Marins des Pays de Loire (COREPEM), les professionnels de la pêche ont été informés et impliqués très en amont de ces études. Ces échanges ont permis de réaliser un véritable diagnostic partagé.*

### 1.3 RAPPEL DES CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE

L'évaluation environnementale conduite dans le cadre de l'étude des impacts environnementaux du projet (2015) a :

- identifié la nature des effets attendu du parc éolien en phase d'exploitation,
- qualifié leur nature, leur durée et leur intensité,

<sup>3</sup> « Le candidat retenu communique au représentant de l'État référent pour le lot, à l'IFREMER et aux comités des pêches maritimes et des élevages marins concernés par le projet, les études d'impact et de suivi de la ressource halieutique qu'il réalisera conformément aux spécifications susmentionnées. En particulier, il communique au plus tard à T0+36 mois l'étude déterminant l'état initial de la ressource halieutique. »

- puis qualifié les impacts engendrés par ces effets sur les différents groupes d'espèce en fonction de leur sensibilité.

Le tableau ci-dessous synthétise cette évaluation.

Tableau 2: Synthèse des conclusions de l'étude d'impact environnementale (2015)

	EFFET				SENSIBILITE (établie dans l'état initial)	Impact
	Description	Action	Durée	Intensité de l'effet		
Crustacés	Effet lié à l'emprise sur le fond marin (effet récif)	Indirect	Permanent	Négligeable	Forte	Négligeable
	Transport d'électricité (électromagnétisme et augmentation de température)	Direct	Permanent	Négligeable		Négligeable
Larves	Effet lié à l'emprise dans la colonne d'eau (modification de l'hydrodynamisme)	Indirect	Permanent	Négligeable	Faible	Négligeable
	Bruit sous-marin et vibrations	Direct	Permanent	Négligeable		Négligeable
Adultes et juvéniles	Emprise sur la colonne (Effet récif <sup>4</sup> )	Indirect	Permanent	Faible	Moyenne	Faible
	Collision	SO	SO	Nul		SO
	Effets liés au transport d'énergie	Direct	Permanent	Négligeable		Négligeable
	Bruit sous-marin et vibration	Direct	Permanent	Négligeable		Négligeable
	Effet réserve <sup>5</sup>	Indirect	Permanent	Négligeable		Négligeable

L'intensité des différents effets identifiés a été qualifiée de négligeable. En conséquence de quoi, l'Etude d'Impact Environnementale a conclu que les impacts sur les ressources halieutiques sont attendus pour être négligeables également. Sur la base de cette conclusion, les protocoles de suivi élaborés se sont donnés pour objectif d'évaluer si, à l'issue des travaux, les peuplements retrouvent des caractéristiques comparables à celles observées avant l'implantation du parc éolien.

En aucun cas les protocoles de suivi MSU3, 5 et 6 ne visent à (ni ne permet de) mesurer de manière directe et différenciée la manière dont chacun de ces effets agit sur les espèces ou groupe d'espèces présent dans l'environnement du parc.

<sup>4</sup> Définition « Effet récif » (EIE, 2015) : L'introduction de structures « dures » en mer entraîne une colonisation par divers organismes marins. Ce phénomène, dit « effet récif », a été observé sur l'ensemble des parcs éoliens marins existants. Ce phénomène facilitera la recolonisation du site par les espèces marines et pourrait augmenter la biodiversité.

<sup>5</sup> Définition « Effet réserve » (EIE, 2015) : L'effet réserve est observé dans des zones où l'activité de pêche est interdite. Cet effet entraîne une augmentation des ressources marines sur la zone d'interdiction voir sur des zones plus larges. Cet effet est bénéfique pour les espèces marines si la zone présente un intérêt halieutique fort et si elle est suffisamment vaste.

## 1.4 SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES ISSUES DE LA BIBLIOGRAPHIE

Ce chapitre est basé sur le rapport de Dernouny (2022)<sup>6</sup> principalement, toute autre source est mentionnée dans le texte. Il est à noter que cette source n'a pas été soumise à la relecture du comité indépendant d'une revue scientifique. La liste des effets présentés et de leurs conséquences n'est pas exhaustive.

### 1.4.1 EFFET ACOUSTIQUE

En phase d'exploitation, le bruit sous-marin produit par les éoliennes est relativement faible (comparable ou inférieur au bruit généré par d'autres activités anthropiques marines) et continu. Les impacts induits sont généralement estimés permanents, entre négligeables et moyens et d'influence locale.

### 1.4.2 EFFET TURBIDITÉ

La turbidité est la mesure de la clarté relative de l'eau principalement liée aux concentrations en matières en suspension (particules fines, minérales ou organiques). Dans le milieu marin, la turbidité naturelle évolue quotidiennement de manière plus ou moins forte en fonction de la localisation (eaux du large ou zone côtière, proximité/taille des estuaires etc.) et des facteurs environnementaux (hydrodynamisme, nature des fonds, activité planctonique, etc.). Les activités anthropiques (dragages, travaux maritimes, engins de pêche, rejets en mer) peuvent contribuer à l'augmentation des MES dans la colonne d'eau et donc de la turbidité. En fonction de l'ampleur et la durée de l'effet turbide, des perturbations comportementales (relations proies-prédateurs, attraction, répulsion) ou physiques (efficacité de la filtration chez les mollusques, l'obstruction des branchies de certains poissons, le recouvrement des œufs, développement plus important de la vision chez les jeunes seiches) sont possibles chez les organismes marins. Cependant, les organismes marins caractéristiques des zones exposées aux fortes conditions hydrodynamiques et aux apports turbides des fleuves sont généralement adaptés aux grandes fluctuations de turbidité. Les apports de matières organiques souvent très élevés soutiennent le réseau trophique local.

À titre de comparaison, les activités d'extraction de granulats marins peuvent induire des panaches de plusieurs centaines de mètres avec des concentrations supérieures à 70 mg/l. Les engins de pêche peuvent également générer des concentrations de MES élevées et atteindre (cas des dragues à coquilles) des valeurs deux à trois fois supérieures (jusqu'à 60 000 mg/L) aux niveaux naturels et jusqu'à 200 mg/L à une distance de 200 m derrière l'engin.

**En phase d'exploitation, l'effet turbidité est considéré comme négligeable à l'échelle d'un parc éolien.**

En effet, des études morphologiques ont montré que l'augmentation de la turbidité est principalement due à des événements météorologiques plutôt qu'à l'exploitation des parcs éoliens. Les auteurs constatent également **l'absence de différence significative entre les concentrations moyennes de matières en suspensions (MES) (annuelles et mensuelles) en surface avant et après l'installation du parc éolien.**

### 1.4.3 EFFET RÉCIF ARTIFICIEL

Les récifs artificiels sont des structures (c'est-à-dire des substrats durs) placées délibérément (à l'exception des épaves de navires) dans la mer, et qui peuvent imiter les caractéristiques des récifs naturels. L'« effet récif » est la conséquence, désirée ou non, de la présence de ces structures artificielles. Ces structures fournissent de nouvelles surfaces de substrat dur (et donc de nouveaux habitats) colonisées par les organismes marins inféodés à ce type de fonds (à la différence des DCP

<sup>6</sup> Effets et impacts des parcs éoliens en mer sur l'ichtyofaune et les populations associées – Synthèse bibliographique des suivis écologiques des parcs éoliens opérationnels et contexte du parc éolien en mer du Calvados. 92 p. – Parc éolien en mer du Calvados.

(dispositifs concentrateurs de poissons), situés en pleine eau qui ont uniquement un potentiel d'attraction).

Les fondations, les protections anti-affouillement et les câbles électriques non-enterrés constitutifs des parcs éoliens offshore sont considérés comme des récifs artificiels. Ils représentent moins de 1 % de la superficie d'un site de projet éolien offshore. Ces structures peuvent être colonisées par la faune benthique et attirer par la suite la mégafaune (poissons, crustacés, céphalopodes...). Des changements en termes de structure des peuplements marins peuvent se produire avec des conséquences potentielles estimées positives (augmentation de la richesse et la diversité spécifique, des abondances et de la biomasse) et négatives (modification des réseaux trophiques, introduction d'espèces invasives non-indigènes).

**En phase d'exploitation des parcs éoliens, la plupart des suivis à court et long termes ont permis d'observer des impacts de l'effet récif artificiel sur les organismes marins.** Dans un premier temps, une colonisation pionnière (en plusieurs stades successifs) des structures artificielles par la faune benthique (anémones, petits crustacés et moules etc.) intervient, suivie par le développement d'une communauté de poissons et grands crustacés dont la diversité et les abondances peuvent s'avérer importantes et parfois supérieures aux fonds durs environnant. En Europe du Nord, ces structures semblent particulièrement favorables aux gadidés (cabillaud, tacaud, juvéniles de merlans). Les suivis suggèrent que ces conséquences continuent de s'étendre à long-terme (augmentation de la richesse spécifique et des densités mesurées) et qu'une réelle production biologique s'opère autour des structures artificielles. Parallèlement, des suivis à plus large échelle ont révélé des structures de peuplements piscicoles dans les zones intra-parc équivalentes (voire plus favorables) aux secteurs de référence adjacents.

**L'effet réserve est lié à la limitation/interdiction par les autorités des activités humaines potentiellement impactantes (navigation, pêche, mouillage, dragage, etc.) sur un territoire marin.** En fonction des caractéristiques et du contexte du territoire concerné, un impact positif sur les ressources halieutiques (augmentation des abondances et des tailles moyennes) peut être observé.

Dans la plupart des parcs éoliens offshore, la pêche est interdite. Ces zones peuvent être considérées comme un refuge passif propice à la restauration des populations d'espèces marines à grande longévité entraînant potentiellement une augmentation des densités et des tailles individuelles. Néanmoins, en pratique, on observe uniquement des effets modérés pour le moment (Van Hoey *et al.*, 2021). Par exemple, au sein des parcs éoliens Belges et Danois, les premiers signes d'un possible effet de refuge n'ont été signalés respectivement qu'après 9 ans et 7 ans.

#### 1.4.4 EFFET DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Le passage du courant électrique dans les câbles électriques sous-marins génère dans l'environnement marin des champs électromagnétiques (CEM) caractérisés par un champ magnétique et un champ électrique induit. Les champs électromagnétiques peuvent potentiellement affecter les espèces électro et magnéto-sensibles (à l'exemple des élasmobranches ou des espèces migratrices). Les espèces benthiques et démersales sont potentiellement les plus vulnérables. Les impacts possibles sont caractérisés par des perturbations des interactions prédateur/proie, des impacts physiologiques ou sur le développement, des perturbations de l'orientation/migration des espèces, des modifications de comportements telles que l'attraction ou l'évitement.

Les programmes de surveillance des parcs éoliens offshore qui ont examiné les impacts des CEM se sont principalement intéressés aux changements de comportement des poissons (principalement les élasmobranches). Des phénomènes d'attraction ou de changement de schémas de migration ont été suggérés par certains auteurs, d'autres ont conclu à une absence d'impact significatif (abondances, comportements et alimentation).

#### 1.4.5 EN SYNTHÈSE

Les fermes éoliennes marines montrent une influence sur l'environnement local. Les suivis post-construction attestent d'un retour rapide à des structures de peuplements équivalentes (voire supérieures) aux secteurs environnants en matière de diversité et d'abondances, tendance se confirmant à long terme. Si ce constat semble positif à l'échelle des parcs, il permet toutefois de supposer une ampleur limitée de l'effet réserve prévu dans les études environnementales à l'échelle des zones adjacentes.

Les conséquences d'un effet récif artificiel ont été documentées à l'échelle de la plupart des parcs éoliens en fonctionnement et témoignent d'une colonisation/attraction des fondations des turbines par la faune benthique, les grands crustacés et les poissons de substrats durs. En conséquence, la diversité des espèces inféodées aux milieux rocheux et les abondances montrent des augmentations importantes à l'échelle des parcs éoliens, qui se maintiennent vraisemblablement dans le temps.

## 2 ENVIRONNEMENT DU SITE

### 2.1 HABITATS

Le banc de Guérande constitue une zone favorable à un certain nombre d'espèces, en raison de la présence d'habitats de fonds rocheux de faible profondeur (< 20 m CM) dans sa partie Nord-Ouest ; cette configuration bathymétrique donne des habitats de laminaires clairsemés ou denses en partie Nord-Ouest alors que la majorité du banc rocheux, plus profonde, est plutôt couverte d'algues encroûtantes, d'éponges (*Cliona celata*) et de « coraux mous » (*Alcyonium digitatum*).

La plupart des espèces de poissons fréquemment rencontrées sur le site est sédentaire : gobies, blennies, labridés, crustacés. Parmi elles, seule la Vieille et les crustacés sont pêchés. La Vieille est présente sur l'ensemble de la zone tout au long de l'année et sa répartition ne semble être régie que par la disponibilité dans son habitat, de proies et de refuges pour pondre. Les grands crustacés présents sur et autour du banc de Guérande ont un intérêt halieutique fort. Cependant, seul le Homard semble y résider de manière permanente, avec une préférence pour les fonds rocheux à laminaires.

Les poissons démersaux d'importance halieutique forte (Lieu Jaune, Bar, Merlan, Maquereau) semblent utiliser le banc de Guérande et ses alentours comme aire de nourrissage, au même titre que la majorité des sites de l'Atlantique Nord-Est présentant les mêmes caractéristiques d'habitats.

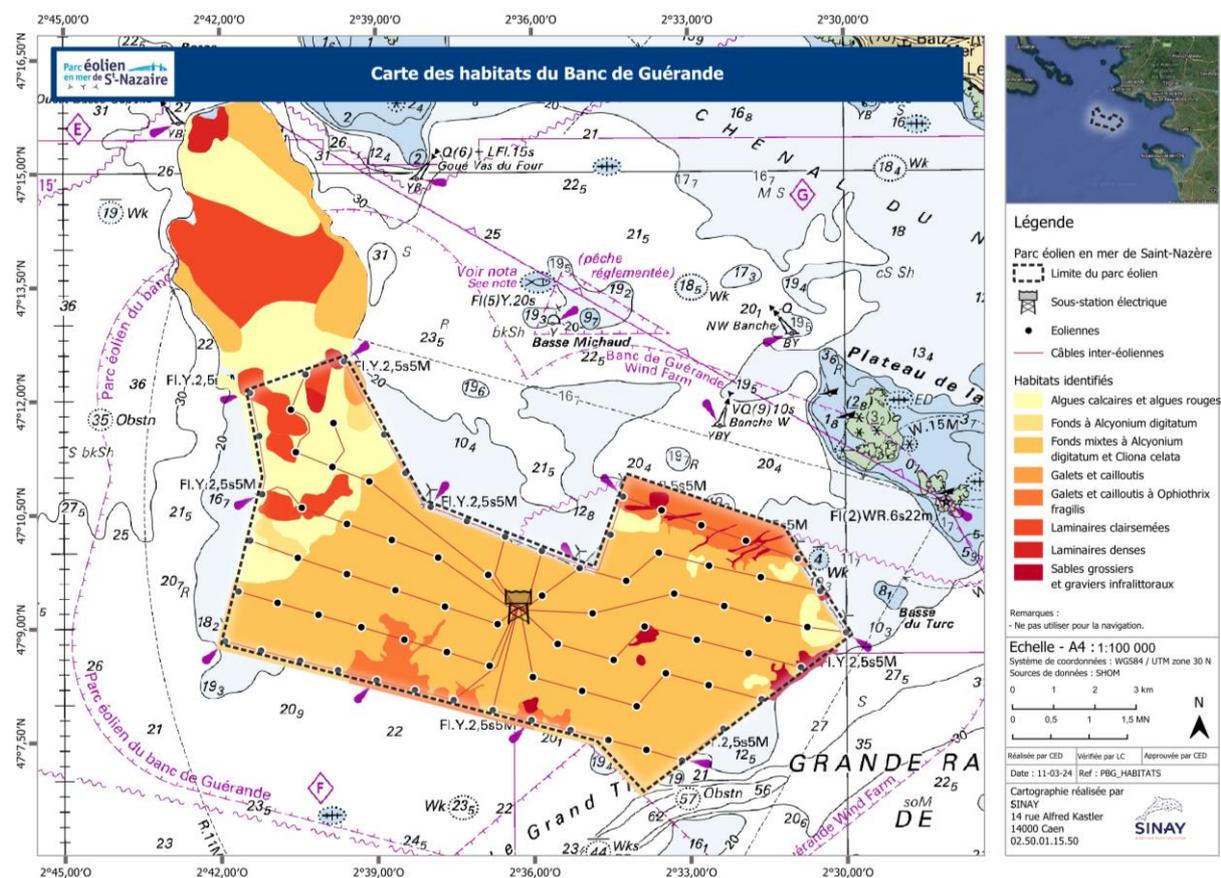


Figure 3 : Répartition des habitats benthiques connus du Banc de Guérande.

### 2.2 ESPÈCES CARACTÉRISTIQUES DE LA ZONE

93 espèces appartenant à 46 familles, dont 75 espèces de Téléostéens, 9 espèces de Chondrichthyens, 6 espèces de Crustacés et 3 espèces de Mollusques ont été identifiées dans la zone d'étude via les campagnes de prélèvements. Avec 8 espèces, la famille des Sparidés est la plus représentée. Viennent ensuite les familles des Gadidés, des Labridés et des Lotidés, avec chacune 5 espèces. De toutes ces

espèces, 22 ont été échantillonnées à au moins deux stades de leur développement (œuf, larve, juvénile/adulte).

Tableau 3: Espèces échantillonnées à au moins deux étapes du développement depuis 2013.

La couleur bleu-ciel signifie que l'espèce a été présente à ce stade de développement.

Les espèces en gras sont celles qui présentent une valeur commerciale.

Famille	Nom latin	Nom vernaculaire	Stade de développement		
			Œufs	Larves	Adultes et juvéniles
<b>Nephropidae</b>	<b><i>Homarus gammarus</i></b>	<b>Homard européen</b>			
<b>Moronidae</b>	<b><i>Dicentrarchus labrax</i></b>	<b>Bar européen</b>			
<b>Gadidae</b>	<b><i>Merlangius merlangus</i></b>	<b>Merlan</b>			
<b>Clupeidae</b>	<b><i>Sardina pilchardus</i></b>	<b>Sardine</b>			
<b>Scombridae</b>	<b><i>Scomber scombrus</i></b>	<b>Maquereau commun</b>			
<b>Carangidae</b>	<b><i>Trachurus trachurus</i></b>	<b>Chinchard commun</b>			
<i>Bothidae</i>	<i>Arnoglossus sp.</i>	Arnoglosse			
<i>Soleidae</i>	<i>Buglossidium luteum</i>	Petite Sole Jaune			
<i>Lotidae</i>	<i>Ciliata mustela</i>	Motelle à 5 barbillons			
<i>Lotidae</i>	<i>Ciliata septentrionalis</i>	Motelle nordique			
<i>Trachinidae</i>	<i>Echiichthys vipera</i>	Petite vive			
<b>Clupeidae</b>	<b><i>Engraulis encrasicolus</i></b>	<b>Anchois</b>			
<b>Pleuronectidae</b>	<b><i>Platichthys flesus</i></b>	<b>Flet commun</b>			
<i>Clupeidae</i>	<i>Sprattus sprattus</i>	Sprat			
<b>Lotidae</b>	<b><i>Molva molva</i></b>	<b>Lingue franche</b>			
<b>Gadidae</b>	<b><i>Trisopterus luscus</i></b>	<b>Tacaud Commun</b>			
<i>Labridae</i>	<i>Ctenolabrus rupestris</i>	Rouquié			
<b>Labridae</b>	<b><i>Labrus bergylta</i></b>	<b>Vieille commune</b>			
<b>Gadidae</b>	<b><i>Pollachius pollachius</i></b>	<b>Lieu Jaune</b>			
<b>Soleidae</b>	<b><i>Solea solea</i></b>	<b>Sole commune</b>			
<b>Sparidae</b>	<b><i>Spondyliosoma cantharus</i></b>	<b>Griset</b>			
<i>Labridae</i>	<i>Symphodus bailloni</i>	Crénilabre de Baillon			
<i>Scophthalmidae</i>	<i>Zeugopterus punctatus</i>	Targeur			

La liste ci-dessus (Tableau 3) comprend 14 espèces d'intérêt commercial. 6 d'entre elles sont retrouvées à tous les stades de leur cycle de vie : le Merlan, la Sardine, le Maquereau commun, le Chinchard commun, le Bar et le Homard. Cela signifie que les zones de frayère pour ces espèces incluent (ou sont situées non loin de) la zone d'étude et que les juvéniles et adultes utilisent la zone, ce qui est en accord avec la bibliographie.

Ces espèces sont typiquement très mobiles, avec une aire de répartition très étendue et ne sont pas inféodées aux habitats de la zone d'étude. En effet, 3 de ces espèces (Sardine, Chinchard, Maquereau) sont pélagiques et leurs zones de reproduction s'étendent à une grande partie du Golfe de Gascogne (Quéro & Vayne, 2003).

Le Merlan se reproduit toute l'année et ses zones de reproduction pour le Golfe de Gascogne sont situées respectivement au large des estuaires de la Loire et de la Gironde (Quéro & Vayne, 2003), ce qui rend la présence des œufs et larves de cette espèce cohérente.

En ce qui concerne le Homard, des femelles grainées ont été observées lors des deux missions d'échantillonnage aux casiers, et une larve zoé a été identifiée dans le plancton collecté en juin 2019.

Les autres grands crustacés sont très certainement dans le même cas que le Homard, présents à tous les stades de leur cycle de vie, mais l'observation de ces espèces sur le terrain s'est limitée au sexage, sans prendre en considération le caractère « grainé / non-grainé » des femelles. Les larves n'ont pas pu être identifiées en raison de leur similarité avec celles d'autres espèces de Crustacés Eumalacostracés.

## 2.3 ROLES FONCTIONNELS DU SITE DU BANC DE GUÉRANDE

- Frayère :

Au regard de la bibliographie et des campagnes de terrain réalisées dans le cadre du projet, la fonctionnalité « frayère » du banc de Guérande n'est pas considérée comme majeure pour la plupart des espèces d'importance halieutique. Elle est importante pour les espèces résidentes à savoir les grands Crustacés benthiques (Araignée de mer, Homard, Étrille, Tourteau) et les espèces inféodées aux substrats rocheux (Crénilabre de Baillon, Cténolabre, Petite vieille et Vieille commune) mais la large distribution géographique de ces espèces et la grande disponibilité d'habitats favorables ne font pas du banc de Guérande un site particulier. Il faut toutefois noter que, comme les campagnes « ichtyoplancton » ne permettent pas la récolte des œufs benthiques, la présence d'espèces benthiques résidentes peut être sous-estimée.

Pour les autres espèces (non-résidentes, non-inféodées au banc de Guérande), le site est identifié comme une zone de transit des larves entre les frayères situées plus au large et les nourriceries côtières voire estuariennes.

Les conditions du milieu et les facteurs biologiques régissent fortement la présence des larves/œufs et induisent une très forte variabilité saisonnière et interannuelle de la composition en espèces du zooplancton.

- Nourricerie :

Le banc de Guérande n'est pas reconnu comme une nourricerie à proprement parler dans la mesure où il ne rassemble pas une concentration importante de juvéniles. Toutefois, les juvéniles des grands Crustacés (Tourteau, Homard et Araignée de mer) et espèces inféodées aux substrats rocheux sont nécessairement présents sur le plateau rocheux. Les campagnes en mer n'ont cependant pas permis de le confirmer, les engins n'étant pas adaptés à la capture des juvéniles.

À une échelle élargie, les données bibliographiques montrent que l'estuaire de la Loire, la baie de Vilaine et la baie de Bourgneuf sont reconnus comme des zones essentielles pour la vie et la croissance de juvéniles de poissons, notamment pour les espèces benthiques (Sole, Céteau) et démersales (Bar, Tacaud, Merlan, Rougets...).

- Migration :

Hormis la Lamproie marine, retrouvée comme parasite sur des Lieux jaunes et Bars, aucune des espèces migratrices amphihalines d'intérêt communautaire recensées à l'annexe 2 de la Directive « Habitat, Faune et Flore » et protégées via le réseau Natura 2000 n'a été recensée sur le banc de Guérande.

Certaines espèces migratrices vivant toute l'année dans l'estuaire de la Loire viennent se reproduire en mer, c'est le cas du Mulet porc. D'autres espèces comme le Flet se reproduisent au large, d'où les juvéniles rejoignent les estuaires. Les voies migratoires de ces deux espèces peuvent transiter via le banc de Guérande.

### 3 MATERIEL ET METHODES

Les données nécessaires aux différentes études sont obtenues au moyen de cinq campagnes de pêche scientifique ciblant, à différents niveaux de leur cycle de vie (ichtyoplancton, juvénile et adultes), les grands Crustacés, les Poissons démersaux, les Poissons benthopélagiques, et les Poissons pélagiques :

- **Campagnes de suivi de la qualité des eaux (MSu1) :**
  - o Par des mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau à la sonde multi-paramètres lors de toutes les campagnes de pêche ;
  - o Par des prélèvements d'eau pour analyser les teneurs en MES et Chlorophylle A lors des campagnes ichtyo-plancton.
- **Campagne ichtyo-plancton (MSu6) :** Des prélèvements mensuels entre avril et août sur chaque station ciblant les œufs et les larves de poissons par l'utilisation de filets à plancton de type « bongo ».
- **Campagne casiers (MSu3) :** Trois missions de deux jours ciblant les grands crustacés (adultes et juvéniles) d'intérêt halieutique en fonction de la saisonnalité des principales espèces.
- **Campagnes filets (MSu5a) :** Trois missions d'un jour ciblant les principaux assemblages halieutiques (espèces benthodémersales) recensés sur le site par l'utilisation de filets à poissons.
- **Campagnes palangres (MSu5b) :** Trois missions de deux jours chacune ciblant les principaux assemblages halieutiques (espèces benthodémersales) recensés sur le site par l'utilisation de palangres à bars et lieus.

Un effort d'échantillonnage à la mesure de l'enjeu a été respecté quant aux nombres de jours de campagne et de stations d'échantillonnage afin de garantir une cohérence et une qualité scientifique entre toutes les études qui ont été réalisées au cours de la vie du parc.

La localisation des sites de suivi est adaptée à la réalité des sensibilités du site conformément aux recommandations des membres du CTE. Pour ce faire, le plan d'échantillonnage se base sur la carte des habitats benthiques, comme l'illustre la Figure 4.

Ces campagnes ont été réalisées à bord de navires de pêche professionnelle du Croisic, de Saint-Nazaire et de la Turballe. Ils ont été sélectionnés en concertation avec le Comité Régional des Pêches et des Élevages Marins des Pays de la Loire (COREPEM). Les prestations nautiques, assurées par des marins pêcheurs professionnels, se sont déroulées sur les navires suivants :

- DEN HELIGA du Croisic, commandé par Théo COUEDEL (missions MSu6 et MSu1) ;
- MADMAN de Saint Nazaire, commandé par Loïc LOTODE (missions MSu6 et MSu1) ;
- ATLANTIDE du Croisic, commandé par Dominique DEBEC (missions MSu3 et MSu1) ;
- AR TARZH du Croisic, commandé par Fabrice et Lucas CHARLOT (missions MSu5a et MSu1) ;
- KIOSGA du Croisic, commandé par Christopher QUEMENER (missions MSu5b et MSu1) ;

L'expertise scientifique et technique nécessaire à la réalisation de l'étude a été apportée par l'équipe pluridisciplinaire de Sinay dédiée au projet. L'identification des œufs et larves de poissons ainsi que du zooplancton a été réalisée par les experts de la station marine de Concarneau du Muséum National d'Histoire Naturelle. L'analyse de la qualité des eaux a été assurée par la société Eurofins.

Le détail des moyens mis en œuvre pour le déploiement de ces campagnes et les modalités de traitement des échantillons est présenté dans cette partie du document.

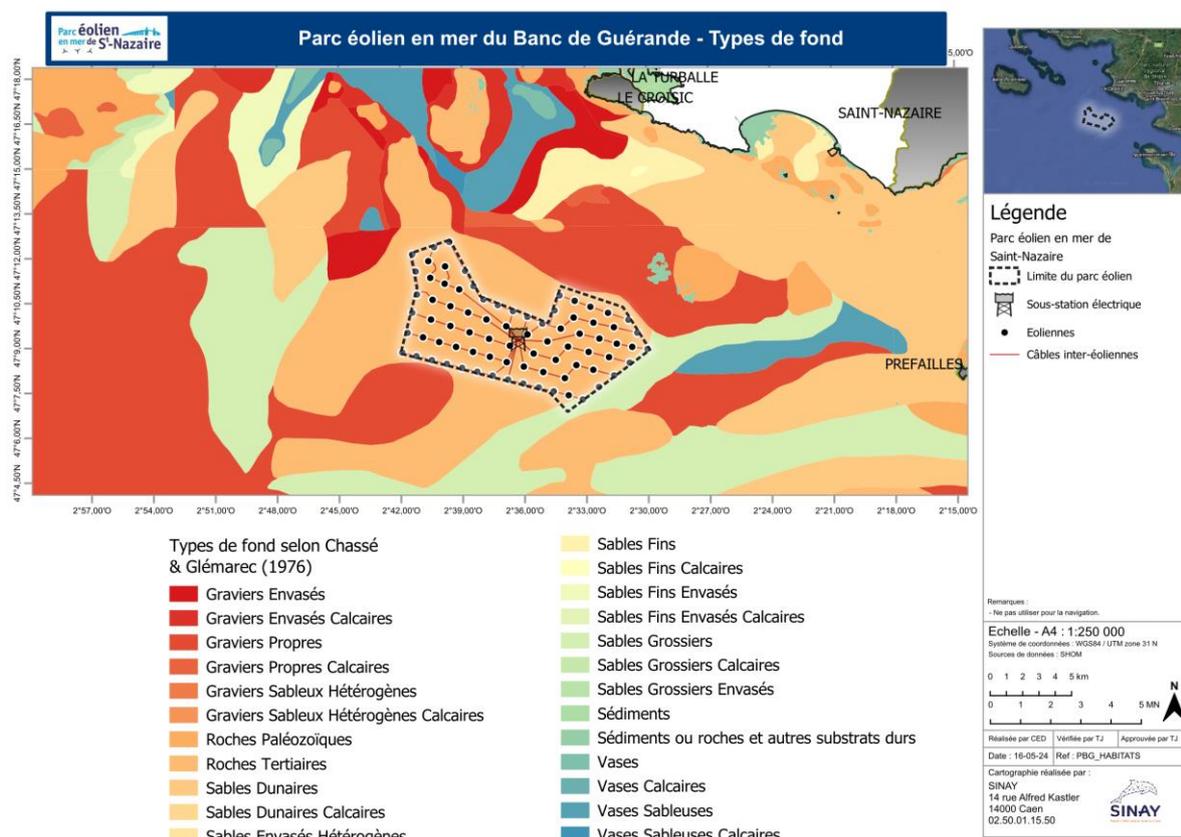


Figure 4 : Cartographie des habitats benthiques aux alentours du parc éolien en mer de Banc de Guérande.

Le suivi repose sur le principe *BACI* (*Before-After Control-Impact*) introduit par (Green, 1979)<sup>7</sup>. Il est réalisé sur la base de comparaisons temporelles (état de référence / état perturbé) et spatiales (zone affectée par la présence du parc / zone témoin). Selon ce principe, le plan d'échantillonnage de la présente étude, dont la position, la période et la fréquence des activités de collecte de données, est adapté aux méthodes d'analyse statistiques employées.

*BACI* est aujourd'hui reconnue comme une méthode standard pour prendre en compte les aspects environnementaux lors des développements industriels et est préconisée pour les mesures MSu1, MSu3 MSu5 et MSu6 des programmes de suivi des parcs éoliens en mer.

Le concept à la base de *BACI* est la comparaison de paramètres (environnementaux, biologiques, écologiques) mesurés dans deux situations géographiques et deux moments différents (Figure 5) :

- Une zone impactée (la zone qui constitue le parc éolien) ;
- Une zone témoin (ce qui se situe à l'extérieur des limites du parc éolien, normalement non-impacté par la présence et le fonctionnement de celui-ci) ;
- Avant que les impacts se vérifient (c'est à dire l'état de référence, avant le début de l'implantation du parc éolien) ;
- Une fois le parc éolien mis en service, au cours de son exploitation.

<sup>7</sup> Sampling design and statistical methods for environmental biologists

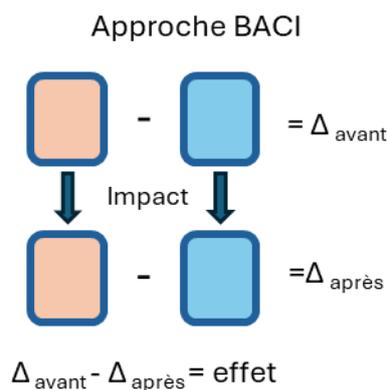


Figure 5 : Schéma de l'approche BACI (extrait de Secor D. 2017. Priorities and challenges of monitoring).

L'approche *BACI* mise en œuvre par Sinay prend en considération l'ensemble de ces raisonnements scientifiques pour produire les éléments nécessaires au suivi de l'impact de la présence du parc éolien en mer sur les ressources halieutiques. Ces éléments sont produits à partir de mesures effectuées dans deux zones, à l'intérieur de la zone de parc et en dehors. Pour cela, des prélèvements sont effectués dans les deux zones à l'échelle de nombreuses stations à des périodes supposées représentatives de la variabilité naturelle de phénologie des espèces.

### 3.1 PLANIFICATION ET REALISATION – DEROULEMENT DE L'ETUDE DE SUIVI

#### 3.1.1 CALENDRIER DES CAMPAGNES

Le suivi en phase d'exploitation du parc éolien du Banc de Guérande a été prévu entre avril et décembre 2023. Les mois préférentiels ont été identifiés au regard des jeux de données existants issus de l'État initial (2013-2014), de l'État de référence (2019-2020) et du suivi en phase de travaux (2021-2022).

Parc éolien en mer de S-Nazaire	année mois	PLANNING DE MISE EN ŒUVRE DES MESURES DE SUIVI EN PHASE D'EXPLOITATION											
		2023											
Nom de la mesure		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MSU1 - Suivi de la qualité des eaux													
MSU3 - Campagne de pêche scientifique aux grands crustacés - Casier													
MSU5 - Suivi des ressources halieutiques et autres poissons - Filets													
MSU5 - Suivi des ressources halieutiques et autres poissons - Palangres													
MSU6 - Suivi des peuplements larvaire - Bongo													
Saisonnalité des données existantes (État Initial - État référence - Suivi pendant travaux)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Casiers						2014 2019 2022	2013 2021	2014 2019 2022		2013 2014 2020 2020			
Filets							2014 2021 2022	2019		2013 2014 2021	2021	2014	
Palangres		2020			2019	2021 2022	2014		2013	2019 2021 2022			2014 2021

Figure 6 : Calendrier des campagnes de 2023 pendant la phase d'exploitation.

#### 3.1.2 QUALITE DE L'EAU (MSU1)

Pour chaque campagne en mer (ichtyoplancton et métiers) et à chaque station de pêche, la mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau a été réalisée. Cette mesure s'effectue à la sonde multi-paramètres selon un double profil descendant et ascendant dans l'ensemble de la colonne d'eau (vitesse inférieure à 1m/s).

Les paramètres à relever sont les suivants :

- **Paramètres hydrologiques** : température et salinité de la colonne d'eau ;
- **Paramètres descriptifs de la turbidité** : mesure optique (NTU : nephelometric turbidity unit) ;
- **Paramètres biologiques** : concentration en fluorescence et en oxygène dissous ;



Figure 7 : Utilisation de la sonde multi-paramètres lors d'une campagne en mer pour les besoins des missions MSu1.

### 3.1.3 CAMPAGNE DE COLLECTE D'ICHTYOPLANCTON EN MER (MSu6)

#### 3.1.3.1 Campagne ichtyoplancton - Planification

L'objectif principal de la campagne est le suivi de l'évolution de la ressource, basé sur la collecte d'ichtyoplancton (œufs et larves de Poissons) mais aussi d'œufs et larves de grands Crustacés. Cette étape est critique dans le cycle de vie des espèces concernées car les œufs et les larves par leur mode de vie planctonique présentent une forte sensibilité aux conditions du milieu, notamment la qualité de l'eau, les ressources alimentaires ou encore la prédation. Le suivi à différentes échelles spatiales et temporelles a pour but d'évaluer l'effet éventuel des travaux sur la fonction « frayère » pour les espèces résidentes de la zone d'étude (cf. description de la méthode BACI).

Cinq missions ont été réalisées à une fréquence mensuelle à l'échelle de 5 stations d'échantillonnage d'avril à août 2023. Cette période a été identifiée comme la plus intéressante lors de l'étude de l'état initial. Pendant cette période, les œufs et larves qui peuvent être collectés dans l'aire d'étude sont plus abondants et diversifiés. Il est inévitable que certaines espèces ne soient pas prélevées en raison du décalage de leur période de reproduction plutôt hivernale, notamment 3 espèces d'intérêt commercial, le Bar, le Lieu jaune et la Sole commune. La période sélectionnée reste toutefois intéressante pour suivre les espèces de Poissons pélagiques telles que la Sardine, l'Anchois, le Chinchard. Les stations d'échantillonnage ciblées lors de chaque mission MSu6 sont les mêmes que celles des campagnes de collecte de plancton lors de l'état de référence.

Deux modifications du plan d'échantillonnage ont eu lieu depuis le début des campagnes en 2019 à l'échelle de la station D dans le but de respecter une distance de sécurité vis-à-vis des navires d'installation présents dans le secteur pendant la période de construction du parc éolien. Un décalage de quelques centaines de mètres en a résulté. Ce décalage est considéré comme mineur au regard de

la distance entre les stations et en considérant que la localisation du zooplancton fluctue au gré des courants et des vents.

La Figure 8 illustre la localisation des stations d'échantillonnage pour les campagnes MSu6.

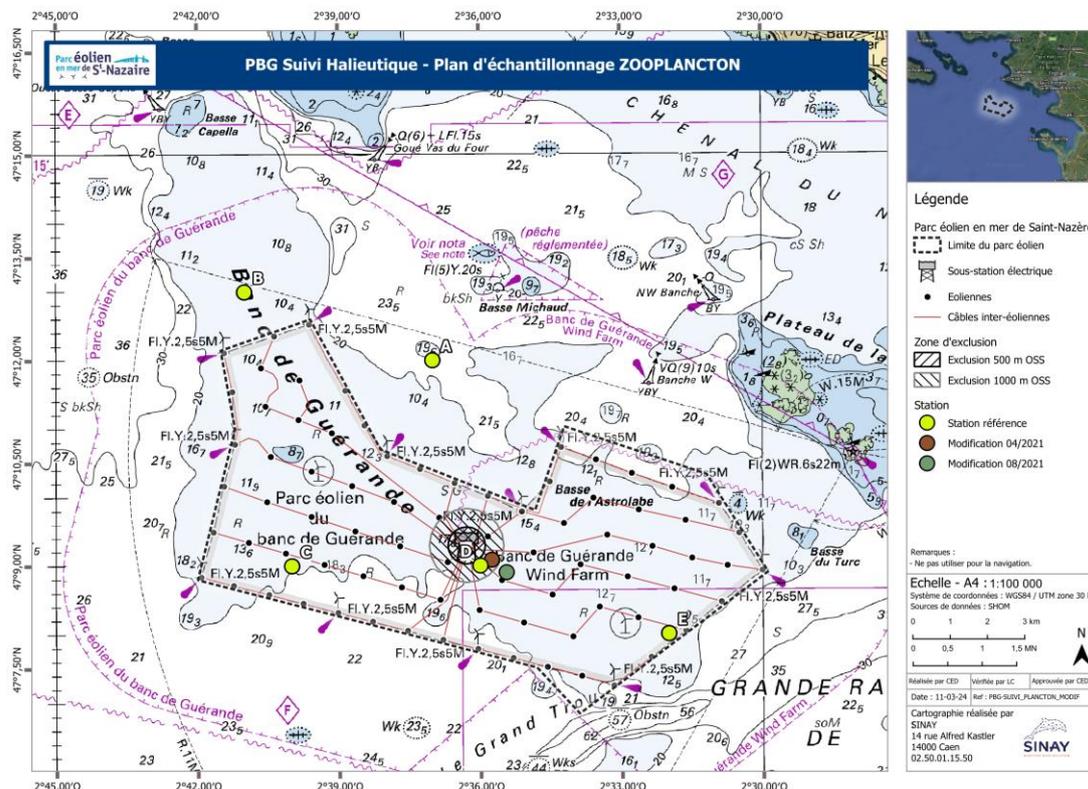


Figure 8 : Cartographie des stations d'échantillonnage prévues pour les missions ichtyoplanctoniques (MSu6) et modifications du plan d'échantillonnage apportées en avril et août 2021.

La position géographique des stations à échantillonner est présentée dans le Tableau 4 :

Tableau 4 : Positions géographiques des stations à échantillonner dans le cadre des campagnes ichtyoplanctoniques (MSu6).

Station	Latitude	Longitude
Référence A	47°12,000'N	2°37,000'W
Référence B	47°13,000'N	2°41,000'W
Parc C	47°09,000'N	2°40,000'W
Parc D	47°09,000'N	2°36,000'W
Parc E	47°08,000'N	2°32,000'W

Afin d'assurer la continuité et la possibilité de comparer les résultats des études successives à l'échelle du site, le moyen de collecte d'échantillons d'ichtyoplancton est identique quant aux dimensions à celui mis en œuvre lors de l'état initial et de l'état de référence. Il s'agit d'un filet à plancton à double collecteur de type BONGO (Figure 9) comme recommandé pour l'étude de l'ichtyoplancton (Smith & Richardson, 1977). Il se compose de deux lunettes de 50 cm de diamètre sur chacune desquelles est adapté un filet à plancton de forme conique. Le vide de maille des filets est de 500 µm. Cette dimension normalisée et utilisée dans les protocoles de référence (Heral, Woehrling, Halgand, & Lassus, 1979) permet de collecter des œufs de poissons. La collecte d'ichtyoplancton s'effectue à contre-courant dans la mesure du possible, entre la surface et environ 12 m de profondeur, avec une moyenne comprise entre 5 et 7 m. Afin de s'assurer du succès d'un prélèvement, le filet Bongo est équipé d'un

ordinateur de plongée qui indique la profondeur moyenne et la profondeur maximale du trait. Un trait est effectué en début de mission pour évaluer la possibilité de colmatage des collecteurs. Ce test permet d'adapter le temps de trait généralement compris entre 10 et 15 minutes.

Les échantillons sont ensuite conservés dans une solution adaptée (formol) et livrés à la Station Marine du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) de Concarneau.

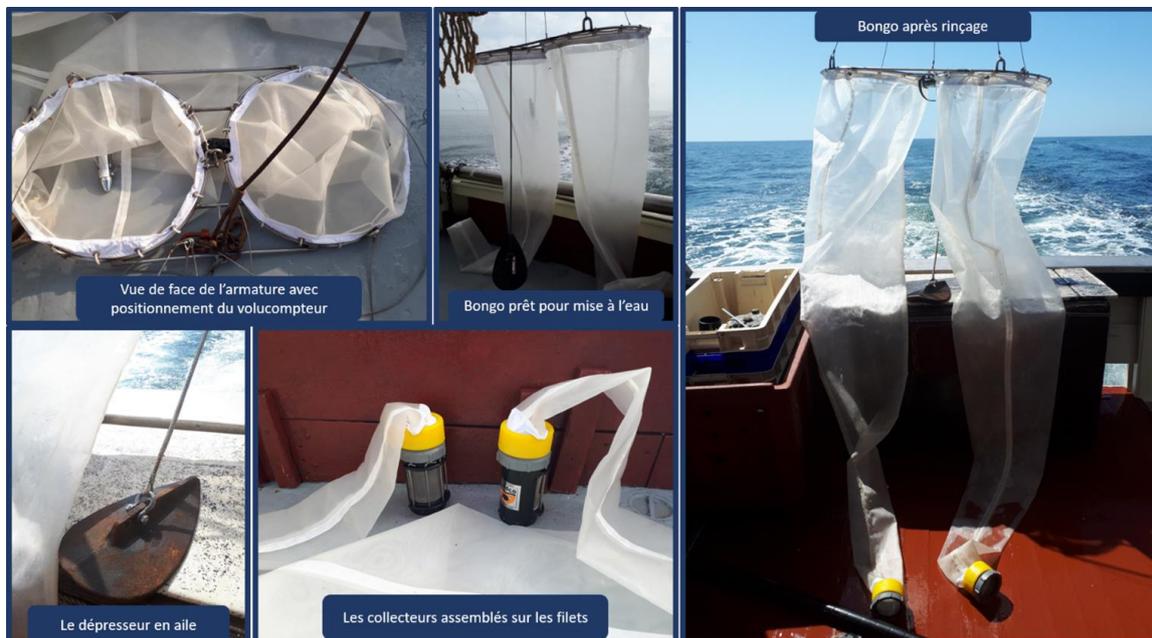


Figure 9 : Présentation du filet Bongo utilisé lors de la campagne de collecte MSu6.

### 3.1.3.2 Campagne ichtyoplancton - Réalisation

Le Tableau 5 résume les caractéristiques de chacune des missions réalisées dans le cadre des campagnes ichtyoplanctoniques de 2023 (dates effectives, ports d'embarquement, navires affrétés, coefficients de marée et conditions météo-océaniques). Ces missions se sont bien déroulées d'avril à août 2023 comme prévu dans le plan d'échantillonnage.

Tableau 5 : Caractéristiques des missions ichtyoplanctoniques (MSu6) réalisées en 2019 (état de référence) et 2023 (exploitation).

Mission	Date	Lieu d'embarquement	Navire	Coef. de marée	État de la mer
2019-04	13/04/2019	La Turballe	ÇAM'BOT	44	Vent établi force 4 Bft - 5 Bft en rafales - Mer agitée (mer de vent > 1,25m)
2019-05	23/05/2019	La Turballe	ÇAM'BOT	68	Vent faible à nul - Mer ridée (vagues < 0,1m) - Ciel dégagé
2019-06	25/06/2019	Le Croisic	DEN HELIGA	42	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m) - Ciel dégagé
2019-07	25/07/2019	Saint-Nazaire	MADMAN	44	Vent 1 à 4 Bft - Mer belle à peu agitée (vagues < 1,25m) - Ciel partiellement couvert, grains de pluie
2019-08	22/08/2019	Le Croisic	DEN HELIGA	58	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m) - Ciel dégagé
2023-04	17/04/2023	Pornichet	MADMAN	72	Vent faible à nul - Mer ridée (vagues < 0,1m)
2023-05	22/05/2023	Pornichet	MADMAN	73	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m)
2023-06	14/06/2023	Pornichet	MADMAN	62	Vent faible à nul - Mer ridée (vagues < 0,1m)
2023-07	19/07/2023	Pornichet	MADMAN	73	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m)
2023-08	18/08/2023	Pornichet	MADMAN	68	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m)

La Figure 10 présente les stations échantillonnées sur les cinq missions effectuées en 2023 sur l'aire d'étude rapprochée et l'aire d'étude éloignée.

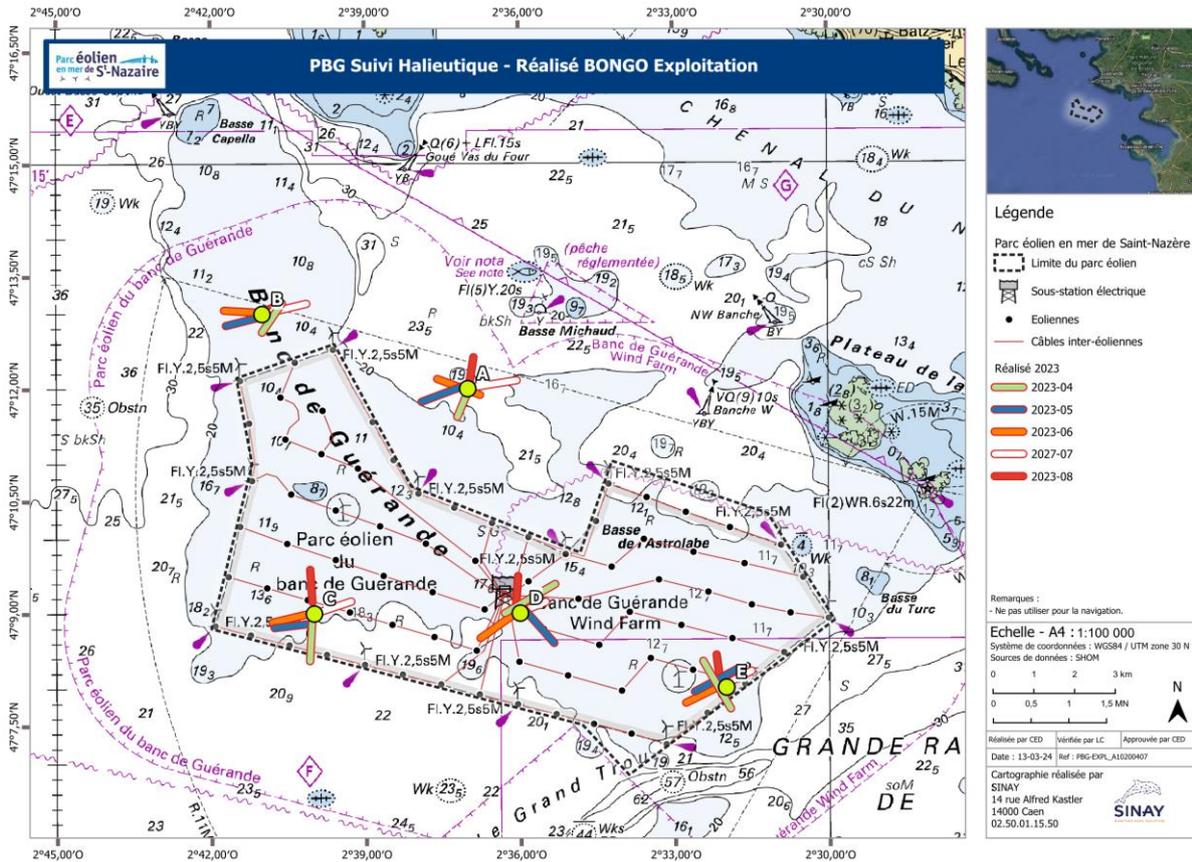


Figure 10 : Localisation des stations échantillonnées au cours des missions ichthyoplanctoniques (MSU6) en 2023.

### 3.1.4 CAMPAGNES METIERS (MSU3 ET MSU5)

Afin de toujours disposer de stations à l'intérieur du parc (aire d'étude rapprochée) et à l'extérieur des limites du parc éolien (aire d'étude éloignée), des zones préférentielles de filage sont planifiées, elles apparaissent sur la Figure 11. Ce choix s'explique par la mobilité des espèces ciblées et les variabilités des conditions météo-océanologiques rendant certaines parties de la zone d'étude non praticables à certaines périodes de l'année.

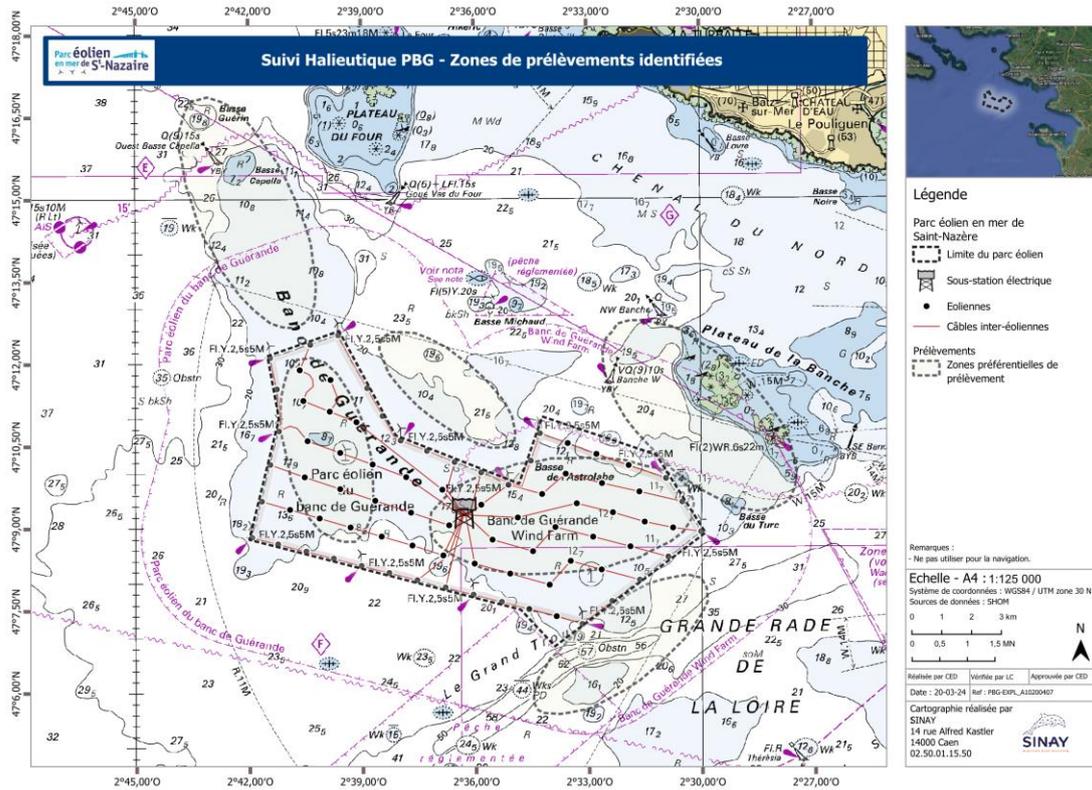


Figure 11 : Cartographie des zones de prélèvements prévues pour les campagnes métiers (MSu3 et MSu5).

### 3.1.4.1 Campagne casiers (MSu3) - Planification

L'objectif de cette campagne est le suivi des populations d'adultes et juvéniles des différentes espèces de grands crustacés en fonction de la saisonnalité des principales espèces du site (homard, araignée et tourteau) et présentant un intérêt halieutique. Pour cette campagne, 3 missions de 2 jours sont prévues : une mission au printemps, une mission en été et une mission en automne.

Pour chaque mission, un minimum de 6 stations est à échantillonner à l'intérieur de la zone du parc éolien et 4 stations à l'extérieur de la zone (stations de référence) au moyen de filières d'au moins 40 casiers à crustacés. La durée d'immersion des casiers est d'environ 24 heures.

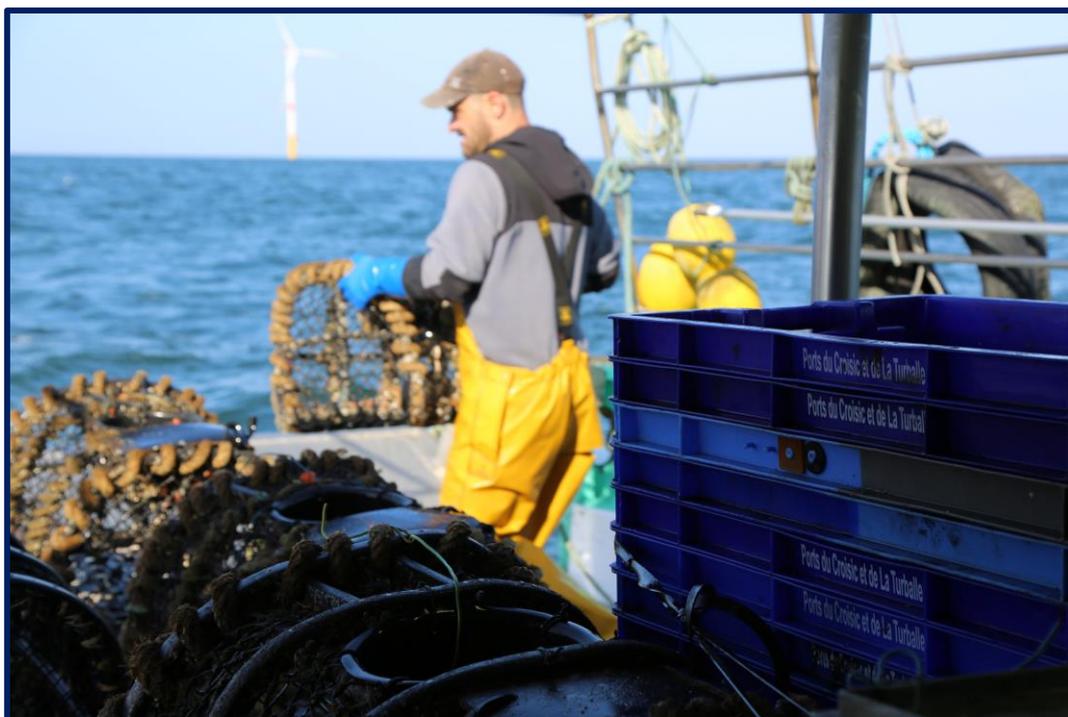


Figure 12 : Casiers utilisés pour les campagnes MSu3 à l'arrière du navire  
En arrière-plan une des éoliennes du parc.

### 3.1.4.2 Campagne casiers (MSu3) - Réalisation

Les caractéristiques de chacune des missions réalisées pour les campagnes aux casiers (dates effectives, port d'embarquement, navire affrété, coefficient de marée et conditions météo-océaniques) sont présentées dans le Tableau 6. Les missions de l'étude d'état de référence et celles du suivi en exploitation ont eu lieu à des périodes identiques.

Lors de l'état de référence comme lors du suivi en phase d'exploitation, deux missions par campagne ont pu être réalisées, la troisième ayant été impossible à organiser en raison des mauvaises conditions météorologiques pour ces deux campagnes.

Tableau 6 : Caractéristiques des missions aux casiers (MSu3) réalisées en 2019 (état de référence) et 2023 (exploitation).

Mission	Date	Lieu d'embarquement	Navire	Coef. de marée	État de la mer
2019-05	30/05/2019	Le Croisic	ATLANTIDE	49	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m) - Ciel dégagé
2029-07	08/07/2029	Le Croisic	ATLANTIDE	72	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m) - Ciel dégagé
2023-05	25/05/2023	Le Croisic	ATLANTIDE	50	Vent 1 à 3 Bft - Mer belle à peu agitée (vagues < 0,5 m)
2023-07	05/07/2021	Le Croisic	ATLANTIDE	92	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m)

La Figure 13 présente les stations échantillonnées au cours des missions d'étude de l'état de référence (2019) et de suivi en exploitation (2023).

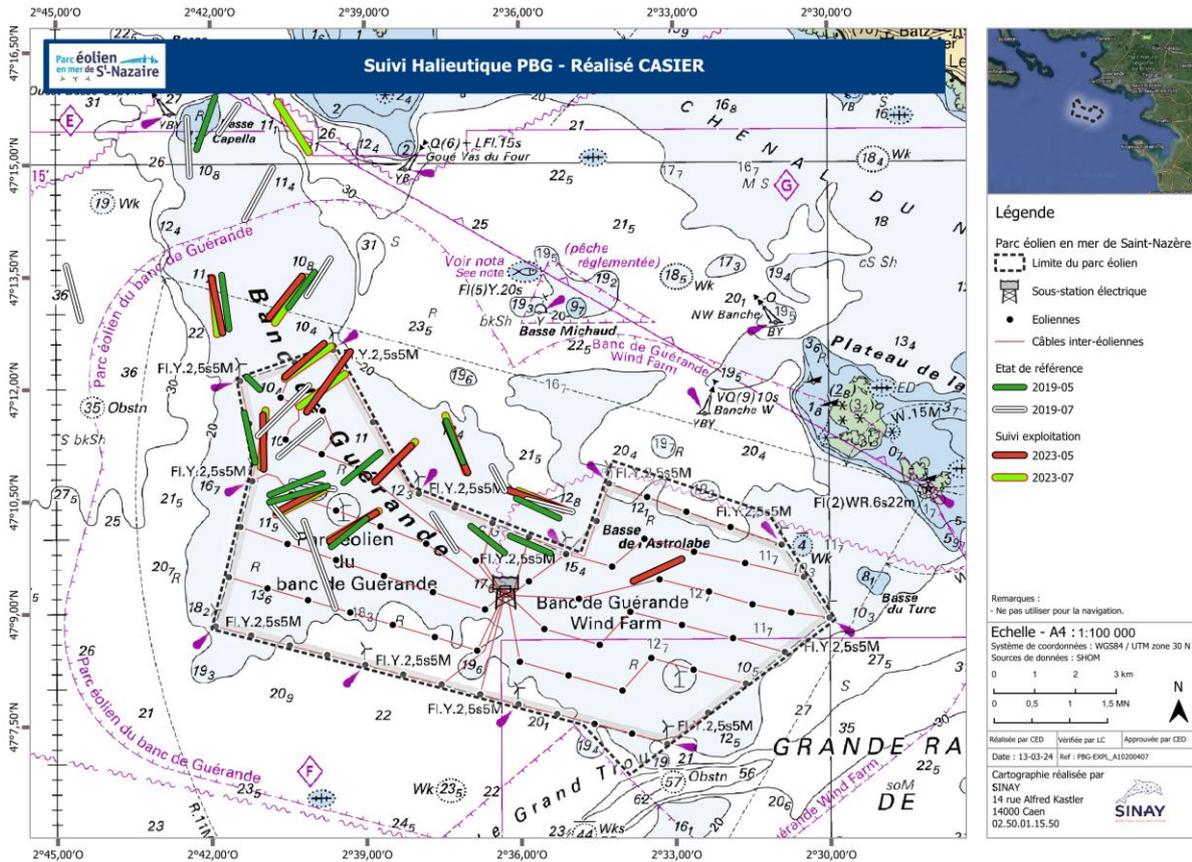


Figure 13 : Localisation des stations échantillonnées au cours des missions aux casiers en 2019 et 2023.

### 3.1.4.3 Campagnes filets (MSu5a) - Planification

L’objectif de cette campagne est le suivi des populations d’adultes et juvéniles des différentes espèces de poissons et accessoirement grands crustacés en fonction de la saisonnalité des principales espèces du site (Lieu jaune, Tacaud, Vieille, Araignée) et présentant un intérêt halieutique. Trois missions ont été prévues : une mission en été, une mission en automne et une mission en hiver.

Pour chaque campagne, un minimum de 6 stations est échantillonné à l’intérieur de la zone du parc éolien et 4 stations à l’extérieur de la zone (stations de référence) avec des séries de filets type trémail ou « pêche-tout » de 300 m chacun. La connaissance du pêcheur partenaire est déterminante afin de déployer le matériel à des endroits présentant le minimum de risque de perte par croche ou casse, tout en couvrant au maximum la zone d’étude, sans considération de potentiel de capture.



Figure 14 : Parc à l'arrière du navire rassemblant les filières utilisées pour les campagnes MSu5a.

#### 3.1.4.4 Campagnes filets (MSu5a) - Réalisation

Le Tableau 7 résume les caractéristiques de chacune des missions réalisées pour les campagnes aux filets (dates effectives, port d'embarquement, navire affrété, coefficient de marée et conditions météo-océaniques). Deux missions sur trois ont été effectuées en été et une en automne, avec le même navire.

Tableau 7 : Caractéristiques des missions aux filets (MSu5a) réalisées pour le en 2019 (état de référence) et 2023 (exploitation).

Mission	Date	Lieu d'embarquement	Navire	Coef. de marée	État de la mer
2019-07	02/07/2019	Le Croisic	KAB DAVID III	81	Vent 3 Bft - Mer belle à peu agitée (vagues < 1,25m) - Ciel dégagé
2019-09	23/09/2019	Le Croisic	KAB DAVID III	37	Vent 4 à 5 Bft - Mer agitée (vagues < 2,5m) - Ciel nuageux à couvert - Pluie
2023-06	13/06/2023	Le Croisic	AR TARZH	58	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m)
2023-09	12/09/2023	Le Croisic	AR TARZH	59	Vent 1 à 2 Bft - Mer belle (vagues < 0,5m)
2023-12	19/12/2023	Le Croisic	AR TARZH	64	Vent 1 à 4 Bft - Mer belle à peu agitée (vagues < 1,25 m)

La Figure 15 présente les stations échantillonnées au cours des missions d'étude de l'état de référence (2019) et de suivi en exploitation (2023).

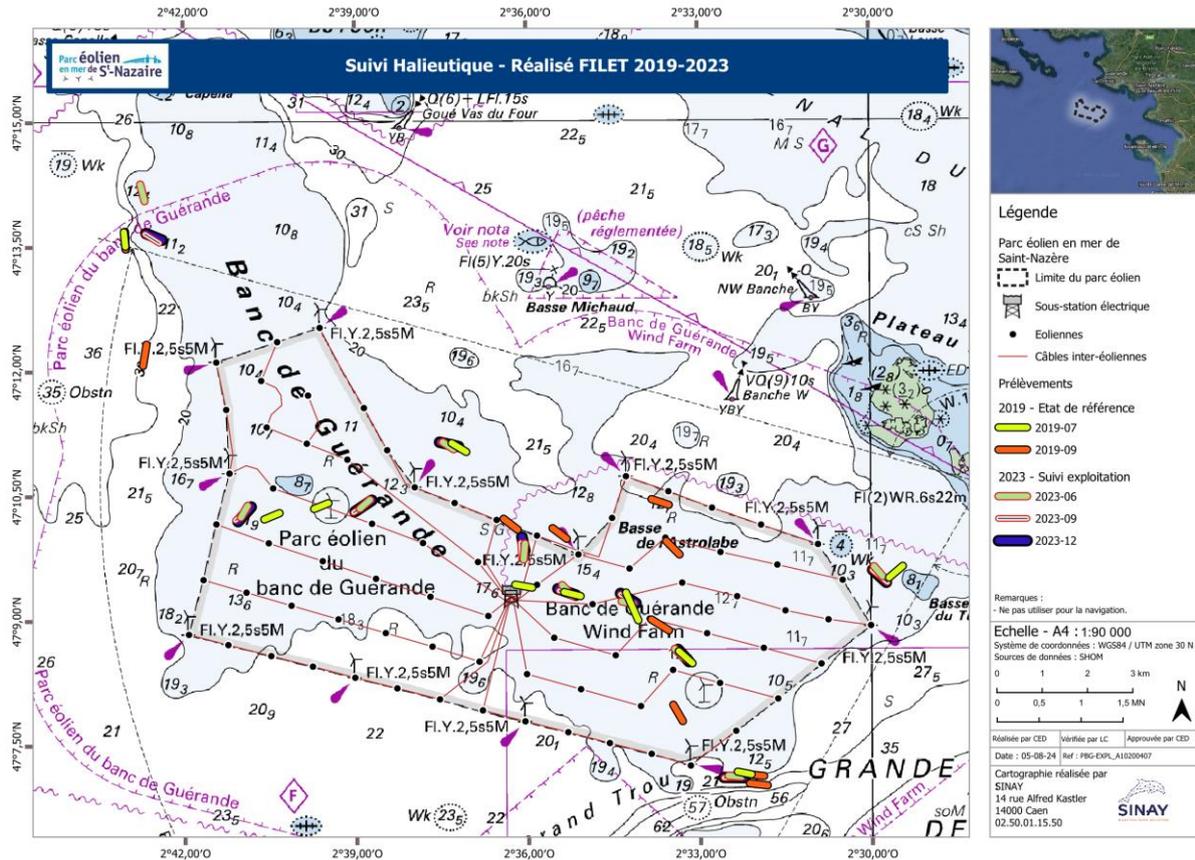


Figure 15 : Localisation des stations échantillonnées au cours des missions au filet (MSu5a) en 2019 et 2023.

### 3.1.4.5 Campagnes palangres (MSu5b) - Planification

L'objectif de cette campagne est le suivi des populations de poissons utilisant l'aire d'étude comme site de nourrissage ; pour ce faire des palangres avec hameçons appâtés sont utilisées. Les espèces principalement ciblées sont le bar commun (*Dicentrarchus labrax*) et le lieu jaune (*Pollachius pollachius*). Trois missions ont été prévues : une mission au printemps, une mission en automne et une mission en hiver. Au cours de chaque mission, il est prévu de déployer un minimum de 10 palangres mixtes, permettant de cibler les espèces démersales et comportant chacune au minimum 50 hameçons fournies par le pêcheur partenaire. Parmi ces 10 palangres, 6 doivent être installées dans l'aire d'étude rapprochée, 4 dans l'aire éloignée.



Figure 16 : Préparation des appâts sur les séries de palangres par un marin lors des campagnes MSu5b.

### 3.1.4.6 Campagnes palangres (MSu5b) - Réalisation

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de chacune des missions réalisées pour les campagnes aux palangres (dates effectives, port d'embarquement, navire affrété, coefficient de marée et conditions météo-océaniques). Les missions aux palangres respectent bien la saisonnalité du plan d'échantillonnage prévu pour ce métier : chaque mission s'est déroulée pendant une saison différente. Les temps d'immersion des engins sont comparables entre station d'une campagne à l'autre.

Tableau 8 : Caractéristiques des missions aux palangres (MSu5b) réalisées pour le suivi.

Mission	Dates (filage et virage)	Lieu d'embarquement	Navire	Coef. de marée	État de la mer
2019-04	29/04/2019 30/04/2019	Le Croisic	KIOSGA	35	Vent 3 Bft mollissant en cours de journée - Mer peu agitée (vagues < 1,25m) - Ciel couvert
2019-09	04/09/2019 06/09/2019	Le Croisic	KIOSGA	88	Vent 3 Bft mollissant en cours de journée - Mer belle (vagues < 0,5m) - Ciel couvert
2023-05	11/05/2023 12/05/2023	Le Croisic	KIOSGA	54	Vent 1 à 4 Bft - Mer belle à peu agitée (vagues < 1,25 m)
2023-09	14/09/2023 15/09/2023	Le Croisic	KIOSGA	77	Vent faible à nul - Mer ridée (vagues < 0,1m)
2023-12	15/12/2023 16/12/2023	Le Croisic	KIOSGA	85	Vent 1 à 4 Bft - Mer belle à peu agitée (vagues < 1,25 m)

La Figure 17 présente les stations échantillonnées au cours des missions d'étude de l'état de référence (2019) et de suivi en exploitation (2023).

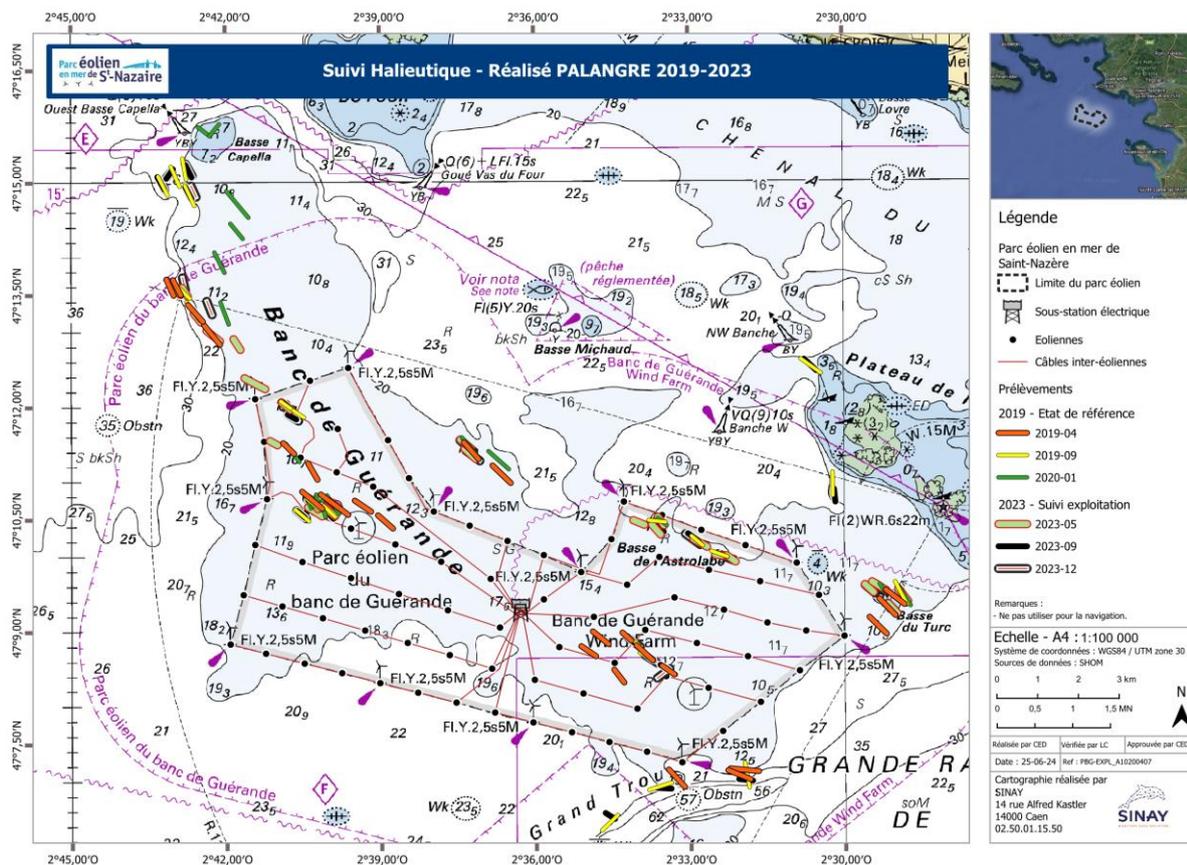


Figure 17 : Localisation des stations échantillonnées au cours des missions aux palangres (MSu5b) en 2019 et 2023.

## 3.2 MODALITÉS D'INTERPRÉTATION

### 3.2.1 ANALYSES DESCRIPTIVES ET INDICATEURS

L'analyse est réalisée à l'échelle des peuplements et des espèces et/ou groupe d'espèces d'importance (abondance, intérêt halieutique, patrimonial, etc.) capturées par chaque type d'engin (filet, palangre, casier et filet bongo). Dans le cas des captures au filet bongo, les œufs, les larves et le reste du zooplancton sont distingués :

- L'analyse à l'échelle des peuplements permet une caractérisation spatio-temporelle des peuplements présents à l'échelle de la zone d'étude. Elle porte principalement sur :
  - o Les richesses spécifiques, indices de diversité et d'équitabilité et fréquences d'occurrences ;
  - o Les abondances (via les CPUE pour les captures au filet, à la palangre et au casier) ;
  - o L'analyse des assemblages spatio-temporels ;
- L'analyse à l'échelle des espèces et/ou groupe d'espèces permet de décrire de façon détaillée les populations en présence. Elle porte principalement sur l'abondance (via les CPUE) et l'analyse des classes de tailles.

#### 3.2.1.1 Définitions

- Richesse spécifique (S)

C'est la mesure de la diversité la plus simple, fondée sur le nombre total d'espèces observées pour un échantillon donné. Elle permet également de distinguer des hétérogénéités spatiales et des variations temporelles

- Diversité spécifique (H) à Indice de Shannon (H')

L'indice de Shannon permet de donner un poids aux différentes espèces en fonction de leur abondance ou leur biomasse. Ainsi il reflète plus justement la diversité d'un échantillon que la richesse spécifique simple. Cet indice est la base de calcul de l'équitabilité.

Indice de Shannon calculé sur la base des effectifs : 
$$H'_N = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \times \log_2 \frac{n_i}{N}$$

$n_i$  représente le nombre d'individus de l'espèce  $i$  ;  $N$  est l'effectif total

- Équitabilité spécifique (J)

L'indice d'équitabilité de Pielou dérive de l'indice de diversité et renseigne sur la distribution du nombre d'individus (ou de la biomasse) par espèce ; il est le rapport entre la diversité spécifique et la diversité maximale théorique.

$$J = \frac{H'}{H_{max}} \quad \text{avec } H_{max} = \log_2 S$$

La valeur de J varie entre 0 et 1, tendant vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce ; elle est de 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance. L'indice de l'équitabilité détermine soit le rapprochement soit l'éloignement entre  $H'$  et  $H_{max}$ . Cet aspect est indicateur de la diversité, en raison du rapprochement ou de l'éloignement d'indice de diversité de la valeur 1.

- Fréquence d'occurrence

Ce descripteur permet d'identifier le nombre de fois qu'une espèce est identifiée dans l'échantillon.  $E_i$  correspond au nombre de fois qu'une espèce a été observée dans un nombre N de prélèvements. FO est la fréquence des observations de l'espèce E dans un nombre N de prélèvements. Si une espèce est observée à toutes les stations, FO = 1 (ou 100%).

$$FO = 100 \times \frac{E_i}{N}$$

- Captures par unité d'effort (CPUE)

Les effectifs et biomasses brutes ne permettent pas, tels quels, de comparer les stations entre elles. En effet, l'effort d'échantillonnage n'est pas le même selon les campagnes, missions, voire les stations. Il est donc nécessaire de pondérer les données brutes avec les moyens mis en œuvre pour les obtenir. Les CPUE sont calculées pour chaque espèce et station à partir des effectifs et biomasses.

Le calcul des CPUE est différent en fonction de la technique de collecte utilisée. Les CPUE suivantes ont été retenues pour cette étude :

Casiers : nb/100casiers/24h et kg/100casiers/24h

Filet : nb/1000m de filet/24h et kg/1000m de filet/24h

Palangre : nb/1000hameçons/h et kg/1000hameçons/24h

### 3.2.1.2 Analyse de la structure en taille

Dans un premier temps, les tailles moyennes, minimales et maximales sont calculées par espèce. Les nombres d'individus par classe de taille sont ensuite représentés sur un graphique de distribution et les structures de populations sont comparées par phase de suivi de manière qualitative.

Chaque prélèvement se voit attribuer dans la base de données une valeur de « Type d'habitat » et la valeur moyenne de chacun des paramètres physico-chimiques de l'eau dans la zone proche de la surface ainsi que proche du fond. Le traitement effectué par variables permettra d'obtenir des résultats regroupant les stations d'un même habitat. Afin de rester comparable aux résultats de l'état de référence (2019-2020), l'analyse reprend la même structure de plan, à savoir par type de campagne « métier ». Ainsi pour chaque campagne (plancton, casier, filet, palangre.) seront présentés les résultats obtenus et leur comparaison avec ceux de l'état de référence.

### 3.2.2 TRAITEMENTS STATISTIQUES

L'ensemble des données collectées depuis l'état de référence a été inclus pour la réalisation de ces traitements.

Les moyennes d'abondance, biomasse, et diversité entre zones et entre missions ont été comparées à l'aide de tests non-paramétriques de Kruskal-Wallis, et comparaisons par paires avec tests de Mann-Whitney avec correction post-hoc de Bonferroni.

Pour l'approche BACI, les mêmes variables ont été comparées en considérant les facteurs zone (contrôle et impact) et période (référence, travaux, exploitation). N'ayant pas d'équivalent non-paramétrique multifactoriel, un premier test ANOVA à deux facteurs (two-way ANOVA dans le texte) a été réalisé pour chaque variable. Les comparaisons par paires *à posteriori* ont été réalisées avec tests de Tukey.

Ces tests ont également été utilisés dans le cadre de l'étude monospécifique (par espèce).

Afin de normaliser et de rendre aussi objective que possible la comparaison des prélèvements entre eux, pour chaque type de campagne, une analyse multivariée sous la forme d'un positionnement multidimensionnel non-métrique (nMDS) est réalisée. Cette analyse a pour objectif de synthétiser au mieux la variance totale de la matrice de distance (Bray-Curtis). L'unique représentation graphique est le graphique qui montre la position des « individus » (ici, chaque station d'échantillonnage à une date précise) dans un plan composé de deux axes.

Les distances interindividuelles dans l'espace multivarié créé par l'analyse sont proportionnelles aux distances interindividuelles réelles. C'est-à-dire que plus les individus (prélèvements) sont proches à l'échelle de cette représentation graphique, plus les valeurs de leurs paramètres (leur peuplement en particulier) sont similaires. Selon le même principe, plus elles sont éloignées, plus ces valeurs sont différentes. Le graphique des individus (prélèvements) permet donc d'identifier s'il existe une structuration dans le jeu de données (en groupes de prélèvements, le long d'un gradient...). Si des groupes sont suspectés, ils peuvent ainsi être déterminés de façon objective.

La qualité de l'ajustement des distances est évaluée grâce à la fonction de perte, également appelée « stress » (Kruskal, 1964) :

- STRESS > 0.20 : mauvais
- $0.10 < \text{STRESS} < 0.20$  : passable
- $0.05 < \text{STRESS} < 0.025$  : bien
- STRESS < 0.025 : excellent
- STRESS = 0 : parfait.

Une série de variables environnementales, obtenues des échantillonnages de la qualité de l'eau, a aussi été ajustée à l'ordination par nMDS. L'approche employée est une série de GAM (un pour chaque variable, prise en compte séparément), et vise à obtenir la meilleure corrélation entre les vecteurs environnementales et les projections des points (stations) sur l'espace bi-dimensionnel.

## 4 LIMITES DE L'ÉTUDE

Nous décrivons ci-dessous les limites de l'étude, c'est-à-dire les points importants de cadrage des résultats attendus, les difficultés liées à la mise en œuvre des campagnes et la possibilité d'interprétation des résultats.

- Les prélèvements de certaines campagnes (ex : pêche aux casiers) ont pu être localisés à des positions différentes d'une campagne à l'autre, pour la raison qu'une zone d'exclusion autour des éoliennes (50 m) et de la sous-station électrique (200 m) est en vigueur, ou bien que les opérations de maintenance des infrastructures ne permettaient pas d'accéder à certaines positions. Dans tous les cas, un effort a été réalisé pour chercher à localiser les stations de pêche dans des habitats similaires à ceux faisant l'objet du suivi.
- Dans le cadre des données de captures au filet, il apparaît un biais dans le calcul des CPUE en lien avec la durée d'immersion des engins de pêche. En effet, rapporté à l'unité de temps, le nombre d'individus prélevés par un filet immergé 2 heures est quatre fois supérieur à celui prélevé par un filet immergé 8 heures. Or les captures avec ces engins s'effectuent majoritairement en un temps relativement court autour du lever ou du coucher de soleil. Ainsi tout le temps hors de ce créneau est fortement moins propice à la capture, ce qui n'est pas reflété par la méthode de calcul standard.

Il est nécessaire de veiller à ce que l'ensemble des engins posés au cours d'une même mission soient immergés pendant une durée sensiblement identique, et de manière générale, que la durée d'immersion des engins soit sensiblement identique entre les missions. Ceci représente une difficulté importante en termes opérationnels et doit être discuté avec les intervenants concernés au moment de la planification de l'échantillonnage. Une autre approche proposerait de s'affranchir totalement de la durée d'immersion des engins dans le traitement des données, ceci devra être discuté avec l'Ifremer pour juger de la pertinence d'un tel changement.

- 2023 est considérée comme l'année la plus chaude de l'histoire des suivis météo-océaniques, induisant des variations interannuelles importantes à court ou moyen terme, en lien avec les faibles débits de la Loire. Même si les résultats produits dans le cadre de cette étude ne montrent pas de record de valeur des paramètres physiques mesurés, des particularités ressortent. L'échelle spatio-temporelle réduite de l'étude peut difficilement permettre de détecter une corrélation entre les valeurs des paramètres physico-chimiques mesurées et celles des observations collectées.

## 5 RESULTATS DES SUIVIS QUALITE DES EAUX MARINES

### 5.1 RAPPEL DES OBJECTIFS

La fréquence du suivi ne permet pas de décrire le fonctionnement hydrologique au cours d'une année, en revanche il s'agit ici de vérifier si les données acquises intègrent la gamme de valeur habituelle ou si des valeurs inhabituelles ont été obtenues.

Pour répondre aux objectifs ci-dessus il est nécessaire de :

- Présenter le contexte hydrologique de la zone en tenant compte notamment des débits des fleuves influençant le secteur d'étude et en s'appuyant sur la bibliographie existante ;
- Resituer les années de suivi dans ce contexte hydrologique : année normale ou atypique ;
- Préciser les éventuelles variations spatiales relatives à l'homogénéité ou la stratification de la colonne d'eau.

### 5.2 CONTEXTE HYDROLOGIQUE

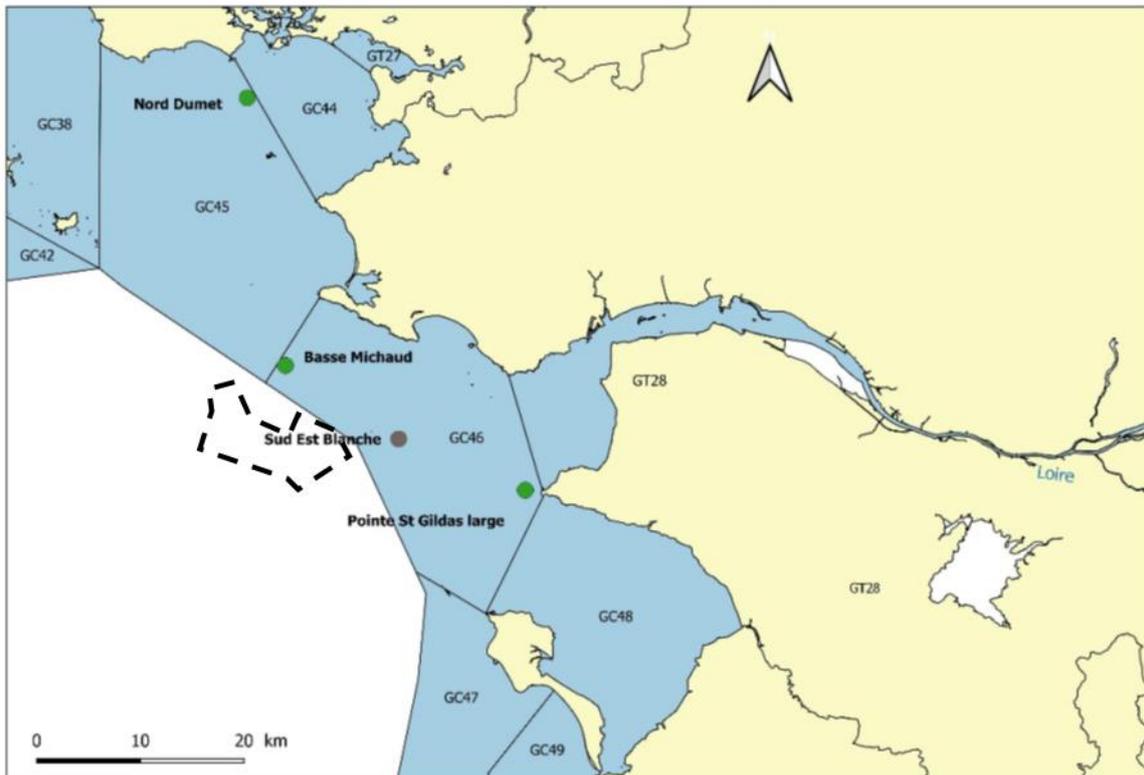
Dans le cadre du suivi de la qualité de l'eau du parc éolien en mer banc de Guérande, les stations échantillonnées sont situées au large de l'embouchure de la Loire, dans la partie Nord de la masse d'eau « Loire Large » (GC 46). Cette masse d'eau est délimitée à la côte par la Pointe Saint-Gildas, la Pointe de Chemoulin, la Pointe de Noirmoutier et la Pointe du Croisic, elle s'étend sur une superficie de 430 km<sup>2</sup> (Figure 18 ; *Le Merrer et al., 2022*).

Lorsque les débits de la Loire sont importants, principalement en hiver, la direction de propagation et la dispersion du panache dépendent de l'équilibre entre les forces de courants et le vent (*Le Merrer et al., 2022*). Pendant cette période, le régime principal des vents de Sud-Ouest oriente le panache de la Loire vers le Nord en le plaquant vers la côte. Lorsque les débits faiblissent comme au printemps et par vent de nord-ouest, le panache peut s'étaler vers le large et vers le Sud, (*Lazure et al, 1998, Iman Khojasteh, 2015*).

La station « Basse Michaud » retenue par le réseau RePHY en 2015, est située à proximité du parc éolien en mer de Saint-Nazaire, entre le plateau du Four et le plateau de la Banche (Figure 18). Sa localisation intègre l'influence de la Loire et de La Vilaine sur ce secteur. Cette station est soumise à un hydrodynamisme auquel la Loire participe fortement. La profondeur d'environ 30m permet à la colonne d'eau un potentiel de stratification thermique et haline plus important en été. Cette stratification thermique limite les échanges entre la surface et le fond et entraîne un appauvrissement en oxygène dissous en profondeur. Ainsi, les concentrations d'oxygène dissous estivales sont plus faibles au fond. Les pics de Chlorophylle *a* les plus importants sont observés au printemps sur cette station. Compte tenu de la taille de la masse d'eau, de sa répartition de part et d'autre de l'estuaire, l'influence du panache de la Loire sur les caractéristiques hydrologiques et biologiques de la masse d'eau pourrait être hétérogène (*Le Merrer et al., 2022*).

La station « Basse Michaud » est considérée comme station de référence lors des comparaisons des données physico-chimiques acquises à l'échelle du parc éolien en mer Banc de Guérande.

Il est à noter que les valeurs disponibles dans la base de données Quadrigé sont soit des valeurs de subsurface (-1m par rapport à la surface) et fond -1m (c'est à dire 1m au-dessus de la surface) ou des profils. Ce ne sont pas des moyennes de valeur sur 5 m. Or la présentation des résultats de la présente étude est réalisée dans la continuité des méthodes appliquées lors des précédentes études de suivi des ressources halieutiques du site. La comparaison entre ces deux types de données est biaisée mais la connaissance des tendances et leur ordre de grandeur restent une information intéressante.



Contour du parc éolien en mer de Saint Nazaire

Figure 18 : Positionnement des stations DCE/REPHY au large de la Loire (en vert lieux de surveillance actifs, en gris station expérimentale non activée ; Le Merrer et al., 2022).

### 5.3 MESURES PHYSICO-CHIMIQUES

La température de l'eau reflète l'ensoleillement et le temps de résidence des masses d'eau. La salinité trace les mélanges entre les apports d'eaux douces des fleuves et l'eau de mer. La transparence de l'eau évaluée par la turbidité intervient sur la quantité de lumière disponible pour la production primaire. L'oxygène dissous est un paramètre qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. La mesure de la teneur en oxygène dissous permet de suivre les éventuelles hypoxies liées à la décomposition du phytoplancton à la suite des efflorescences.

Les valeurs présentées dans le Tableau 9 et le Tableau 10 sont des moyennes de l'ensemble des mesures réalisées pour une mission donnée. Les valeurs dites de surface représentent la moyenne dans les 5 premiers mètres de la colonne d'eau, celles du fond celle des 5 mètres au-dessus du fond (5 derniers mètres).

- Une différence est observée en 2023 avec un pic de valeur de **température** plus tardif, une amplitude et une chronologie comparables (avec un décalage temporel) à celles des autres années dont, en particulier celles de l'état de référence.
- La valeur de **salinité** varie dans la même gamme d'une année à l'autre mais selon des chronologies différentes.
- L'année 2023 présente les valeurs de **turbidité** les plus fortes.
- L'évolution de la valeur de **teneur en oxygène** suit la même chronologie au cours des deux périodes de suivi, avec une amplitude réduite en 2023.
- Les valeurs de **fluorescence** mesurées sont supérieures en 2023 alors que l'amplitude de leur variation annuelle reste variable d'une année à l'autre.

Ainsi de façon générale, l'évolution annuelle de la valeur des paramètres mesurés entre 2019 et 2023 à la surface de l'eau et à proximité du fond est généralement similaire. Des variations inter-annuelles de la gamme de valeurs mesurées sont néanmoins observées.

Ainsi des différences dans les cycles annuels d'évolution de la valeur de ces paramètres sont observées entre les périodes de l'état de référence et de la phase d'exploitation. Ces différences peuvent concerner les dates auxquelles les valeurs extrêmes sont mesurées aussi bien que ces valeurs elles-mêmes. Ainsi la date et l'intensité des pics sont décalées d'une année à l'autre.

Lors de ces deux années d'études, aucune ne présente des caractéristiques exceptionnelles et les conditions environnementales mesurées pendant l'établissement de l'état de référence et pendant celui de la phase d'exploitation ne diffèrent pas fondamentalement. Néanmoins les différences mesurées pourraient contribuer à expliquer des différences observées dans les peuplements observés, c'est pourquoi ces paramètres sont pris en considération dans les analyses multivariées.

Tableau 9 : Valeur moyenne des mesures de qualité de l'eau dans les 5 premiers mètres de la colonne d'eau (surface).

Engin	Mission	Date	Localisation	Température (°C)	Salinité (g/L)	Turbidité (NTU)	Oxygène (mg/L)	Fluorescence (ppb RWT)
BONGO	2019-04	13/04/2019	Surface	11,58±0,09	32,88±0,32	0,56±0,11	10,58±0,1	0,3±0,34
PALANGRE	2019-04	29/04/2019	Surface	13,06±0,05	33,06±0,06	0,28±0,39	10,93±0,07	25,82±149,28
BONGO	2019-05	23/05/2019	Surface	14,7±0,29	33,7±0,24	0,12±0,07	10,51±0,22	13,74±12,66
CASIER	2019-05	31/05/2019	Surface	14,86±0,68	34,32±0,13	0,04±0,06	9,30±0,35	16,55±15,54
BONGO	2019-06	25/06/2019	Surface	17,43±0,25	33,35±0,42	0,16±0,28	9,93±0,37	18,73±6,89
FILET	2019-07	02/07/2019	Surface	17,57±0,36	33,45±0,55	0,25±0,41	8,95±0,42	2,8±2,86
CASIER	2019-07	09/07/2019	Surface	16,91±0,63	34,36±0,15	0,10±0,14	8,77±0,37	14,53±10,39
BONGO	2019-07	25/07/2019	Surface	20,51±0,75	34,68±0,11	0,34±0,64	9,2±0,39	15,71±4,75
BONGO	2019-08	22/08/2019	Surface	18,4±0,39	34,88±0,1	0,85±1,45	8,74±0,22	20,53±1,54
PALANGRE	2019-09	04/09/2019	Surface	17,65±0,1	35,1±0,04	0,23±0,92	8,82±0,13	13,02±12,07
FILET	2019-09	23/09/2019	Surface	16,1±0,16	35,11±0,09	0,07±0,05	9,25±0,18	11,01±6,98
PALANGRE	2020-01	07/01/2020	Surface	10,36±0,21	28,14±0,7	2,29±0,35	10,53±0,06	0,57±4,94
BONGO	2021-04	20/04/2021	Surface	12,05±0,2	34,24±0,3	0,1±0,06	12,24±0,49	20,81±10,05
PALANGRE	2021-05	27/05/2021	Surface	14,02±0,12	33,24±0,53	0,39±0,16	9,35±0,05	1,63±1,68
BONGO	2021-06A	03/06/2021	Surface	15,8±0,34	32,55±0,67	0,2±0,12	9,08±0,25	7,63±5,76
CASIER	2021-06	10/06/2021	Surface	17,08±0,64	33,20±0,49	0,13±0,32	8,99±0,33	8,51±1,82
FILET	2022-06	10/06/2021	Surface	16,97±0,15	34,26±0,09	0±0	8,24±0,11	43,99±36,17
BONGO	2021-06B	19/06/2021	Surface	16,92±0,54	33,04±0,46	0,12±0,07	8,67±0,52	30,99±10,31
CASIER	2021-07A	09/07/2021	Surface	17,06±0,27	33,87±0,46	0,68±1,67	9,18±0,27	29,09±14,96
BONGO	2021-07	19/07/2021	Surface	19,47±0,18	32,58±0,74	0,15±0,19	9,75±0,59	44,75±27,31
CASIER	2021-07B	29/07/2021	Surface	18,97±0,69	33,10±0,42	0,00±0,00	8,12±0,39	10,85±6,90
BONGO	2021-08	18/08/2021	Surface	18,27±0,11	33,62±0,18	0,01±0,02	9,24±0,45	25,41±12,96
PALANGRE	2021-09	08/09/2021	Surface	17,24±0,35	34,07±0,1	0,19±0,31	8,97±0,2	51,66±25,82

FILET	2022-10	07/10/2021	Surface	16,51±0,2	34,95±0,3	0±0	7,09±0,06	11,71±9,9
FILET	2021-10	18/10/2021	Surface	15,93±0,11	32,76±0,77	0,09±0,11	8,55±0,17	7,52±3,62
FILET	2021-11	29/11/2021	Surface	11,77±0,21	34,88±0,17	0,12±0,19	9,2±0,22	0,04±0,09
PALANGRE	2021-12	14/12/2021	Surface	10,53±0,12	34,93±0,7	1,12±0,2	10,04±0,03	0±0
CASIER	2022-05	18/05/2022	Surface	14,35±0,39	33,99±0,10	0,03±0,06	7,63±0,17	21,19±18,34
PALANGRE	2022-06	14/06/2022	Surface	16,04±0,17	34,22±0,15	0,14±0,86	7,52±0,14	40,55±11,33
CASIER	2022-07	21/07/2022	Surface	18,15±0,43	34,60±0,09	0,00±0,00	7,35±0,24	8,84±17,84
PALANGRE	2022-09	16/09/2022	Surface	18,55±0,07	34,88±0,04	0±0,01	6,85±0,19	17,37±1,95
FILET	2022-10	07/10/2022	Surface	16,41±0,2	35,03±0,25	0±0	7,1±0,06	7,87±9,02
BONGO	2023-04	17/04/2023	Surface	12,2±0,19	32,53±0,56	0,35±0,35	11,43±0,46	55,4±13,74
PALANGRE	2023-05	11/05/2023	Surface	14,36±0,28	33,11±0,22	0,49±0,43	10,09±0,24	21,87±2,91
BONGO	2023-05	22/05/2023	Surface	14,09±0,25	33,83±0,32	0,74±0,24	10,41±0,63	85,02±12,65
CASIER	2023-05	25/05/2023	Surface	14,05±0,22	33,39±0,31	0,67±0,11	10,84±0,33	85,25±17,84
FILET	2023-06	13/06/2023	Surface	16,99±0,32	34,26±0,21	0,2±0,08	11,18±0,37	50,53±5,7
BONGO	2023-06	14/06/2023	Surface	17,07±0,61	34,5±0,11	0,18±0,11		34,78±15,31
CASIER	2023-07	05/07/2023	Surface	16,01±0,61	35,14±0,15	0,17±0,1	9,4±0,54	34,45±9,65
BONGO	2023-07	19/07/2023	Surface	18,7±0,36	34,99±0,18	0,25±0,21	10,51±0,47	22,96±19,74
BONGO	2023-08	22/08/2023	Surface	19,29±0,35	34,61±0,1	0,06±0,03	9,05±0,23	29,59±2,47
FILET	2023-09	12/09/2023	Surface	18,78±0,42	34,65±0,33	0,22±0,09	9,27±0,38	49,71±16,19
PALANGRE	2023-09	15/09/2023	Surface	18,48±0,45	35,01±0,14	0,13±0,09	9,21±0,48	31,8±8,13
PALANGRE	2023-12	16/12/2023	Surface	12,21±0,24	31,15±1,15	3,24±1,03	9,86±0,21	19,19±2,6
FILET	2023-12	19/12/2023	Surface	11,67±0,13	29,81±1,45	2,68±0,93	9,49±0,16	20,4±4,87

Tableau 10 : Valeur moyenne des mesures de qualité de l'eau dans les 5 derniers mètres de la colonne d'eau (fond).

Engin	Mission	Date	Localisation	Température (°C)	Salinité (g/L)	Turbidité (NTU)	Oxygène (mg/L)	Fluorescence (ppb RWT)
BONGO	2019-04	13/04/2019	Fond	11,32±0,04	33,78±0,28	4,27±2,35	10,47±0,18	0,6±0,75
PALANGRE	2019-04	29/04/2019	Fond	12,7±0,04	33,81±0,11	0,03±0,07	10,64±0,06	2,73±3,22
BONGO	2019-05	23/05/2019	Fond	13,76±0,25	34,04±0,1	0,86±1,35	10,6±0,11	44,94±8,03
CASIER	2019-05	31/05/2019	Fond	13,22±0,14	34,54±0,06	0,38±0,74	9,90±0,40	14,52±7,58
BONGO	2019-06	25/06/2019	Fond	15,42±0,36	34,24±0,08	2,64±2,87	9,46±0,23	4,38±3,69
FILET	2019-07	02/07/2019	Fond	15,25±0,76	34,38±0,18	1,47±2,88	9,17±0,14	3,35±2,7
CASIER	2019-07	09/07/2019	Fond	15,78±0,80	34,52±0,13	0,14±0,23	9,03±0,17	17,88±8,71
BONGO	2019-07	25/07/2019	Fond	15,85±0,93	34,8±0,06	1,17±1,62	9,06±0,39	33,29±18,71
BONGO	2019-08	22/08/2019	Fond	17,52±0,48	34,95±0,07	0,17±0,13	8,88±0,17	22,06±6,74
PALANGRE	2019-09	04/09/2019	Fond	16,19±0,18	35,14±0,08	0,15±0,16	9,14±0,14	9,81±3,45
FILET	2019-09	23/09/2019	Fond	15,75±0,31	35,16±0,07	1,33±1,15	9,55±0,1	5,71±2,8
PALANGRE	2020-01	07/01/2020	Fond	11,32±0,05	33,06±0,04	4,63±1,68	10,68±0,04	0±0
BONGO	2021-04	20/04/2021	Fond	11,43±0,02	34,77±0,22	0,35±0,58	11,16±0,19	77,03±12,15
PALANGRE	2021-05	27/05/2021	Fond	13,6±0,04	34,05±0,06	0,23±0,26	9,65±0,05	1,33±2,75
BONGO	2021-06A	03/06/2021	Fond	13,72±0,24	34,09±0,24	0,17±0,2	9,15±0,13	6,54±7,01
CASIER	2021-06	10/06/2021	Fond	13,97±0,55	34,27±0,25	0,40±1,05	9,51±0,38	2,56±2,67
FILET	2022-06	10/06/2021	Fond	14,45±0,62	34,55±0,13	0±0	5,86±3,02	25,84±18,15
BONGO	2021-06B	19/06/2021	Fond	13,94±0,22	34,41±0,16	0,35±0,48	8,83±0,4	2,66±2,95
CASIER	2021-07A	09/07/2021	Fond	16,52±0,30	34,20±0,07	1,62±2,87	9,46±0,45	16,19±5,05
BONGO	2021-07	19/07/2021	Fond	15,66±0,91	34,19±0,4	0,04±0,04	8,88±0,36	34,23±16,67
CASIER	2021-07B	29/07/2021	Fond	16,01±1,42	34,06±0,40	0,08±0,15	8,39±0,25	9,16±10,35
BONGO	2021-08	18/08/2021	Fond	15,87±0,98	34,46±0,22	0±0,01	8,52±0,31	16,52±20,25
PALANGRE	2021-09	08/09/2021	Fond	16±0,08	34,3±0,04	0,19±0,54	8,93±0,1	22,93±2,25

FILET	2022-10	07/10/2021	Fond	16,35±0,11	35,11±0,11	0±0	6,99±1,27	6,44±2,85
FILET	2021-10	18/10/2021	Fond	16,04±0,03	33,96±0,21	0,07±0,09	8,89±0,22	3,82±4,26
FILET	2021-11	29/11/2021	Fond	12,04±0,15	35,1±0,19	0,74±1,3	9,66±0,44	0±0
PALANGRE	2021-12	14/12/2021	Fond	10,62±0,01	35,36±0,05	1,75±0,34	10,64±0,03	0±0
CASIER	2022-05	18/05/2022	Fond	13,47±0,52	34,19±0,11	1,18±1,97	7,89±0,64	15,29±3,58
PALANGRE	2022-06	14/06/2022	Fond	13,91±0,07	34,69±0,02	0,02±0,11	8,08±0,12	4,35±2,1
CASIER	2022-07	21/07/2022	Fond	15,43±1,66	34,82±0,21	0,00±0,00	7,86±0,29	9,32±7,33
PALANGRE	2022-09	16/09/2022	Fond	18,34±0,04	34,94±0,02	0,04±0,11	7,34±0,02	14,23±1,28
BONGO	2023-04	17/04/2023	Fond	11,57±0,06	34,32±0,28	3,01±2,05	9,65±0,32	39,81±9,32
PALANGRE	2023-05	11/05/2023	Fond	12,89±0,54	34,2±0,44	2,71±1,64	8,84±0,41	13,15±3,13
BONGO	2023-05	22/05/2023	Fond	13,34±0,23	34,64±0,11	0,64±0,55	8,07±0,36	54,92±16,22
CASIER	2023-05	25/05/2023	Fond	13,13±0,25	34,6±0,14	1,55±1,02	9±0,32	39,25±8,61
FILET	2023-06	13/06/2023	Fond	14,93±0,35	34,68±0,14	0,64±0,55	8,53±0,46	28,32±9,69
BONGO	2023-06	14/06/2023	Fond	14,8±0,58	34,9±0,17	0,27±0,16		16,98±4,41
CASIER	2023-07	05/07/2023	Fond	14,39±1,03	35,21±0,08	0,39±0,39	8,04±0,44	31,55±17,62
BONGO	2023-07	19/07/2023	Fond	16,47±0,71	35,19±0,08	0,34±0,25	7,95±0,67	33,67±6,84
BONGO	2023-08	22/08/2023	Fond	17,34±0,47	35,13±0,2	0,79±0,58	7,39±0,49	28,64±4,95
FILET	2023-09	12/09/2023	Fond	17,32±0,27	35,26±0,05	1,47±0,65	7,73±0,17	18,48±4,02
PALANGRE	2023-09	15/09/2023	Fond	17,06±0,54	35,28±0,13	0,73±0,67	8,12±0,23	20,65±2,52
PALANGRE	2023-12	16/12/2023	Fond	13,18±0,52	33,69±0,59	4,97±1,85	10,13±0,32	12,32±2,28
FILET	2023-12	19/12/2023	Fond	13,02±0,14	33,43±0,19	4,1±1,63	9,51±0,09	9,57±0,86

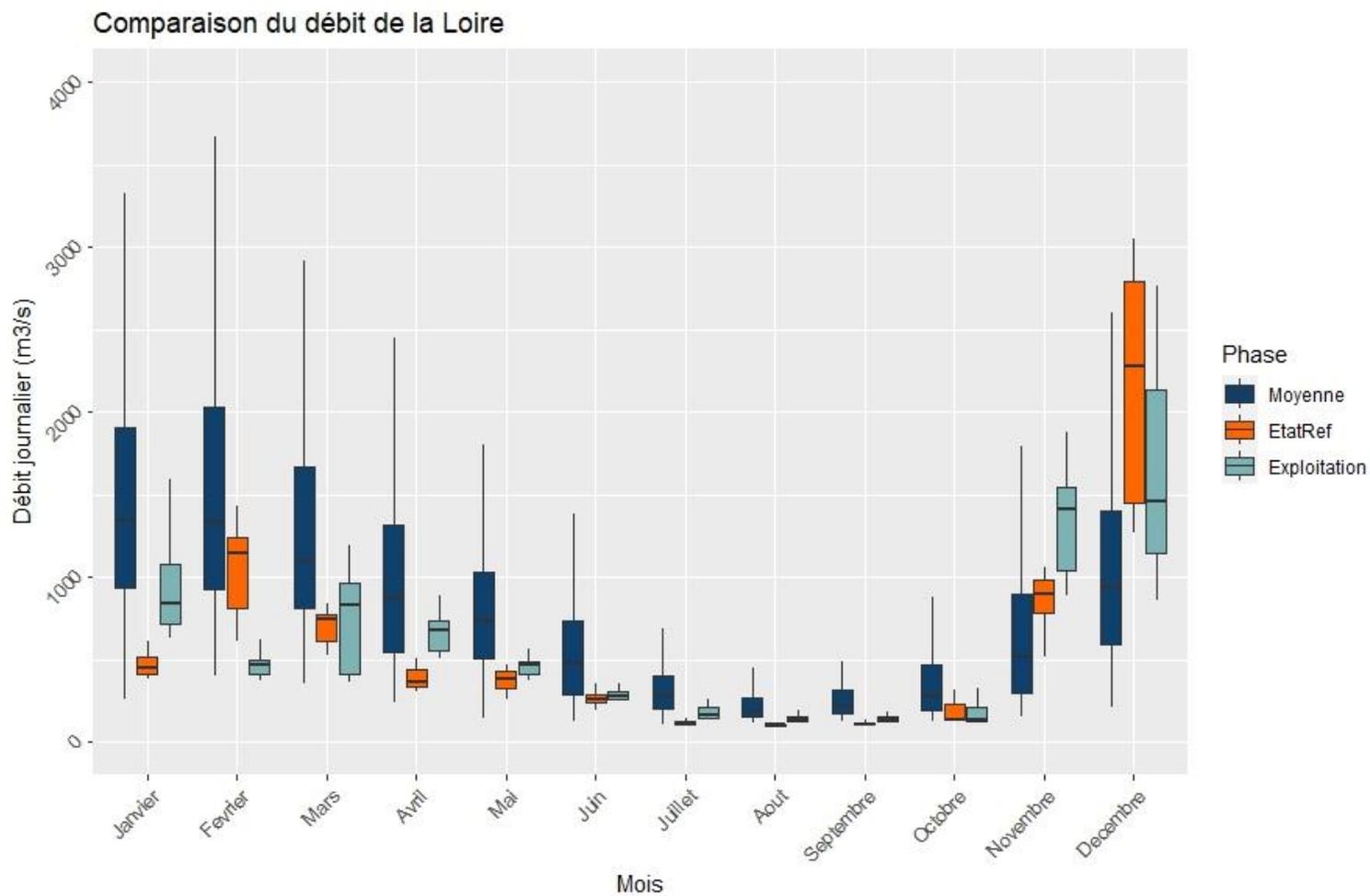


Figure 19 : Comparaison du débit de la Loire au cours des années 2019 (« EtatRef ») et 2023 (« Exploitation ») par rapport à la moyenne 1993-2018 (« Moyenne »). Source : <https://www.hydro.eaufrance.fr/sitehydro/M6240010/series>.

La Figure 19 montre que le débit de la Loire est relativement faible et homogène au printemps et en été (inférieur à 500 m<sup>3</sup>/s) de 2019 à 2023 ; ces années peuvent être considérées comme sèches en comparaison avec la moyenne observée entre 1993 et 2018, notamment de janvier à octobre. Un pic automnal est observé pendant les deux années d'étude (2019 et 2023) avec des débits largement au-dessus de la moyenne en novembre et décembre, du fait de fortes précipitations.

**La valeur du pic de débit observé en hiver 2022-2023 est nettement inférieure à celle du pic de l'hiver 2019-2020.**

### 5.3.1 TEMPÉRATURE DE L'EAU

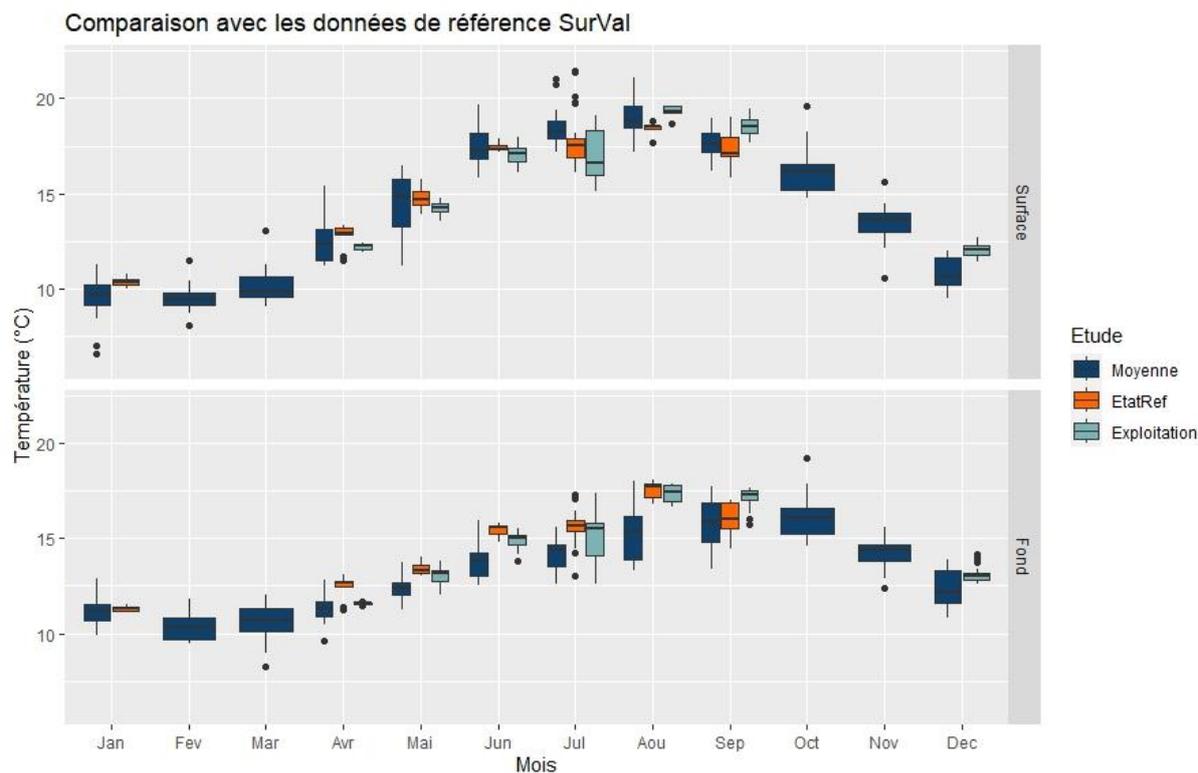


Figure 20 : Évolution de la valeur médiane de la température mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 et 2023, comparée avec les données 2016-2018 de la station de suivi Basse Michaud (REPHY – Référence Surval 069-P-075). 2019 : EtatRef; 2023 : Exploitation ; Moyenne 2016-2018 : Moyenne.

La Figure 20 présente l'évolution de la valeur de la **température** mesurée à l'échelle de chaque station d'échantillonnage de 2019 à 2023. Les valeurs de température les plus élevées sont observées en été 2019 et les plus basses en hiver 2019-2020 ainsi qu'en hiver 2021-2022. L'évolution annuelle semble similaire en 2022 et en 2023 avec des hivers plus doux et une amplitude thermique réduite par rapport 2019 et 2021. Les pics estivaux de 2023 sont les plus tardifs et élevés.

**La température de l'eau en 2023 varie au sein d'une gamme de valeurs plus réduite qu'en phase d'établissement de l'état de référence. L'hiver est plus doux alors que le pic de température estival est inférieur et plus tardif. L'eau reste froide plus tardivement et atteint un pic plus faible plus tard.**

### 5.3.2 SALINITÉ

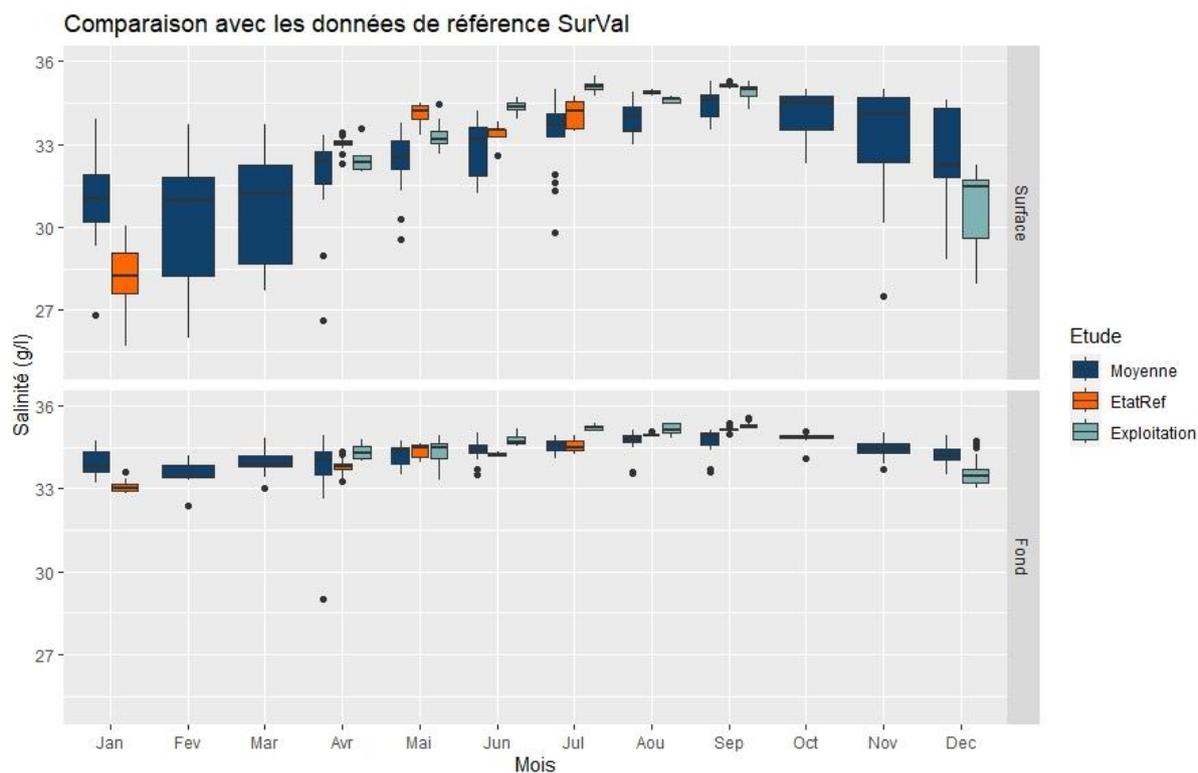


Figure 21 : Évolution de la valeur médiane de la salinité mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 et 2023, comparée avec les données 2016-2018 de la station de suivi Basse Michaud (REPHY – Référence Surval 069-P-075). 2019 : EtatRef; 2023 : Exploitation ; Moyenne 2016-2018 : Moyenne.

La Figure 21 présente l'évolution de la valeur de la **salinité** mesurée à l'échelle de chaque station d'échantillonnage de 2019 à 2023. À l'échelle du suivi, elle est majoritairement comprise entre 32 g/L et 36 g/L. Deux épisodes marqués par des valeurs inférieures sont observés au printemps 2021 et en hiver 2021-2022 avec des valeurs minimales proches de 28 g/L. Deux épisodes caractérisés par des valeurs encore plus nettement inférieures sont observés en hiver 2019-2020 et 2023-2024.

**Les valeurs mesurées en 2023 (en phase d'exploitation) sont similaires à celles de 2019 (état de référence) avec en particulier une forte chute de valeur hivernale, liée aux précipitations et donc au débit de la Loire (dessalure en surface).** Néanmoins le débit mesuré à cette époque reste faible par rapport à celui de l'état de référence à la même saison.

### 5.3.3 TURBIDITÉ

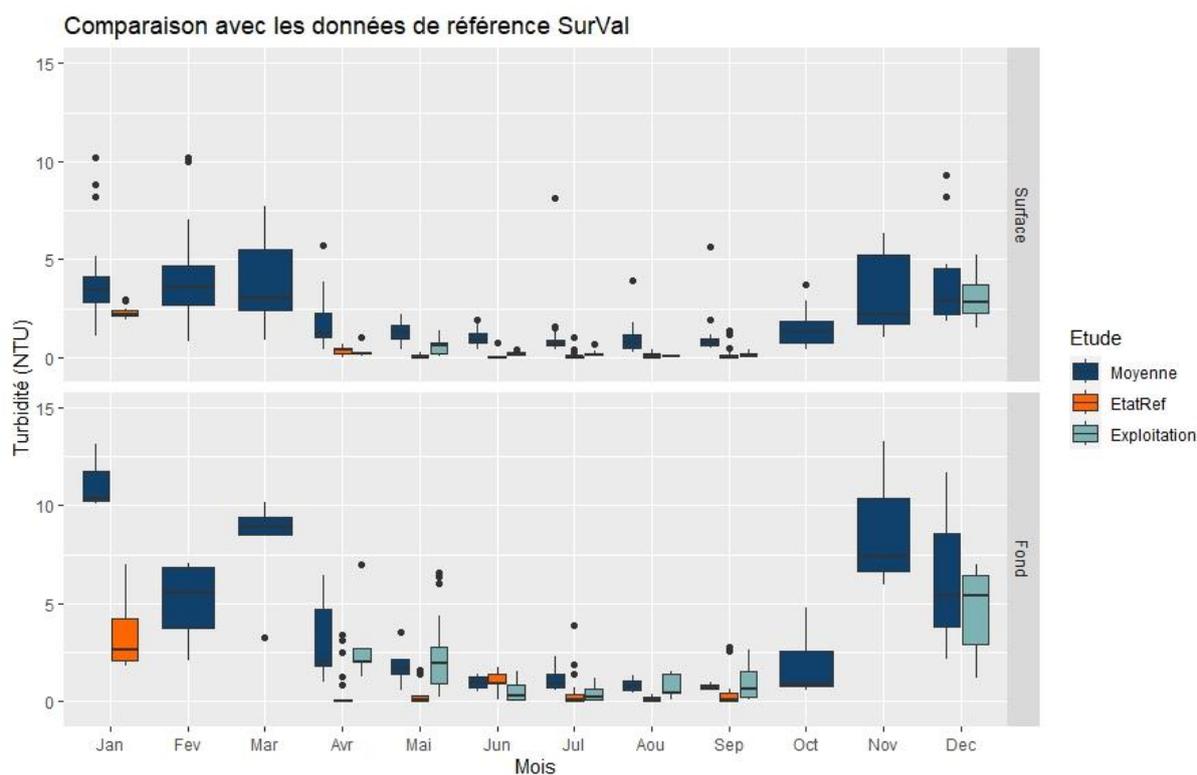


Figure 22 : Évolution de la valeur médiane de la turbidité mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 et 2023, comparée avec les données 2016-2018 de la station de suivi Basse Michaud (REPHY – Référence Surval 069-P-075). 2019 : EtatRef; 2023 : Exploitation ; Moyenne 2016-2018 : Moyenne.

La Figure 22 présente l'évolution de la valeur de la **turbidité** mesurée à l'échelle de chaque station d'échantillonnage de 2019 à 2023. **La variabilité, en lien avec les valeurs extrêmes est nettement supérieure en 2019 et 2023, en particulier en hiver quand les valeurs de salinité sont les plus faibles.**

Les valeurs les plus faibles sont observées en 2021 et 2022 malgré la détection de quelques valeurs extrêmes ponctuelles au printemps et en été. Ainsi **les situations en état de référence et en phase d'exploitation restent similaires avec une gamme de variation des valeurs étendue.**

## 5.3.4 OXYGÈNE DISSOUS

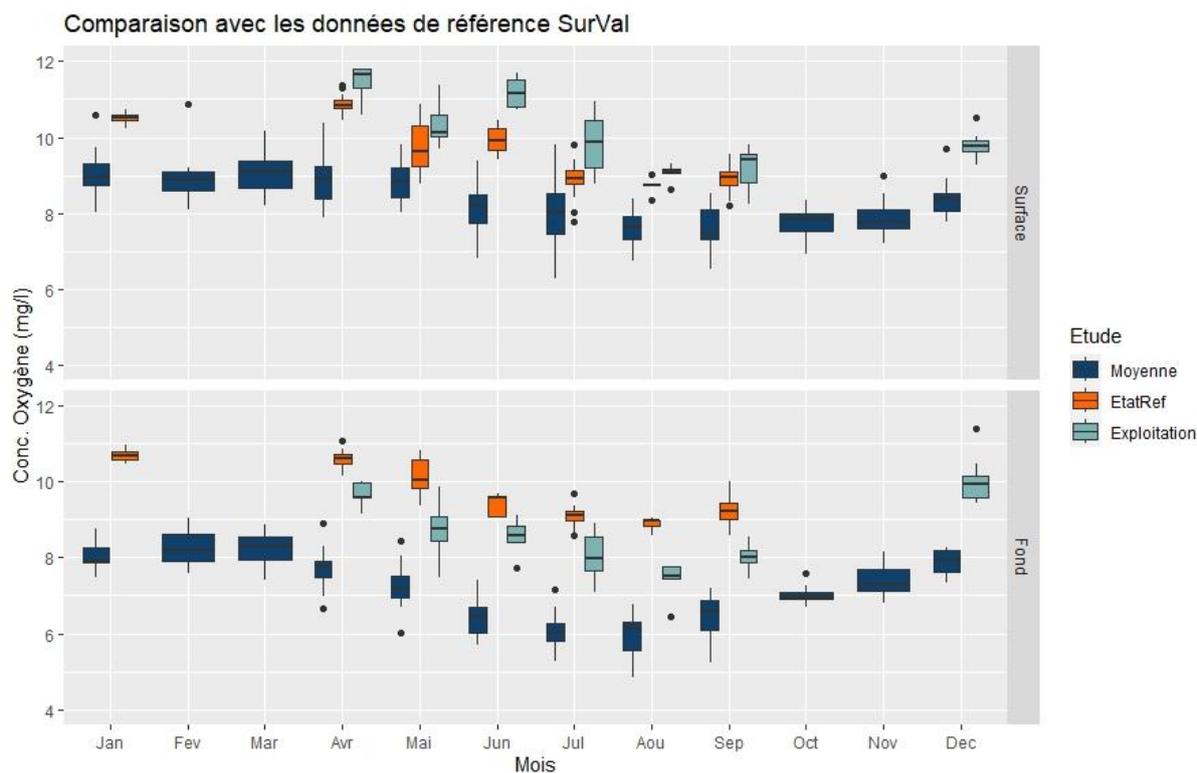


Figure 23 : Évolution de la valeur médiane de la teneur en oxygène dissous mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 à 2023, comparée avec les données 2016-2018 de la station de suivi Basse Michaud (REPHY – Référence Surval 069-P-075). 2019 : EtatRef; 2023 : Exploitation ; Moyenne 2016-2018 : Moyenne.

La Figure 23 présente l'évolution de la valeur de la **teneur en oxygène dissous** mesurée à l'échelle de chaque station d'échantillonnage de 2019 à 2023. Les valeurs les plus faibles sont observées pendant toute l'année 2022. Une valeur extrêmement forte est observée au printemps 2021. En dehors de ces événements, **les valeurs les plus élevées sont mesurées en 2019 et 2023 en dehors des pics estivaux de valeur de température. Ainsi les situations en état de référence et en phase d'exploitation sont similaires.**

### 5.3.5 FLUORESCENCE

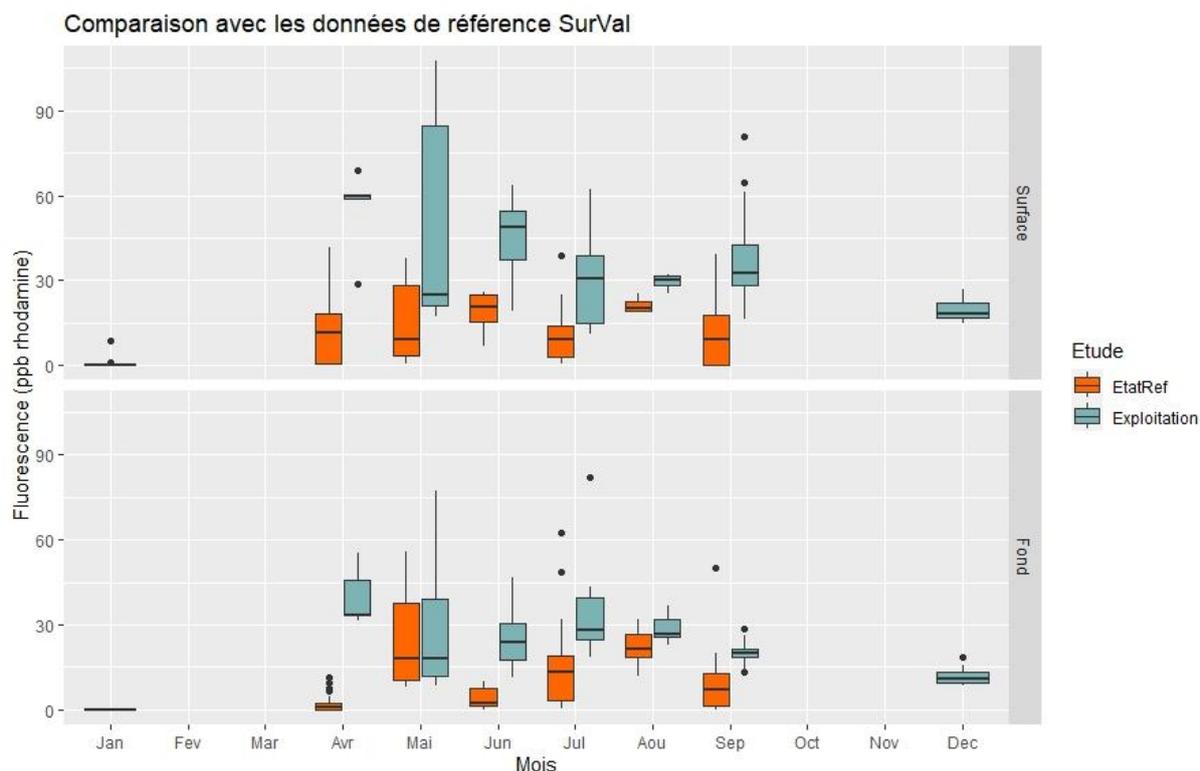


Figure 24 : Évolution de la valeur médiane de la fluorescence mesurée à l'échelle de la colonne d'eau pendant chaque prélèvement de 2019 et 2023. 2019 : EtatRef, 2023 : Exploitation (pas de données comparables pour la station Basse Michaud).

La Figure 24 présente l'évolution de la valeur de la **fluorescence** mesurée à l'échelle de chaque station d'échantillonnage de 2019 à 2023. **Les valeurs mesurées sont relativement homogènes et faibles pendant le suivi avec des pics au printemps et en été, particulièrement en 2023. Au cours de cette année de suivi, des valeurs supérieures sont observées au printemps, en été et en automne.**

Pendant la phase d'exploitation les valeurs de fluorescence sont nettement supérieures en début d'année par rapport à celles de l'état de référence. La gamme de variation annuelle est néanmoins conservée, c'est le déroulement du cycle annuel qui est ainsi différent.

### 5.3.6 SYNTHÈSE DE LA COMPARAISON DES RESULTATS 2023 AVEC CEUX DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE

Les valeurs des paramètres physico-chimiques relevées lors des campagnes métiers dans la colonne d'eau durant l'état de référence et la phase d'exploitation sont généralement similaires. La zone d'étude ne semble pas avoir été marquée par des variations interannuelles même si de légères différences sont observées. Celles-ci seraient essentiellement liées aux apports d'eau de l'estuaire de la Loire. Ainsi, l'évolution des conditions météorologiques jouerait un rôle important en influençant directement la Loire et indirectement la zone étudiée. Les fortes valeurs de turbidité semblent associées aux épisodes de dessalure, en lien avec l'influence de la Loire.

Les principales conclusions peuvent être résumées ainsi :

- Pas de variations interannuelles exceptionnelles à l'échelle de la zone d'étude (dans le parc et à l'extérieur)
- Le cycle annuel d'évolution des valeurs mesurées semble plus modifié que la gamme de variation de ces valeurs ;

- Les variations inter-annuelles des conditions météorologiques, sans devenir exceptionnelles, joueraient des rôles importants en influençant directement le débit de la Loire et indirectement la zone étudiée ;
- Des exceptions peuvent apparaître en lien avec la mesure de certains paramètres à l'échelle de quelques stations plus proches de l'embouchure de la Loire que les autres. Dans ce cas, elles s'expliqueraient par les apports en eau saumâtre. Ces derniers sont associés aux conditions météorologiques qui varient d'une année à l'autre ;
- Aucune indication de l'influence de la présence du parc éolien en fonctionnement sur la qualité de l'eau de mer n'est observée à travers l'étude des mesures réalisées.

## 6 RESULTATS DES SUIVIS DE L'ICHTYOPLANCTON

### 6.1 RAPPEL DES OBJECTIFS

Cette campagne se focalise sur le suivi de l'évolution de la ressource dans le temps, basée sur la collecte d'ichtyoplancton (œufs et larves de poissons) mais aussi d'œufs et larves de grands crustacés. Cette étape de développement est critique dans le cycle de vie des espèces concernées car les œufs et les larves par leur mode de vie planctonique présentent une forte sensibilité aux conditions du milieu, notamment la qualité de l'eau, les ressources alimentaires ou encore la prédation.

**Le but est d'évaluer l'impact éventuel de l'exploitation du parc éolien en mer en fonctionnement sur la présence et l'abondance d'œufs et larves des espèces qui fréquentent la zone d'étude.**

Bien qu'il s'agisse ici d'un suivi de type BACI (donc « Avant-Après »), les données du suivi en phase de construction du parc sont incluses dans l'analyse afin de fournir une mise en perspective des résultats observés. Ce suivi a eu lieu d'avril à août 2021, selon le même mode opératoire que l'état de référence et le suivi en exploitation.

### 6.2 ŒUFS DE POISSONS

#### 6.2.1 INDICES DE DIVERSITÉ BIOLOGIQUE

La diversité est décrite par le nombre d'espèces observées (S), par l'indice de diversité biologique de Shannon (H) et par l'indice d'équitabilité de Pielou (J). Les valeurs moyennes de ces indices sont présentées dans le Tableau 11, leur évolution est détaillée dans les parties suivantes.

Tableau 11 : Indices de richesses spécifiques des œufs de poisson par mission.  
S est la richesse spécifique (nombre d'espèces), H est la diversité spécifique et J l'équitabilité.

Année / Mission	S	H	J
<b>2019</b>	7,56 ± 2,16	0,96 ± 0,6	0,48 ± 0,28
2019-04	9 ± 0,63	1,75 ± 0,08	0,8 ± 0,02
2019-05	9,4 ± 1,74	0,6 ± 0,21	0,27 ± 0,1
2019-06	6,8 ± 1,94	0,19 ± 0,12	0,1 ± 0,05
2019-07	5,8 ± 1,72	0,97 ± 0,16	0,57 ± 0,07
2019-08	6,8 ± 1,83	1,29 ± 0,52	0,66 ± 0,21
<b>2021</b>	8,92 ± 2,87	1,04 ± 0,39	0,51 ± 0,2
2021-04	12,4 ± 1,02	0,92 ± 0,44	0,36 ± 0,17
01/06/2021	9,2 ± 1,47	1,01 ± 0,39	0,46 ± 0,17
02/06/2021	10,4 ± 1,36	1,19 ± 0,51	0,5 ± 0,21
2021-07	7 ± 1,9	0,91 ± 0,17	0,48 ± 0,1
2021-08	5,6 ± 1,85	1,15 ± 0,23	0,74 ± 0,13
<b>2023</b>	8,84 ± 3,39	1,22 ± 0,43	0,61 ± 0,22
2023-04	12,2 ± 1,17	1,82 ± 0,22	0,73 ± 0,11
2023-05	11,6 ± 2,06	1,28 ± 0,25	0,53 ± 0,14
2023-06	9,6 ± 1,02	0,73 ± 0,27	0,32 ± 0,11
2023-07	7,2 ± 0,98	1,19 ± 0,3	0,61 ± 0,17
2023-08	3,6 ± 0,49	1,09 ± 0,2	0,85 ± 0,1

- Richesse spécifique (S)

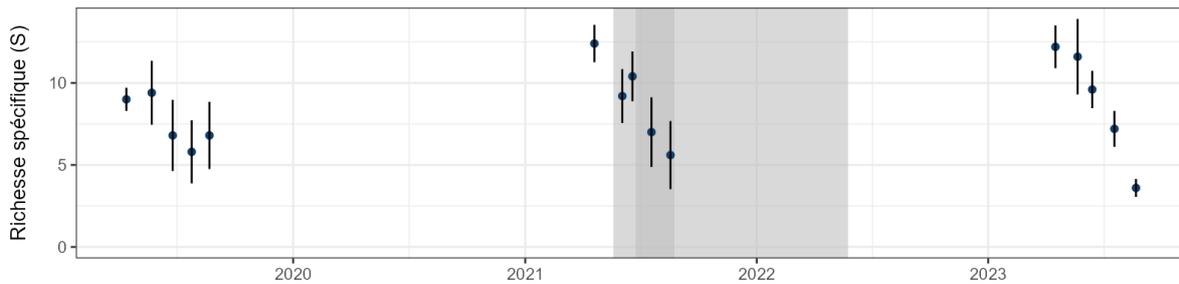


Figure 25 : Évolution la richesse spécifique  $S$  des œufs de poisson au cours des missions  
Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé)

Le nombre moyen d'espèces (Tableau 11 et Figure 25) dont les œufs ont été prélevés au filet Bongo est plus important pendant les suivis en phase « travaux » et en phase « exploitation » que lors de l'état de référence : 7,56 espèces en 2019, 8,92 et 8,84 espèces en 2021 et 2023.

Globalement, la tendance observée lors de chaque étude est que la richesse spécifique est plus élevée au printemps et diminue jusqu'à atteindre le minimum en juillet ou en août.

**La richesse spécifique semble suivre une tendance similaire avant et après les travaux du parc éolien en mer. Dans le cadre de cette étude, aucune modification de la richesse spécifique des œufs de poissons ne peut être clairement observée entre l'état de référence et le suivi en exploitation (two-way ANOVA,  $p = 0,198$ ).**

- Indice de diversité biologique Shannon (H)

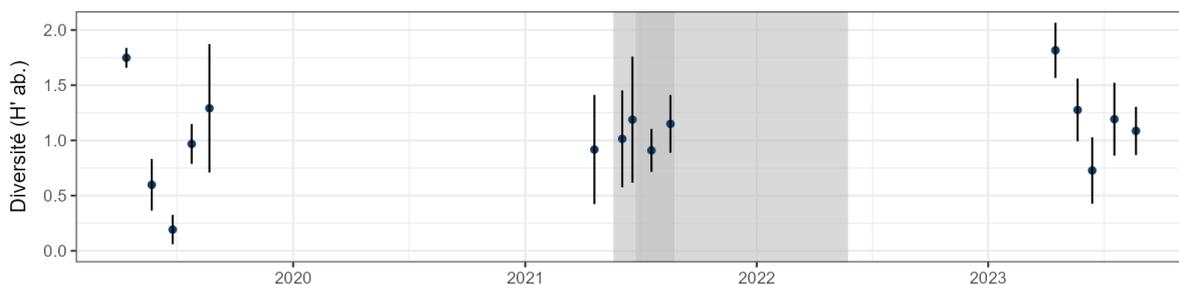


Figure 26 : Évolution de l'indice  $H$  de diversité biologique des œufs de poisson au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé).

L'indice de diversité biologique moyen (Tableau 11 et Figure 26) est stable pendant l'ensemble de la période.

En 2019, les valeurs moyennes de  $H$  par mission sont très hétérogènes. En effet, la valeur la plus forte pour la mission d'avril est de 1,75 et l'indice le plus faible pour la mission de juin est de 0,19. Comme l'indique la Figure 26, il y a eu une forte baisse de l'indice au cours du printemps 2019 puis une remontée au cours des mois d'été.

En 2021, l'analyse de la diversité spécifique des œufs de poissons prélevés révèle une certaine homogénéité entre missions, l'indice le plus fort pour la seconde mission de juin étant 1,19 et le plus faible pour juillet étant 0,91.

En 2023, les valeurs de  $H$  suivent une tendance similaire à celle de 2019 avec une valeur maximale en avril, une minimale en juin et des valeurs intermédiaires pour les 3 autres missions. Les peuplements sont les plus diversifiés en avril et le moins diversifiés en juin.

L'analyse en détail des CPUE par espèce (6.2.3) montre l'influence que les œufs de Rouquié et leur abondance peuvent avoir sur l'indice de diversité biologique des œufs de poissons. Lorsqu'une espèce domine largement les autres en termes d'abondance, l'indice de diversité est faible.

Les tests statistiques réalisés sur les valeurs de H montrent une forte variabilité entre les différentes missions<sup>8</sup> (p-value = 4,88e-05), mais il n'a pas été mis en évidence de différence significative entre 2 missions en particulier.

**Les indices moyens de diversité spécifique des campagnes de l'état de référence et du suivi en phase d'exploitation suivent une tendance similaire au cours de la saison des prélèvements, qui a lieu entre les mois d'avril et d'août ; il n'est pas observé de baisse ni d'augmentation significative. Dans le cadre de cette étude, aucune modification de la diversité spécifique des œufs de poissons du fait de l'exploitation du parc éolien n'est observée (two-way ANOVA, p = 0,163).**

- Indice d'équitabilité de Pielou (J)

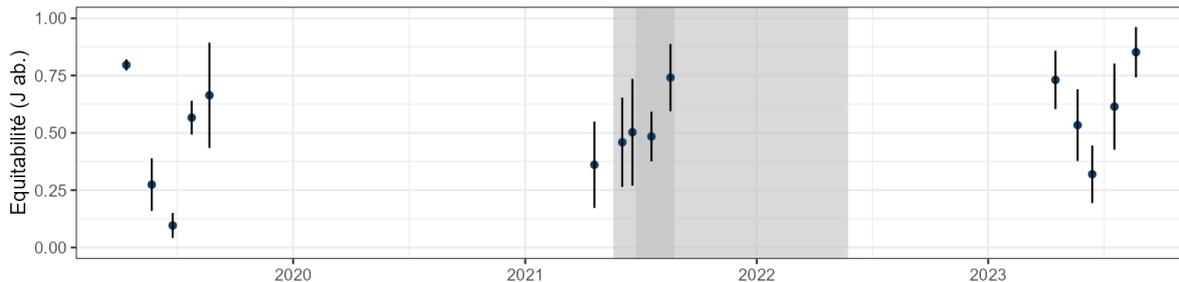


Figure 27 : Évolution de l'indice J d'équitabilité biologique des œufs de poisson au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé)

L'indice d'équitabilité des œufs prélevés (J) (Tableau 11 et Figure 27) est stable sur l'ensemble de la période. De plus, l'indice J semble suivre la même tendance que pour l'indice H.

En 2019 et 2023, l'hétérogénéité observée de la diversité spécifique (H) des œufs prélevés est visible également pour la répartition du nombre d'œufs pour chaque espèce (indice J). En effet, dans les deux cas, les missions d'avril et août ont les valeurs les plus hautes alors que celle de juin est très peu équitable.

En 2021, l'équitabilité est la plus faible en avril et augmente (sauf juillet) au cours de la période des prélèvements.

Les tests statistiques réalisés sur les valeurs de J montrent une forte significativité de la mission comme facteur discriminant (p-value = 3,98e-06), mais il n'a pas été mis en évidence de différence significative entre 2 missions en particulier.

**Les indices moyens d'équitabilité des campagnes 2019 et 2023 semblent suivre une tendance similaire au fil du temps ; il n'est pas observé de baisse ni d'augmentation remarquable. Dans le cadre de cette étude, aucune modification significative de l'équitabilité des œufs de poissons n'est observée du fait de la présence du parc éolien en fonctionnement (two-way ANOVA, p = 0,146).**

<sup>8</sup> Terme défini dans le glossaire par « Une mission correspond à une sortie en mer dédiée à l'échantillonnage d'une campagne à une période spécifique du plan d'échantillonnage ». Exemple : 2019-04 et 2023-07 sont deux missions ayant eu lieu respectivement en avril 2019 et juillet 2023.

## 6.2.2 FRÉQUENCE D'OCCURRENCE

Tableau 12 : Fréquence d'occurrence des œufs des 10 espèces les plus fréquemment observées.  
Les chiffres sont en % du nombre de prélèvements.

		FREQUENCE D'OCCURRENCE			
ESPECE		2019	2021	2023	2019-2023
<i>Ctenolabrus rupestris</i>	Rouquié	64	100	92	85
<i>Buglossidium luteum</i>	Petite Sole jaune	68	72	92	77
<i>Callionymus sp.</i>	Callionyme sp.	56	80	84	73
<i>Arnoglossus sp.</i>	Arnoglosse sp.	16	84	88	63
<b><i>Engraulis encrasicolus</i></b>	<b>Anchois</b>	44	88	52	61
<i>Zeugopterus norvegicus</i>	Targie naine	20	68	68	52
<b><i>Trachurus trachurus</i></b>	<b>Chinchard commun</b>	28	60	56	48
<b><i>Sardina pilchardus</i></b>	<b>Sardine</b>	40	44	56	47
<b><i>Pegusa lascaris</i></b>	<b>Sole-pole Claire</b>	8	32	56	32
<i>Raniceps raninus/Ciliata sp.</i>	Grenouille de mer / Motelle sp.	72	0	0	24
<b><i>Scophthalmus maximus</i></b>	<b>Turbot</b>	0	44	28	24
<b><i>Scophthalmus rhombus</i></b>	<b>Barbue</b>	32	12	16	20
<b><i>Scomber scombrus</i></b>	<b>Maquereau commun</b>	16	20	20	19
<i>Gaidropsarinae sp.</i>	gaidropsariné sp.	0	0	52	17
<i>Scophthalmidae sp.</i>	Scophthalmidé sp.	20	24	4	16

Le tableau ci-dessus (Tableau 12) indique que le Rouquié est l'espèce dont les œufs ont été le plus fréquemment retrouvés dans les prélèvements réalisés depuis l'état de référence.



Le Rouquié est un petit labridé qui fréquente communément les petits fonds rocheux, le plus souvent couverts d'algues, depuis la surface jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur, rarement plus (50 m max). Il affectionne notamment les zones où anfractuosités et cachettes sont abondantes. Les Rouquiés âgés vivent plus profondément que les jeunes. (ZIEMSKI Frédéric, *Ctenolabrus rupestris* (Linnaeus, 1758), 2021). Alors que la plupart des labridés pondent leurs œufs dans des nids, parfois gardés, le Rouquié fraie en pleine eau ; une forte abondance d'œufs de cette espèce à proximité immédiate d'un habitat qui lui est propice est normal.

La Petite Sole jaune est également très fréquente (77% des prélèvements) et sa fréquence d'occurrence augmente depuis l'état de référence.

Le Callionyme *sp.*, l'Arnoglosse *sp.*, l'Anchois et le Targeur sont les espèces que l'on considère comme « communes », car leurs œufs sont retrouvés dans 50 à 74 % des prélèvements.

Le Chinchard commun, la Sardine, la Sole-Pole claire sont considérées comme « occasionnelles », car leurs œufs ont une fréquence d'occurrence entre 25 et 49 %.

**Aucune tendance générale n'est détectée à l'augmentation ou à la diminution de la fréquence d'occurrence des œufs des différentes espèces de poissons communément observées entre l'état de référence et la phase d'exploitation du parc éolien.**

## 6.2.3 ABONDANCE DES ŒUFS

### 6.2.3.1 Abondance par mission

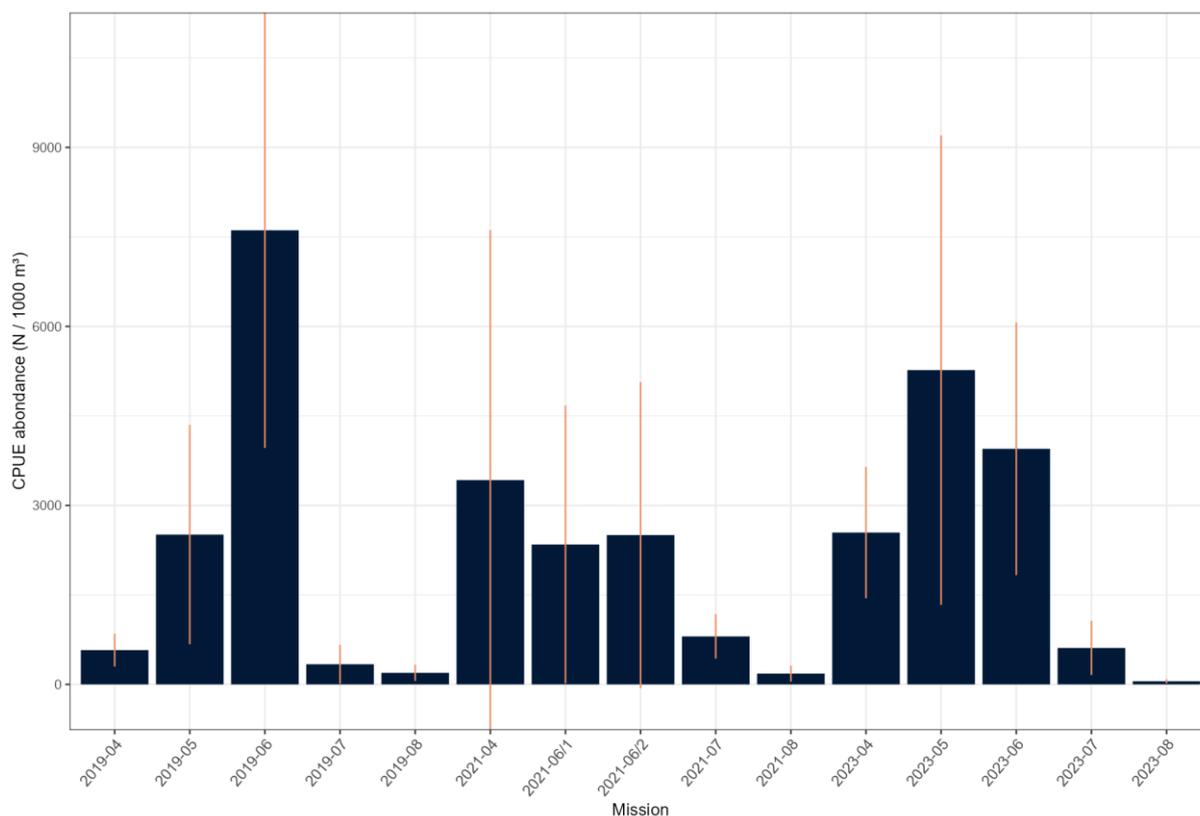


Figure 28: Abondance du nombre d'œufs de poisson prélevés par 1000 m<sup>3</sup> par mission. Les fines barres verticales représentent l'écart-type.

L'abondance des œufs de poissons présentée en Figure 28, est exprimée en nombre d'œufs de poisson par unité de volume (ici 1000m<sup>3</sup>).

Globalement, les œufs sont plus abondants au printemps (avril, mai, juin) et moins en été (juillet, août).

La forte abondance observée au cours de la mission de juin 2019 s'explique par une forte présence d'œufs de Rouquié (*Ctenolabrus ruspestris*). En effet, au cours de cette mission, 97,34% des œufs prélevés sont des œufs de Rouquié.

Les écart-types souvent très importants indiquent une forte variabilité dans l'abondance entre stations d'une même mission.

Aucune comparaison statistique par paire ne montre de différence significative entre deux missions particulières, même si le résultat de l'ANOVA initial est significatif ( $p < 10^{-6}$ ).

Le test d'analyse de variance multifactoriel n'indique pas de différence significative de l'abondance moyenne des œufs de poissons entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation (two-way ANOVA,  $p = 0,742$ ).

**L'abondance moyenne par mission des œufs de poissons n'a pas changé significativement entre l'état de référence et le début de l'exploitation du parc éolien.**

### 6.2.3.2 Abondance par zone

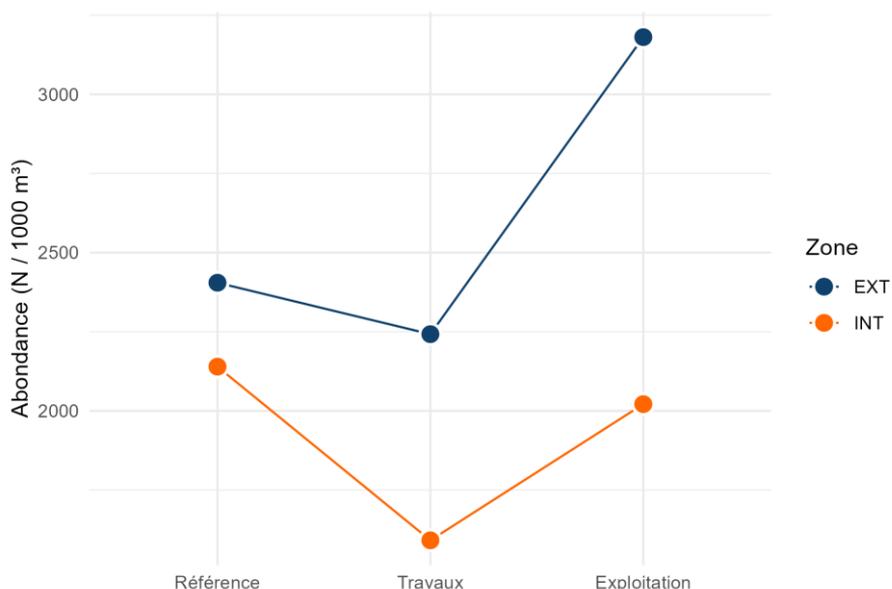


Figure 29: Abondance moyenne des œufs de poissons en N / 1000m<sup>3</sup>, par phase d'étude et par zone. EXT regroupe les stations en zone témoin, INT celles contenues dans les limites du parc éolien.

La valeur de l'abondance des œufs de poissons est toujours supérieure à l'extérieur du parc éolien par rapport à l'intérieur. Aucune différence significative n'est avérée pour l'abondance entre zones pour les différentes études. **Aucune différence significative entre les valeurs d'abondance par zone n'est détectée entre l'état de référence et le suivi en exploitation.**

### 6.2.4 ASSEMBLAGES DES ESPÈCES

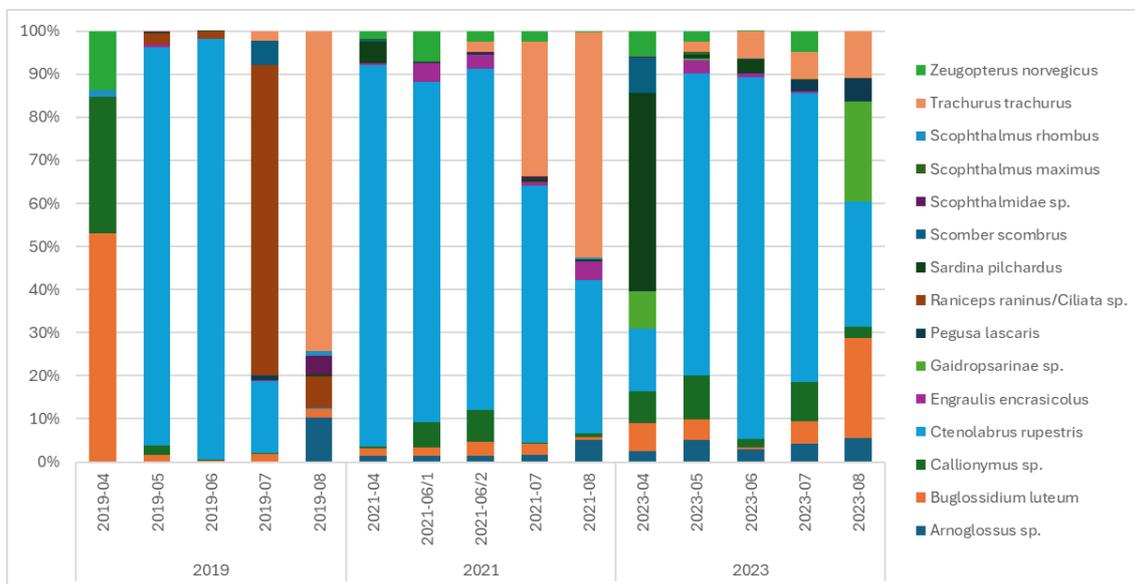


Figure 30 : Pourcentage d'abondance totale des œufs des 15 espèces de poissons les plus fréquemment observées par mission.

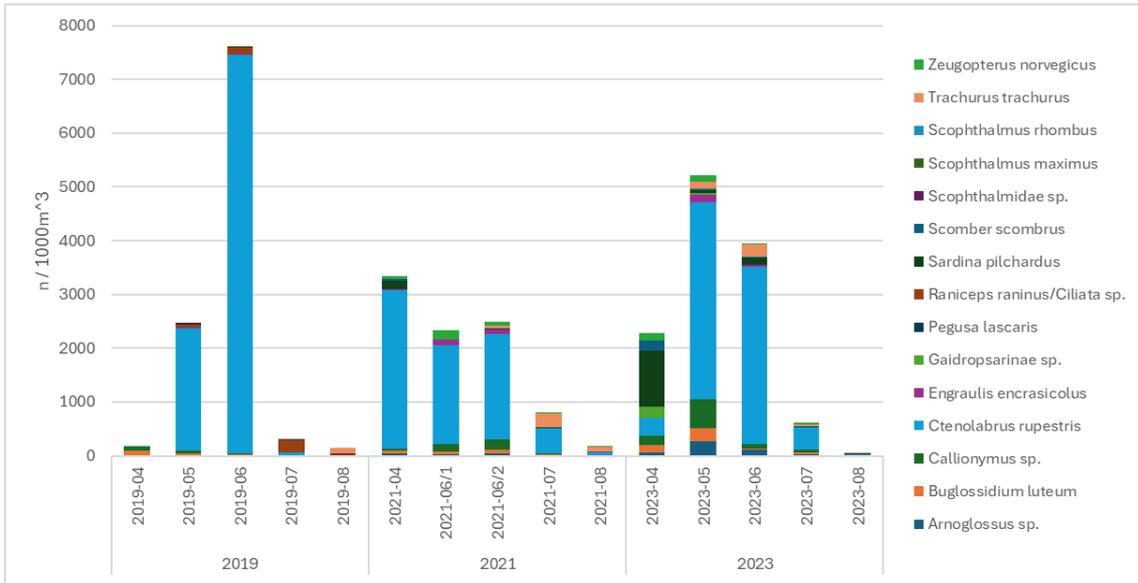


Figure 31 : Abondance des œufs des 15 espèces de poissons les plus fréquentes.

Tout d’abord, la présence des œufs de Rouquié explique systématiquement les fortes abondances totales constatées (Figure 30). Elle explique également en grande partie les faibles valeurs des indices de diversité spécifique H et d’équitabilité J (cf. 6.2.1) : une espèce domine largement les peuplements, qui ne sont ainsi pas diversifiés ni équitablement répartis.

En 2019, cette espèce est très largement majoritaire aux mois de mai et juin, alors qu’en 2021, elle est présente en proportions et quantités importantes dès le mois d’avril et reste l’espèce majoritaire jusqu’en juillet. Pendant le suivi 2023 en phase d’exploitation, de fortes abondances des œufs de cette espèce sont constatées en mai et juin et cette espèce reste majoritaire en juillet malgré une abondance réduite (Figure 31). Les CPUE détaillées pas espèce sont présentées en Annexe.

Exclure les œufs de Rouquié de l’analyse permet de produire une vision complémentaire de la répartition en espèces des œufs prélevés comme le montrent les graphiques suivants (Figure 32 et Figure 33) :

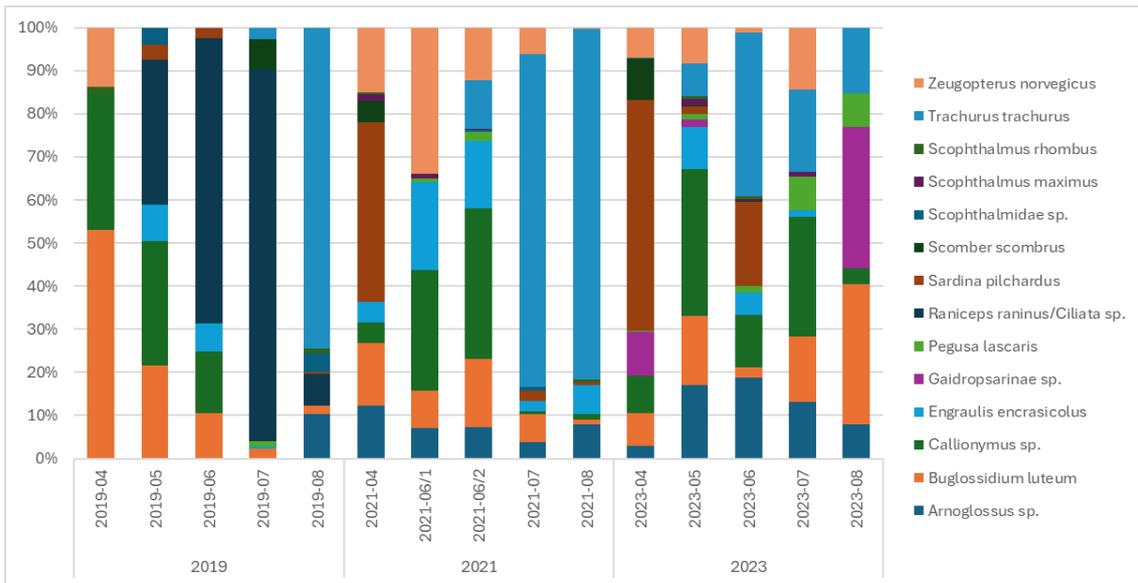


Figure 32 : Répartition des CPUE des œufs des espèces de poisson les plus fréquemment observées sans ceux du Rouquié.

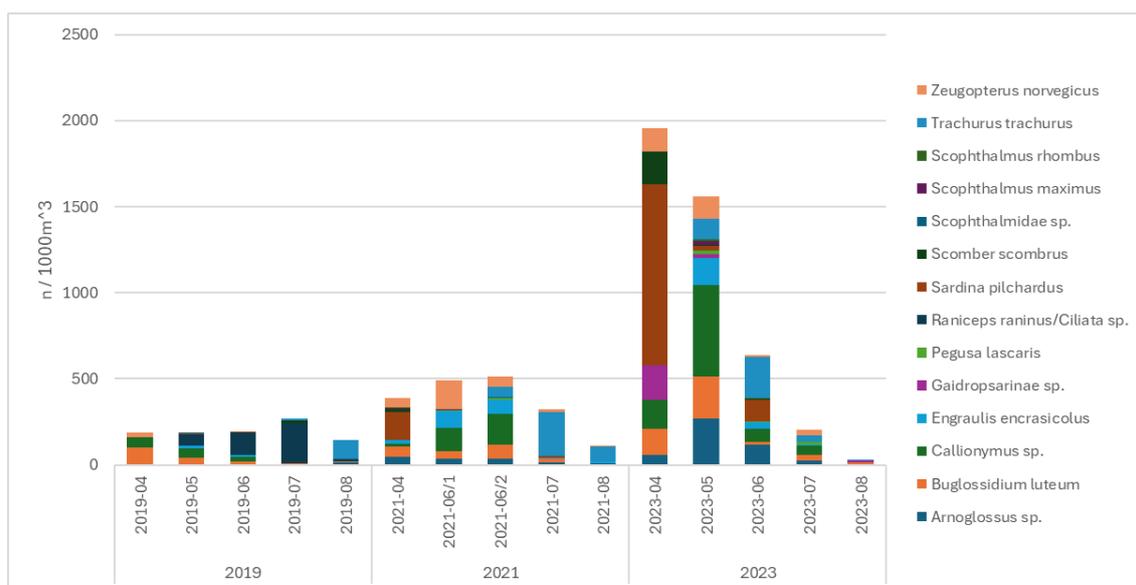


Figure 33 : Représentation de l'assemblage des espèces d'œufs sans ceux du Rouquié, en fonction de l'abondance par mission.

La Figure 32 montre que les œufs des principales espèces sont prélevés en proportions variables, sans réelle répétition annuelle en fonction de la date.

La Figure 33 aide à identifier des évènements particuliers au cours desquels un nombre plus important d'œufs d'une ou plusieurs espèces sont observés :

- Les prélèvements d'avril et mai 2023 (suivi exploitation) montrent une abondance totale hors Rouquié largement supérieure à celle constatée à la même période lors de l'état de référence (10 fois plus en avril 2023 par rapport à avril 2019) ;
- Les œufs de Chinchard (*Trisopterus luscus*) commun sont présents entre les mois de juin (suivi travaux 2021) et août (état de référence, suivi travaux et suivi exploitation) ;
- Des évènements de ponte de Sardine (*Sardina pilchardus*) sont observés en avril lors des suivis 2021 et 2023 (avec notamment une très importante abondance en avril 2023) mais pas lors de l'état de référence ;
- La Petite Sole jaune (*Buglossidium luteum*) pond sur l'ensemble de la saison des prélèvements de chaque étude, avec une plus forte abondance en avril et mai.

Le test de Kruskal-Wallis réalisé sur les valeurs d'abondance (CPUE) totale par mission donne une p-value = 1,94e-07, qui indique qu'il y a une forte variabilité entre les missions ; il n'est cependant pas observé de différence significative en comparant les peuplements entre missions (test de Mann-Whitney-Wilcoxon).

**Outre la large dominance des œufs de Rouquié, l'analyse de la répartition en espèces des œufs prélevés précise les épisodes de frai de certaines espèces et leur chronologie. Ainsi, la période de reproduction du Rouquié s'étale d'avril à août, avec un pic à la fin du printemps, notamment en mai et juin.**

**Les assemblages observés semblent propres à chaque phase d'étude (variabilité interannuelle forte) et évoluent du printemps à l'été (variations intra-annuelles).**

**Aucune différence des valeurs d'abondance des œufs de poissons par rapport à celles de l'état de référence n'est imputable à la présence du parc éolien en mer.**

## 6.2.5 ANALYSE MULTIVARIÉE

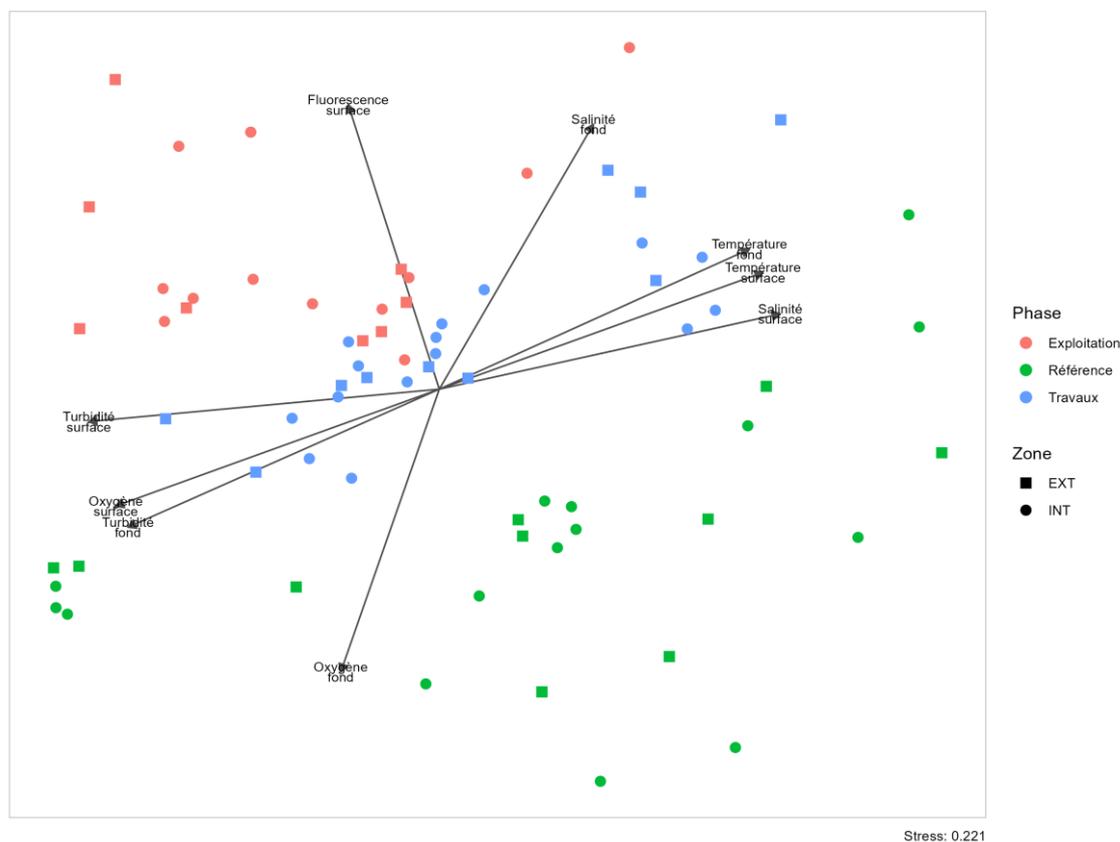


Figure 34 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au filet bongo entre 2019 et 2023. Toutes les stations sont représentées par des points (à l'intérieur du parc) et des carrés (à l'extérieur du parc). Seuls les paramètres dont l'influence est caractérisée sont présentés par des vecteurs ou des étiquettes. La valeur de stress de l'analyse est 0,221.

Comme décrit en 3.2.2 (p.44), les points présentés en Figure 34 correspondent à tous les prélèvements réalisés au cours des études d'état de référence, de suivi en travaux et de suivi en exploitation (5 stations x 15 missions soit 75 prélèvements). La position de chaque prélèvement dans le plan est déterminée par sa proximité ou distance (non-métrique, sans unité) avec l'ensemble des autres prélèvements, sur la base des CPUE par espèce pour chacun d'entre eux. Les étiquettes « Effet » sont placées au niveau du barycentre des prélèvements montrant cette caractéristique.

Les principales observations qui peuvent être formulées sont :

- Les prélèvements d'œufs de poissons sont séparés en fonction de l'axe vertical avec les points associés à l'état de référence dans la partie inférieure, ceux du suivi des travaux au milieu et ceux de la phase d'exploitation en haut – les peuplements observés sont différents d'une étude à l'autre ; le paramètre ayant évolué pendant la phase d'exploitation est la fluorescence mesurée à la surface ;
- La répartition des points n'est pas influencée par le critère Intérieur / Extérieur (ou Contrôle / Impact), ce qui indique que les peuplements ne sont pas différents entre eux en raison de leur localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone du parc ;
- La répartition des points dans le plan selon l'axe horizontal serait influencée par des variables environnementales matérialisées par les mesures des paramètres physico-chimiques : plus la température et la salinité sont élevées, plus les prélèvements sont localisés vers la droite et le haut du plan, alors qu'inversement plus l'oxygène dissous et la turbidité sont élevés, plus les

prélèvements sont situés vers la gauche et le bas du plan. Cette observation indique une forme de succession saisonnière dans les peuplements observés.

Ces observations sont reprises dans le paragraphe suivant qui intègre l'effet d'autres événements tels que la reproduction très marquée en termes d'abondance d'œufs d'une seule espèce, le Rouqué (*Ctenolabrus rupestris*).

### 6.2.6 SYNTHÈSE « ŒUFS DE POISSONS »

Des différences sont constatées entre les différentes missions quant à l'abondance totale, la diversité spécifique et l'équitabilité des peuplements d'œufs. Cependant, aucune comparaison entre missions ne montre de différence significative. En effet, les valeurs de ces paramètres sont fortement variables d'une mission à l'autre mais pas suffisamment pour en dégager une différence statistique significative.

Les différences observées dans les assemblages d'espèces entre l'état de référence et les phases ultérieures sont fortement liées aux variations d'abondance des œufs d'une seule espèce très largement majoritaire : le Rouqué (*Ctenolabrus rupestris*).

**Aucun effet de la présence du parc éolien n'est détecté ; en effet, les variations d'abondance observées sont principalement guidées par les saisons (conclusion confirmée par les regroupements observés au moyen de l'analyse multivariée).**

## 6.3 LARVES DE POISSONS

### 6.3.1 INDICES DE DIVERSITÉ BIOLOGIQUE

Tableau 13 : Indices de diversité biologique moyens des larves de poisson prélevées par mission. S est la richesse spécifique (nombre d'espèces), H est la diversité spécifique et J l'équitabilité.

Année / Mission	S	H	J
<b>2019</b>	9,04 ± 3,3	1,52 ± 0,52	0,69 ± 0,19
2019-04	4,2 ± 1,72	0,73 ± 0,54	0,45 ± 0,3
2019-05	11 ± 1,9	1,87 ± 0,23	0,78 ± 0,05
2019-06	11 ± 1,26	1,95 ± 0,07	0,82 ± 0,05
2019-07	12 ± 1,1	1,72 ± 0,06	0,69 ± 0,01
2019-08	7 ± 1,1	1,35 ± 0,18	0,7 ± 0,05
<b>2021</b>	8,08 ± 4,05	1,47 ± 0,53	0,76 ± 0,18
2021-04	12 ± 0,89	1,71 ± 0,15	0,69 ± 0,05
2021-06/1	5,4 ± 1,62	1,41 ± 0,21	0,88 ± 0,12
2021-06/2	9,2 ± 1,72	1,59 ± 0,36	0,73 ± 0,2
2021-07	11,2 ± 3,43	1,99 ± 0,29	0,85 ± 0,06
2021-08	2,6 ± 0,49	0,65 ± 0,35	0,65 ± 0,26
<b>2023</b>	4,72 ± 1,8	1,23 ± 0,44	0,79 ± 0,25
2023-04	4,8 ± 1,47	1,36 ± 0,25	0,9 ± 0,09
2023-05	5,2 ± 0,75	1,3 ± 0,1	0,8 ± 0,1
2023-06	6,2 ± 1,47	1,5 ± 0,21	0,84 ± 0,07
2023-07	5,2 ± 0,98	1,4 ± 0,12	0,86 ± 0,08
2023-08	2,2 ± 1,17	0,57 ± 0,51	0,54 ± 0,45

Les chiffres des différents indices de diversité biologique sont décrits ci-dessous par type d'indice.

• Indice de richesse spécifique (S)

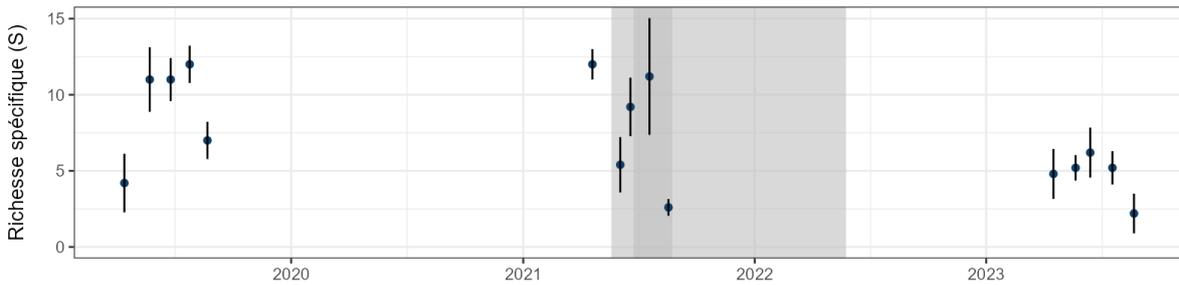


Figure 35 : Évolution de l'indice S de richesse spécifique moyen des larves au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

La richesse spécifique moyenne pour le suivi en exploitation semble inférieure à celle de l'état de référence : 4,72 en 2023 contre 9,04 en 2019. Une différence significative est identifiée entre la richesse spécifique dans l'état de référence et celle en phase d'exploitation (two-way ANOVA,  $p = 4,3 \cdot 10^{-5}$ , et Tukey HSD,  $5 \cdot 10^{-5}$ ).

La richesse spécifique par mission est variable et ne montre pas de succession saisonnière particulière.

• Indice de diversité spécifique de Shannon (H)

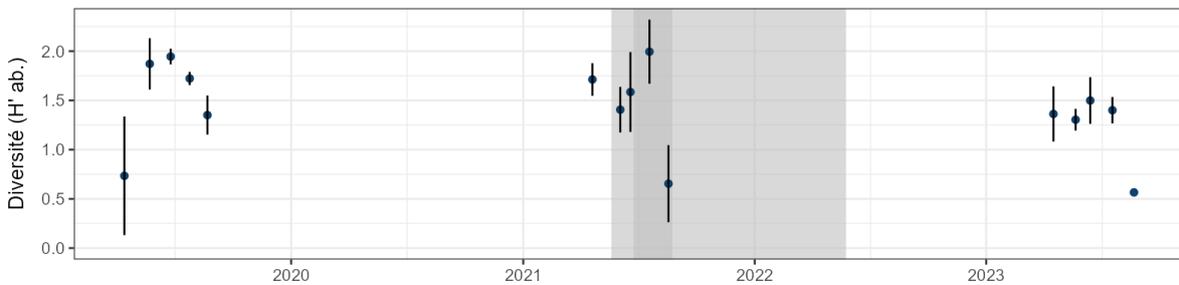


Figure 36 : Évolution de l'indice H de diversité biologique moyen des larves au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

La valeur de l'indice de diversité biologique moyen est inférieure au cours du suivi en phase d'exploitation à celui de l'état de référence et du suivi en phase « travaux ». L'écart-type ne permet pas de conclure sur cet aspect. Il n'y a pas de différence significative entre l'état de référence et la phase d'exploitation sur ce paramètre (two-way ANOVA,  $p = 0,104$ ).

• Indice d'équitabilité de Pielou (J)

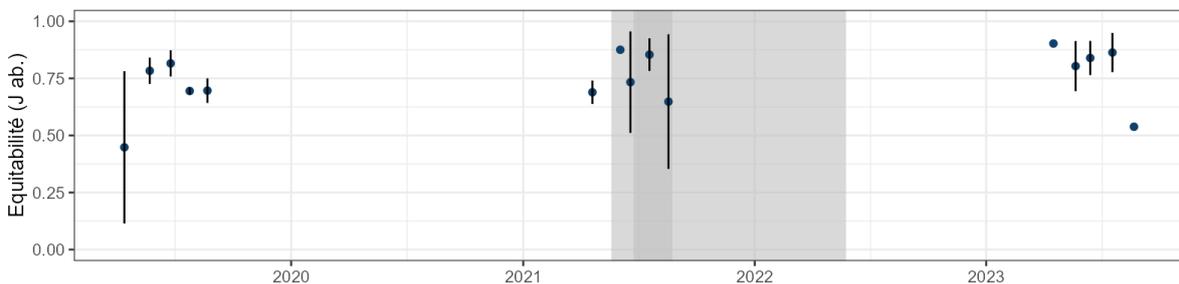


Figure 37 : Évolution de l'indice J d'équitabilité biologique moyen des larves au cours des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

Pendant le suivi en phase d'exploitation, l'indice d'équitabilité moyen est similaire à celui du suivi en phase de travaux et légèrement supérieur à celui de l'état de référence. Le test d'analyse de variance confirme qu'il n'y a pas de différence significative entre ces deux études pour l'équitabilité (two-way ANOVA,  $p = 0,238$ ).

Le test statistique réalisé sur les valeurs d'équitabilité biologique (J) montre que la variabilité entre missions est forte (Kruskal-Wallis,  $p = 0,0189$ ) mais aucune comparaison par paire ne montre de différence significative entre deux missions particulières.

En résumé :

**La valeur de la richesse spécifique moyenne des larves de poissons est inférieure en 2023 (suivi en phase d'exploitation) par rapport à celle de l'état de référence ; cette différence est significative, les larves prélevées au cours du suivi exploitation sont issues d'un nombre d'espèces réduit en comparaison à celui de l'état de référence. Il n'est pas détecté de tendance saisonnière dans l'évolution de ce paramètre.**

**La valeur de la diversité spécifique moyenne des larves de poissons semble stable, bien que légèrement inférieure en 2023 par rapport celle des années précédentes.**

**La valeur d'équitabilité présente une différence significative entre le suivi en phase « exploitation » et l'état de référence.**

### 6.3.2 FRÉQUENCE D'OCCURRENCE

- Les espèces les plus fréquemment observées

Tableau 14 : Fréquence d'occurrence (en % des prélèvements) des 15 espèces de poissons dont les larves ont été les plus fréquemment observées.

FREQUENCE D'OCCURRENCE					
ESPECE		2019	2021	2023	2019-2023
<i>Parablennius gattorugine</i>	Blennie cabot	76	76	72	75
<i>Gobiidae sp.</i>	Gobiidé sp.	72	44	56	58
<i>Parablennius pilicornis</i>	Blennie bouquet	80	40	44	55
<b><i>Spondyliosoma cantharus</i></b>	<b>Griset</b>	48	48	44	47
<i>Callionymus sp.</i>	Callionyme sp.	44	52	36	44
<i>Symphodus melops</i>	Vracton croissant noir	48	48	28	42
<i>Ctenolabrus rupestris</i>	Rouquié	52	52	12	39
<b><i>Engraulis encrasicolus</i></b>	<b>Anchois</b>	40	44	24	36
<b><i>Sardina pilchardus</i></b>	<b>Sardine</b>	44	32	24	34
<i>Buglossidium luteum</i>	Petite Sole jaune	36	28	24	30
<i>Coryphoblennius galerita</i>	Blennie coiffée	20	48	20	30
<i>Arnoglossus sp.</i>	Arnoglosse sp.	32	20	0	18
<i>Diplecogaster bimaculata</i>	Glulette rougeoleuse	20	16	16	18
<b><i>Labrus bergylta</i></b>	<b>Vieille commune</b>	24	24	4	18
<i>Blenniidae sp.</i>	Blenniidé sp.	48	0	0	16

Le Tableau 14 indique que 3 espèces sont présentes dans plus de 50 % des prélèvements ; il s'agit de 2 espèces de Blennies : la Blennie cabot et la Blennie bouquet, ainsi que les Gobiidés.

Globalement, parmi les 15 espèces les plus fréquentes au stade larvaire depuis l'état de référence, la fréquence d'occurrence a tendance à diminuer. La plupart de ces espèces présentent une fréquence d'occurrence inférieure lors du suivi en phase d'exploitation du parc éolien par rapport à celle de l'état de référence. **Aucun lien entre la présence du parc éolien en fonctionnement et la fréquence d'occurrence n'est avéré à ce stade.**

### 6.3.3 ABONDANCE DES LARVES

#### 6.3.3.1 Abondance par mission

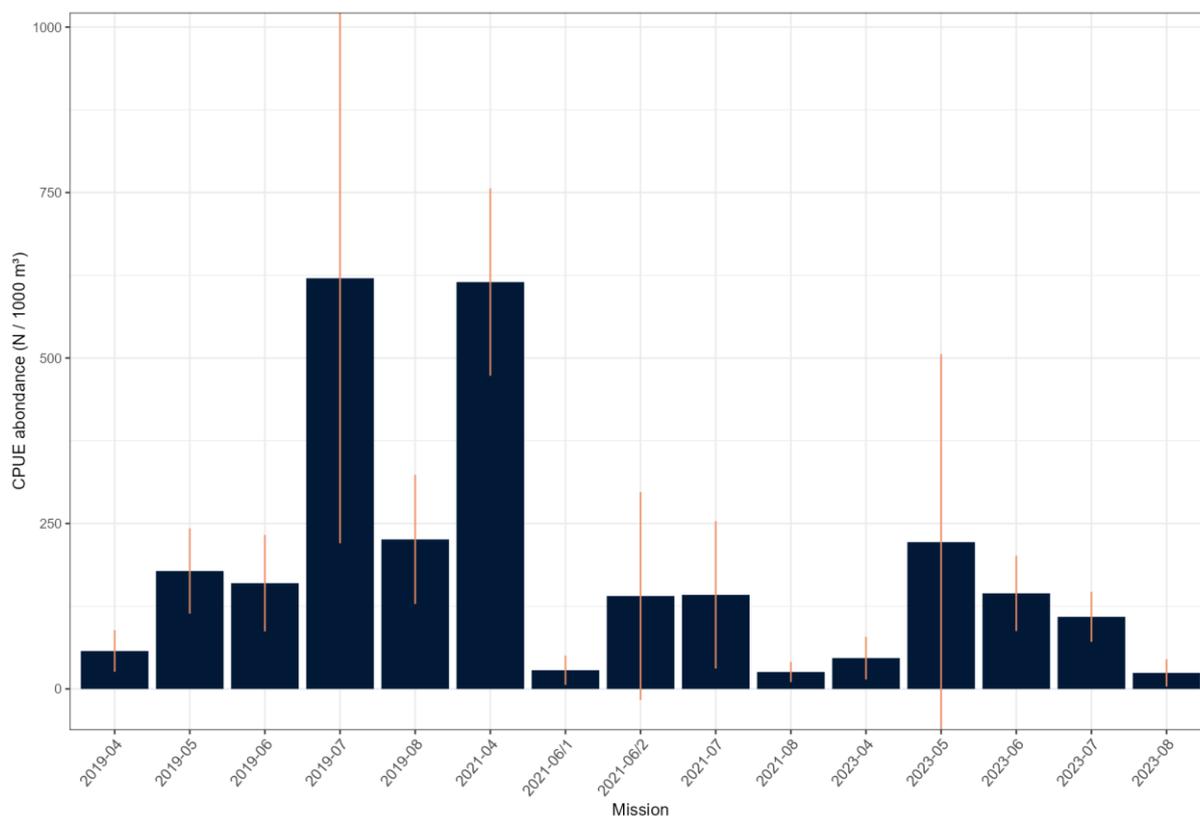


Figure 38 : Abondance des larves de poissons prélevées par mission.

L'abondance des larves de poissons présentée en Figure 38 est exprimée en Captures Par Unité d'Effort (CPUE) : nombre de larves pour 1000m<sup>3</sup> d'eau de mer.

Il ne semble pas exister de récurrence dans la distribution des abondances au cours de chaque saison : les plus fortes abondances moyennes sont constatées en juillet (état de référence), puis en avril (suivi travaux) et enfin en mai (suivi exploitation).

Les écart-types souvent très importants indiquent une forte variabilité dans l'abondance entre stations et / ou zones d'une même mission. Ainsi, il est probable qu'une ou plusieurs espèces aient été prélevées en nombre si important au niveau d'une station que cela influe la moyenne pour la mission.

Les tests statistiques réalisés sur les valeurs d'abondances moyennes indiquent une forte variabilité entre les missions (Kruskal-Wallis,  $p = 2,36 \cdot 10^{-6}$ ) mais aucune comparaison par paire ne montre de différence significative entre deux missions particulières. **L'abondance moyenne par mission des larves de poissons n'a pas changé significativement entre l'état de référence et le début de l'exploitation du parc éolien (two-way ANOVA,  $p = 0,097$ ).**

#### 6.3.3.2 Abondance par zone

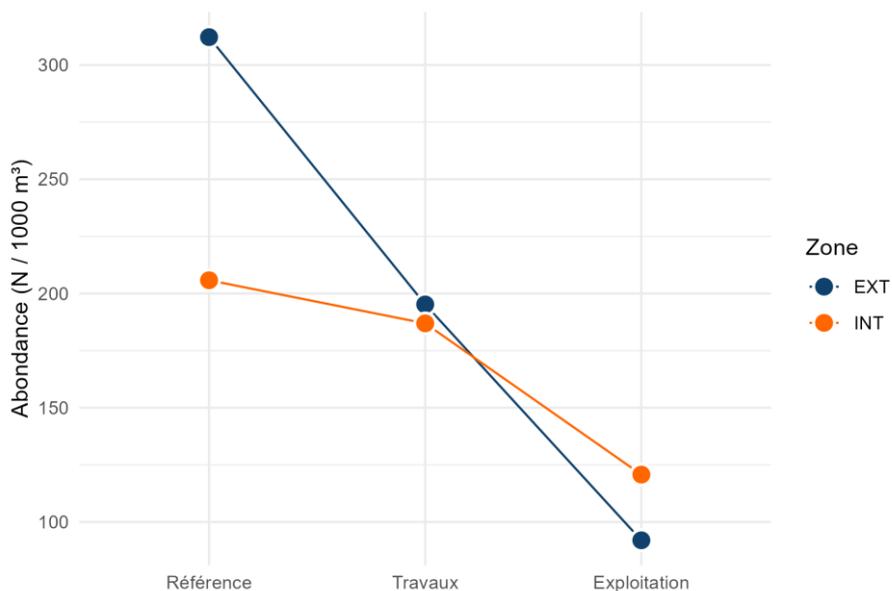


Figure 39 : Abondance moyenne des larves de Poissons en N / 1000 m<sup>3</sup>, par phase d'étude et par zone. EXT regroupe les stations en zone témoin, INT celles contenues dans les limites du parc éolien.

La Figure 39 montre la diminution des valeurs d'abondance des larves de Poissons à partir de l'état de référence et jusqu'à la phase d'exploitation. Cette réduction est observée à l'intérieur et à l'extérieur de la zone du parc avec toutefois une plus forte diminution pour la zone extérieure.

### 6.3.4 ASSEMBLAGE DES ESPÈCES

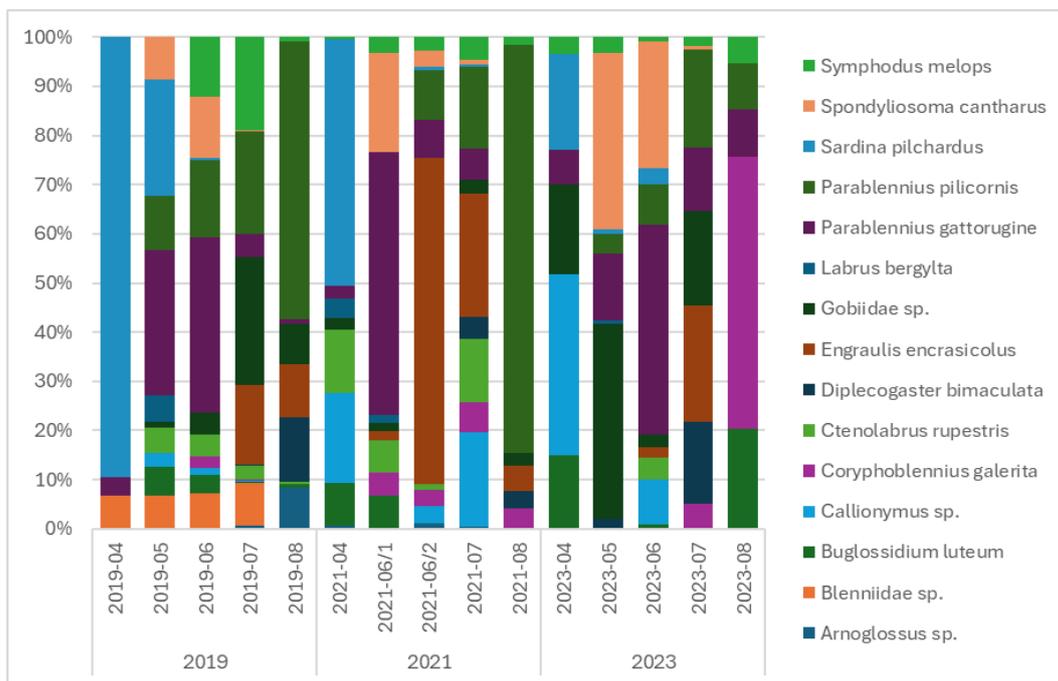


Figure 40 : Assemblage des 15 espèces de poissons dont les larves ont été les plus fréquemment observées par mission

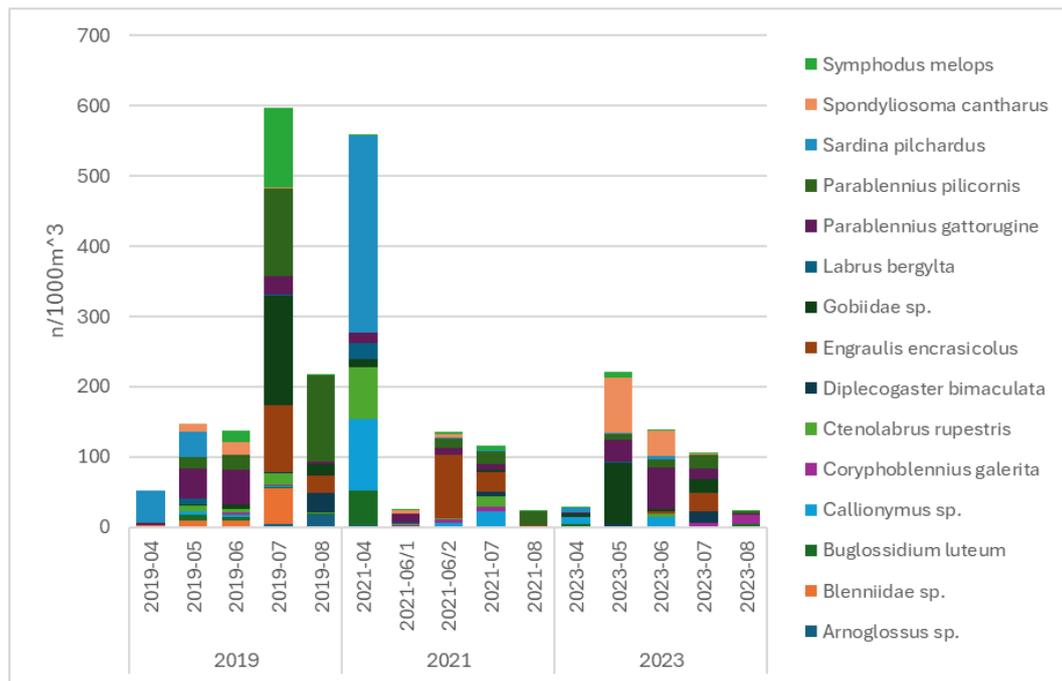


Figure 41 : Assemblage des 15 espèces de poissons dont les larves ont été les plus fréquemment observées par mission, en n/1000m<sup>3</sup>.

Comme pour les œufs de poissons, l'observation des assemblages (Figure 41) de larves de Poissons permet de confirmer des périodes de reproduction pour certaines espèces. Il apparaît ainsi que les larves de Sardine (*Sardina pilchardus*) sont prélevées systématiquement en avril (en même temps que les œufs) mais aussi en mai et juin dans une moindre mesure, que les larves de Grisets (*Spondyliosoma cantharus*) le sont entre mai et juin, celles d'Anchois (*Engraulis encrasicolus*) de juin à août.

Cependant, aucune constante de distribution en espèces n'est réellement observée en étudiant la Figure 40.

L'abondance de chaque espèce prise individuellement est très variable d'une année à l'autre, malgré la possible récurrence saisonnière des observations. L'exemple le plus extrême est celui de la Sardine au mois d'avril : 47 ind./1000 m<sup>3</sup> lors de l'état de référence puis 281 ind./1000 m<sup>3</sup> pendant les travaux et enfin 5 ind./1000 m<sup>3</sup> lors de l'exploitation.

La différence d'abondance des principales espèces entre l'état de référence et le suivi en exploitation explique les différences observées.

**L'assemblage des espèces au stade larvaire évolue au cours de chaque saison de prélèvement d'une façon différente chaque année.**

## 6.3.5 ANALYSE MULTIVARIEE

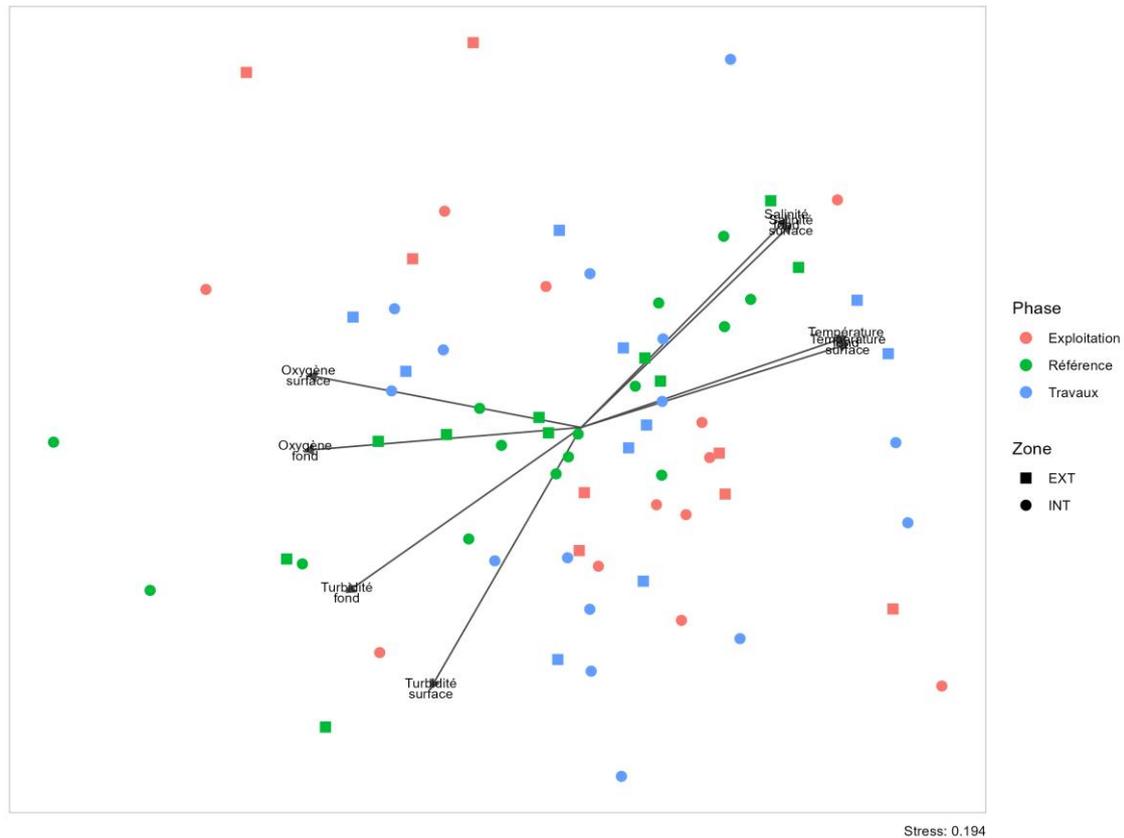


Figure 42 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au filet bongo entre 2019 et 2023. Toutes les stations sont représentées par des points (à l'intérieur du parc) et des carrés (à l'extérieur du parc). Seuls les paramètres dont l'influence est caractérisée sont présentés par des vecteurs ou des étiquettes. La valeur de stress de l'analyse est 0,196.

Les points correspondent à tous les prélèvements réalisés au cours des études d'état de référence, de suivi en travaux et de suivi en exploitation (5 stations x 15 missions soit 75 prélèvements). La position de chaque prélèvement dans le plan est déterminée par sa proximité ou distance (non-métrique, sans unité) avec l'ensemble des autres prélèvements, sur la base des CPUE par espèce pour chacun d'entre eux. Les étiquettes « Effet » sont placées au niveau du barycentre des prélèvements montrant cette caractéristique.

- Les prélèvements de larves de poissons ne peuvent pas être clairement séparés selon le facteur « Phase du parc éolien » ; en effet, les points prélèvements des différentes études sont répartis dans l'ensemble du plan si l'on se réfère uniquement à ce critère ; les différences entre prélèvements ne semblent pas liées à l'absence ou la présence du parc éolien ;
- La répartition des points n'est pas influencée par le critère Intérieur / Extérieur (ou Contrôle / Impact), ce qui indique que les peuplements ne sont pas différents entre eux en raison de leur localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone du parc ;
- La répartition des points dans le plan selon l'axe horizontal serait influencée par des variables environnementales matérialisées par les mesures des paramètres physico-chimiques : plus la température et la salinité sont élevées, plus les prélèvements sont localisés vers la droite et le haut du plan, alors qu'inversement plus l'oxygène dissous et la turbidité sont élevés, plus les prélèvements sont situés vers la gauche et le bas du plan. Cette observation indique une forme de succession saisonnière dans les peuplements observés ;

- Un ou plusieurs autres paramètres peuvent exercer une influence sur la répartition des échantillons, paramètres non-identifiés à ce stade de l'analyse.

### 6.3.6 SYNTHÈSE « LARVES DE POISSONS »

Une différence importante de valeur de richesse spécifique moyenne semble ressortir : elle est quasiment réduite de moitié pendant le suivi 2023 (suivi en phase d'exploitation) par rapport à l'état de référence. Cette différence est significative et il semble que les larves prélevées en phase d'exploitation sont issues d'un nombre réduit d'espèces. Aucune tendance saisonnière commune aux deux études ne se distingue.

Les valeurs de diversité spécifique et d'équitabilité moyennes sont proches entre l'état de référence et la phase d'exploitation.

Les assemblages diffèrent au cours du temps, tant entre les phases d'étude (état de référence, suivi en construction, suivi en exploitation) qu'au sein de chacune des phases d'étude réalisées. Des différences significatives sont observées en lien entre les différentes missions sans que des différences significatives soient confirmées entre missions particulières. Les variations observées seraient dues aux variations d'abondance d'une ou plusieurs espèces, notamment en raison de variations saisonnières et interannuelles des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer.

Les peuplements ne sont pas différents entre eux en raison de leur localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone du parc.

Une influence saisonnière sur les peuplements est observée. Cette saisonnalité n'est pas la même entre les deux années (2019 et 2023), phénomène encore une fois explicable par les décalages éventuels des paramètres physico-chimiques.

**Les différences d'assemblage entre prélèvements ne semblent pas liées à l'absence ou la présence du parc éolien.**

## 6.4 ZOOPLANCTON HORS ICTHYOPLANCTON

Cette partie présente les groupes d'espèces dont au moins une partie du cycle de vie se déroule dans la colonne d'eau et peuvent ainsi être prélevés en même temps que les œufs et larves de poissons. Il s'agit d'œufs, larves ou adultes de nombreuses espèces d'invertébrés tels les crustacés, mollusques, cnidaires ou échinodermes.

### 6.4.1 INDICES DE DIVERSITÉ BIOLOGIQUE

Tableau 15 : Indices de diversité biologique du zooplancton par mission.  
S est la richesse spécifique (nombre d'espèces), H est la diversité spécifique et J l'équitabilité.

Année / Mission	S	H	J
<b>2019</b>	11,6 ± 2,94	1,36 ± 0,34	0,57 ± 0,14
2019-04	8 ± 1,1	1,23 ± 0,27	0,6 ± 0,15
2019-05	14,4 ± 1,74	1,26 ± 0,45	0,48 ± 0,17
2019-06	12,8 ± 0,98	1,69 ± 0,05	0,66 ± 0,03
2019-07	13,6 ± 2,24	1,37 ± 0,26	0,53 ± 0,11
2019-08	9,2 ± 0,98	1,26 ± 0,32	0,57 ± 0,13
<b>2021</b>	12,8 ± 2	1,46 ± 0,29	0,58 ± 0,12
2021-04	13,8 ± 1,17	1,57 ± 0,12	0,6 ± 0,05
2021-06/1	11,8 ± 2,4	1,27 ± 0,14	0,52 ± 0,03
2021-06/2	13,6 ± 2,24	1,07 ± 0,12	0,41 ± 0,05
2021-07	13 ± 1,1	1,6 ± 0,07	0,63 ± 0,04
2021-08	11,8 ± 1,72	1,81 ± 0,1	0,74 ± 0,04
<b>2023</b>	10,76 ± 1,68	1,51 ± 0,3	0,64 ± 0,13
2023-04	10,2 ± 1,6	1,51 ± 0,18	0,66 ± 0,1
2023-05	9,6 ± 1,2	1,52 ± 0,21	0,68 ± 0,11
2023-06	11,4 ± 2,06	1,5 ± 0,45	0,62 ± 0,18
2023-07	11,2 ± 1,47	1,23 ± 0,19	0,51 ± 0,08
2023-08	11,4 ± 1,02	1,76 ± 0,09	0,73 ± 0,04

Les chiffres des différents indices de diversité biologique sont décrits ci-dessous par type d'indice.

- Indice de richesse spécifique (S)

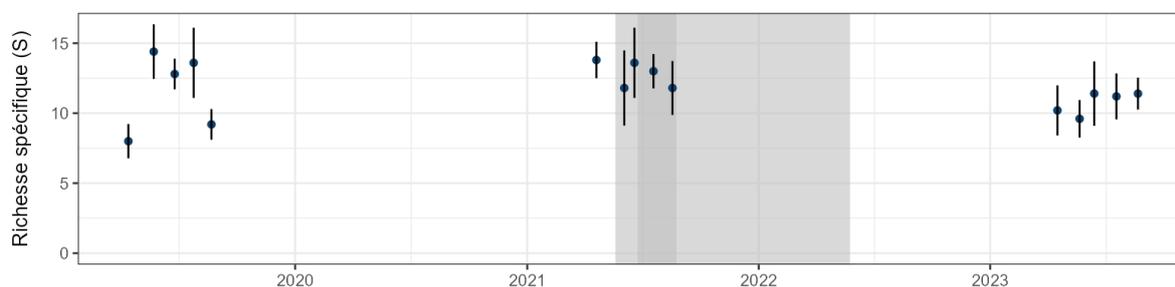


Figure 43 : Évolution de l'indice S de richesse spécifique du zooplancton au cours des missions.

Depuis l'état de référence, le nombre d'espèces ou groupes d'espèces du zooplancton semble stable, avec des valeurs moyennes annuelles proches. L'hétérogénéité entre missions d'une même année est plus forte lors de l'état de référence alors que le nombre d'espèces varie peu entre les missions des suivis. **Il n'y a pas de différence significative entre l'état de référence et le suivi en exploitation (two-way ANOVA – p = 0,418).**

- Indice de diversité biologique Shannon (H)

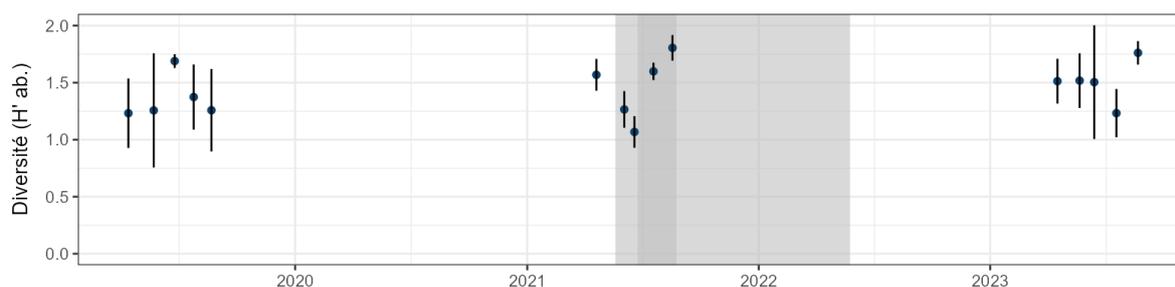


Figure 44 : Évolution de l'indice H de diversité biologique du zooplancton au cours des missions.

L'indice moyen de diversité spécifique (Tableau 15) semble stable depuis l'état de référence ; les valeurs pour chaque mission sont plus ou moins hétérogènes selon l'étude (Figure 44).

Le test statistique réalisé sur les valeurs de H montre que la variabilité entre missions est marquée (Kruskal-Wallis,  $p = 1,8 \cdot 10^{-4}$ ) mais aucune comparaison par paire ne montre de différence significative entre deux missions particulières. **L'analyse de variance ne montre pas de différence de la moyenne de H entre l'état de référence et le suivi en exploitation (two-way ANOVA,  $p = 0,266$ ).**

- Indice d'équitabilité biologique (J)

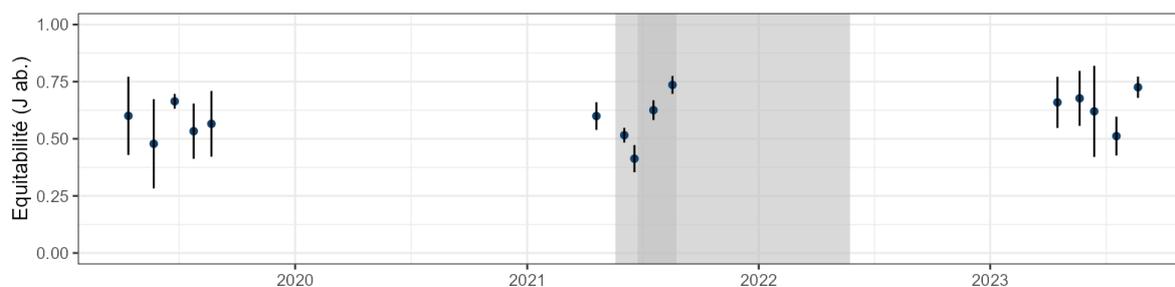


Figure 45 : Évolution de l'indice J d'équitabilité biologique du zooplancton au cours des missions.

L'indice moyen de diversité spécifique (Tableau 15) semble stable depuis l'état de référence ; les valeurs pour chaque mission sont plus ou moins hétérogènes selon l'étude (Figure 45).

Le test statistique réalisé sur les valeurs de J montre que la variabilité de l'équitabilité est forte entre missions (Kruskal-Wallis,  $p = 0,00057$ ) mais aucune comparaison par paire ne montre de différence significative entre deux missions particulières. **L'analyse de variance ne montre pas de différence de la moyenne de H entre l'état de référence et le suivi en exploitation (two-way ANOVA,  $p = 0,168$ ).**

### 6.4.2 FRÉQUENCE D'OCCURRENCE

Tableau 16 : Fréquence d'occurrence des espèces de zooplancton les plus observées.

FREQUENCE D'OCCURRENCE (% des prélèvements réalisés)				
ESPECE	2019	2021	2023	2019-2023
<i>Eumalacostraca Zoé/Mégaloce</i>	100	100	100	100
<i>Caridea/Gebiidea</i>	92	100	100	97
<i>Hydroïdolina</i>	96	100	96	97
<i>Copepoda</i>	100	88	88	92
<i>Gastropoda</i>	96	68	100	88
<i>Copelata</i>	84	88	88	87
<i>Sagittoidea</i>	96	84	72	84
<i>Phyllopoda</i>	72	96	68	79
<i>Errantia</i>	84	72	52	69
<i>Amphipoda</i>	16	48	44	36
<i>Echinoidea Juvénile</i>	56	44	8	36
<i>Echinoidea/Holothuroidea/Asterozoa larve</i>	30	42	24	32
<i>Cydippida</i>	24	24	40	29
<b><i>Crangon crangon Juvénile</i></b>	0	76	0	25
<i>Sedentaria Larve</i>	8	48	16	24
<i>Salpida</i>	4	40	24	23
<i>Asterozoa Juvénile</i>	48	12	0	20

Les larves d'Eumalacostracés (sous-classe de crustacés pouvant inclure une très grande variété d'organismes de toutes tailles et modes de vie) sont omniprésentes (100 % des prélèvements).

7 groupes d'espèces du zooplancton sont considérés comme constants (entre 75 et 99 %) dans les prélèvements :

- Crustacés : *Caridea/Gebiidea*, *Copepoda*,
- Cnidaires : *Hydroïdolina*,
- Mollusques : *Gastropoda*,
- Tuniciers : *Copelata*,
- Chétognathes : *Sagittoidea*,
- Branchiopodes : *Phyllopoda*.

1 embranchement est considéré comme « commun » avec une fréquence d'occurrence entre 50 et 74 %. C'est le cas des Polychètes de la sous-classe *Errantia*.

Enfin, 5 groupes d'espèces sont considérés comme étant « occasionnels » car leur fréquence d'occurrence se situe entre 25 et 49 %.

### 6.4.3 ABONDANCE DU ZOOPLANCTON

#### 6.4.3.1 Abondance par mission

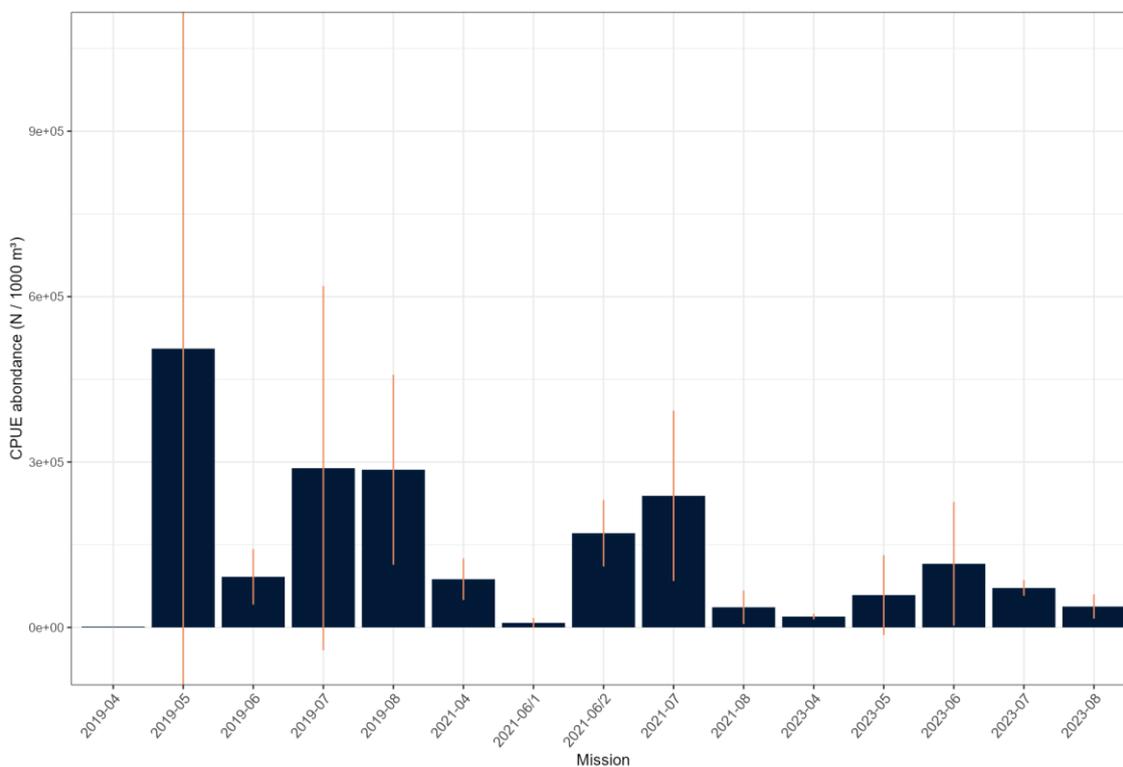


Figure 46 : Abondance du zooplancton par mission.

L'abondance du zooplancton autre qu'ichtyoplancton présentée en Figure 46 est exprimée en Captures Par Unité d'Effort (CPUE) : nombre d'individus pour 1000m<sup>3</sup> d'eau de mer.

Il ne semble pas y avoir de récurrence dans la distribution des abondances au cours de chaque saison : les plus fortes abondances moyennes sont tantôt constatées en mai (état de référence), puis en juillet (suivi travaux) et enfin en juin (suivi exploitation).

Les écart-types souvent très importants indiquent une forte variabilité dans l'abondance entre stations d'une même mission.

Les tests statistiques réalisés sur les abondances moyennes indiquent une forte variabilité de l'abondance moyenne par mission (Kruskal-Wallis,  $p = 1,57 \cdot 10^{-6}$ ) mais aucune comparaison par paire ne montre de différence significative entre deux missions particulières. **L'abondance moyenne par mission du zooplancton a changé significativement entre l'état de référence et le début de l'exploitation du parc éolien (two-way ANOVA,  $p = 0,012$ ).** Cette différence est limitée à la zone à l'intérieur du parc (Tukey HSD,  $p = 0,013$ ), tandis qu'à l'extérieur l'abondance est restée inchangée (Tukey HSD,  $p = 0,996$ ).

#### 6.4.3.2 Abondance par zone

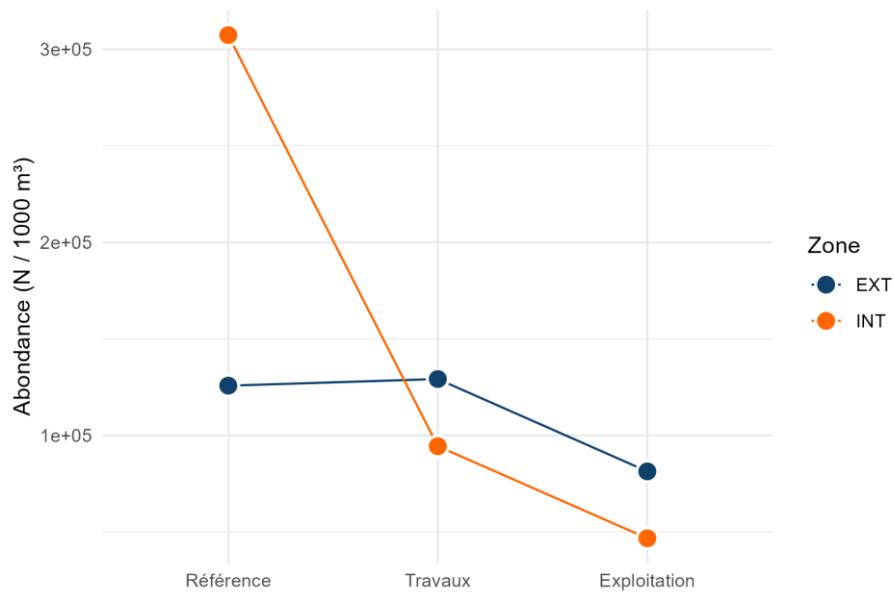


Figure 47 : Abondance moyenne du plancton hors ichthyoplancton en  $N / 1000 m^3$ , par phase d'étude et par zone. EXT regroupe les stations en zone témoin, INT celles contenues dans les limites du parc éolien.

La Figure 47 montre la décroissance des valeurs d'abondance du plancton à partir de l'état de référence et jusqu'à la phase d'exploitation. Cette décroissance est observée à l'intérieur et à l'extérieur de la zone du parc avec des ordres de grandeur comparables même si la valeur originale de l'abondance du zooplancton est supérieure à l'intérieur de la zone du parc.

### 6.4.4 ASSEMBLAGE DES ESPÈCES

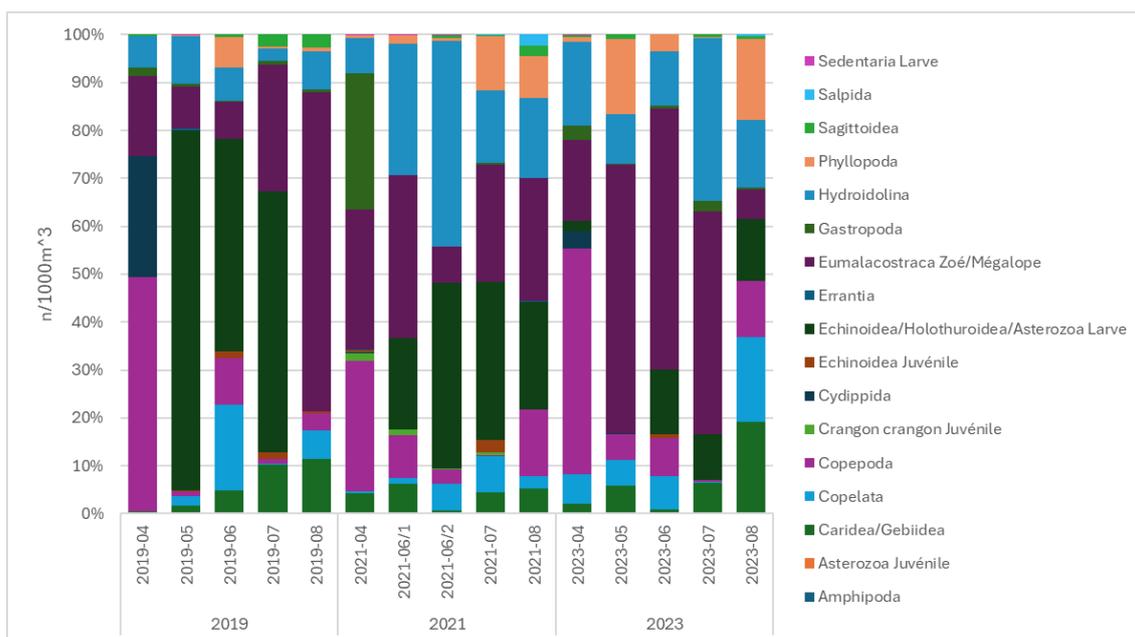


Figure 48 : Assemblage des 15 espèces de zooplancton les plus fréquemment observées par mission.

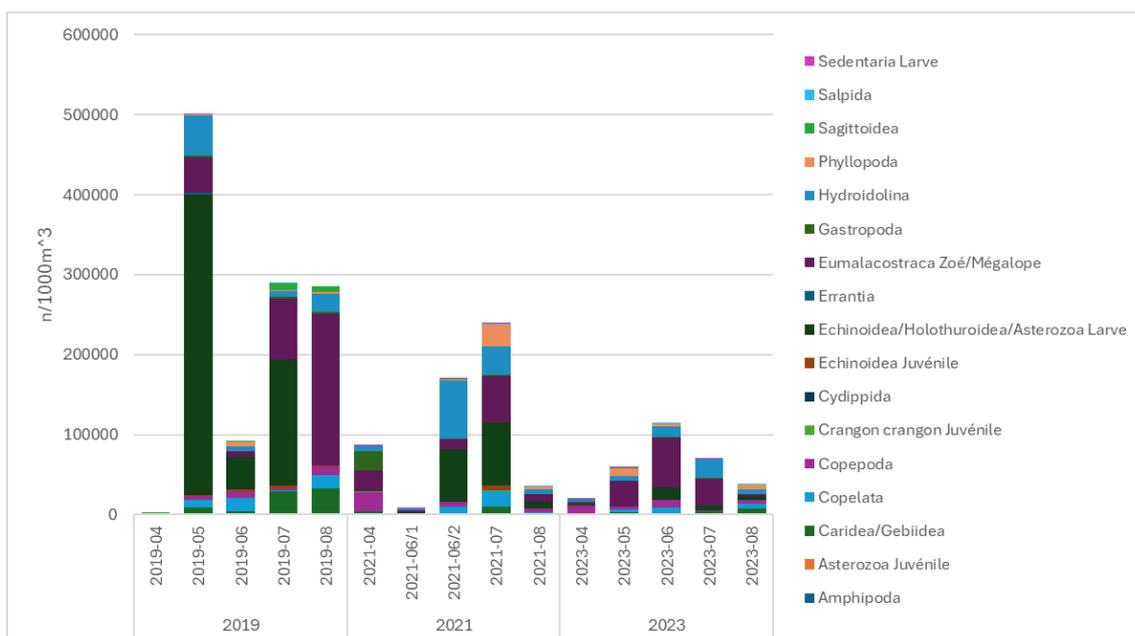


Figure 49 : Représentation de l'assemblage des espèces de zooplancton en fonction de l'abondance par mission.

Les assemblages (Figure 48) seraient influencés principalement par la relative abondance de deux groupes dans le zooplancton : les Echinodermes (*Echinoidea/Holothuroidea/Asterozoa larve*) et les Eumalacostracés (*Eumalacostraca Zoé/Mégaloce*).

Lors de chaque étude, le mois d'avril semble différent du reste des missions par les faibles abondances constatées.

L'assemblage des espèces du zooplancton autre qu'ichtyoplancton évolue au cours de chaque saison de prélèvements (variabilité intra-annuelle), sans que ce soit de la même façon chaque année (variabilité inter-annuelle). La composition de l'assemblage ne varie pas en fonction de l'abondance, c'est plutôt la forte présence d'une ou de plusieurs espèces qui fait varier l'abondance (Figure 49).

## 6.4.5 ANALYSE MULTIVARIEE

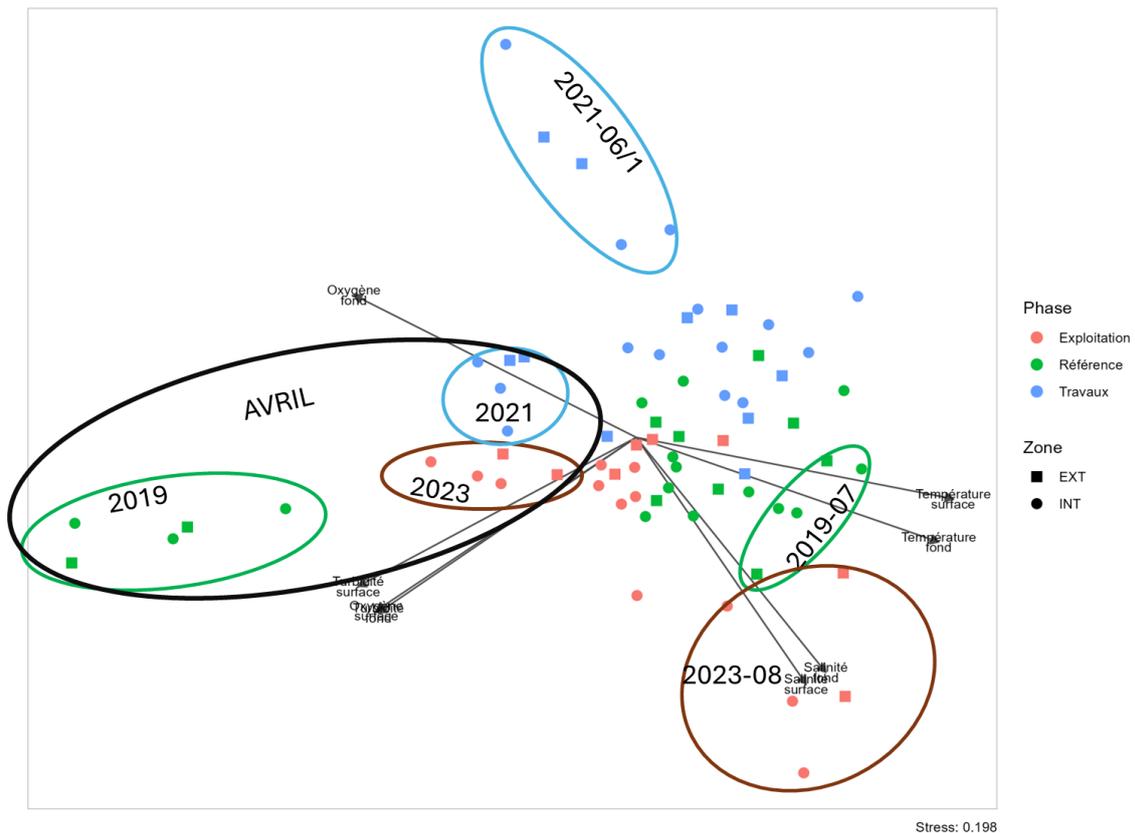


Figure 50 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au filet bongo entre 2019 et 2023.

Toutes les stations sont représentées par des points (à l'intérieur du parc) et des carrés (à l'extérieur du parc). Seuls les paramètres dont l'influence est caractérisée sont présentés par des vecteurs ou des étiquettes. La valeur de stress de l'analyse est 0,198.

Les points correspondent à tous les prélèvements réalisés au cours des études d'état de référence, de suivi en travaux et de suivi en exploitation (5 stations x 15 missions soit 75 prélèvements). La position de chaque prélèvement dans le plan est déterminée par sa proximité ou distance (non-métrique, sans unité) avec l'ensemble des autres prélèvements, sur la base des CPUE par espèce pour chacun d'entre eux. Les étiquettes « Effet » sont placées au niveau du barycentre des prélèvements montrant cette caractéristique.

La Figure 50 montre que les stations sont regroupées par date de prélèvement, indépendamment de leur localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone du parc. Les stations regroupées par date se succèdent de gauche à droite chronologiquement. L'axe horizontal semblerait séparer les stations de l'état de référence et du suivi en exploitation d'une part (partie inférieure) et celles du suivi travaux d'autre part (partie supérieure), bien que des exceptions soient visibles ; cette séparation serait corrélée à une différence dans les valeurs de salinité.

Les stations d'avril 2019 sont séparées des autres par l'axe vertical en lien avec l'influence caractérisée de la turbidité et la teneur en oxygène dissous de fond. La première mission de juin 2021 se démarque également des autres sans lien avec une variation particulière de paramètre physico-chimique, ainsi que celle d'août 2023 pour laquelle la salinité est la plus forte. Ces trois missions sont caractérisées par des abondances faibles (Figure 46) et des assemblages différents (Figure 48 et Figure 49), d'où leurs distances dans le plan.

#### 6.4.6 SYNTHÈSE « AUTRE ZOOPLANCTON »

Les abondances de Zooplanctons autre que œufs et larves de Poissons sont extrêmement variables entre les différentes missions, avec parfois un facteur de variation de l'ordre de 100.

Les valeurs moyennes de richesse spécifique, de diversité spécifique et d'équitabilité sont semblables d'une année à l'autre, aucune variation significative n'est observée.

Les assemblages d'espèces observés sont différents d'une année à l'autre.

La principale différence observée est la relative absence des larves d'Échinodermes lors du suivi 2023 alors qu'elles sont présentes en nombre dans les prélèvements de l'état de référence. La présence du parc ne semble pas liée à cette modification.

Aucune différence de peuplement n'est observée entre l'intérieur et l'extérieur du parc. L'évolution de la salinité locale, de la turbidité et de la teneur en oxygène dissous peut être associée à des modifications de peuplement à différentes dates du suivi.

## 7 RÉSULTATS DES SUIVIS HALIEUTIQUES

### 7.1 RAPPEL DES OBJECTIFS

Il est ici question d'évaluer l'impact éventuel de l'exploitation du parc éolien en mer sur les poissons et crustacés adultes et juvéniles pouvant être capturés à l'aide de matériel de pêche conventionnel.

Bien qu'il s'agisse ici d'un suivi de type BACI (donc « Avant-Après »), les données du suivi en phase de construction du parc sont incluses dans l'analyse afin de fournir une mise en perspective des résultats observés. Ce suivi a eu lieu d'avril 2021 à septembre 2022, selon le même mode opératoire que l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation.

### 7.2 CAMPAGNES MÉTIERS « FILETS À POISSONS ET CRUSTACÉS » (FILET PECHE-TOUT)

#### 7.2.1 INDICES DE DIVERSITÉ BIOLOGIQUE

Tableau 17 : Indices de diversité biologique moyens en fonction des missions.  
S : richesse spécifique, H : indice de diversité de Shannon ; J : indice d'équité de Piélou). Les couleurs foncées correspondent aux valeurs les plus élevées.

Année / Mission	S	H	J
2019	9 ± 3,3	1,37 ± 0,29	0,66 ± 0,11
2019-07	6,7 ± 2,8	1,21 ± 0,21	0,68 ± 0,1
2019-09	11,2 ± 2	1,53 ± 0,28	0,64 ± 0,11
2021	5,9 ± 2,2	0,93 ± 0,39	0,54 ± 0,18
2021-06	6,5 ± 1,8	1,13 ± 0,37	0,6 ± 0,15
2021-10	5,9 ± 2,7	0,79 ± 0,31	0,48 ± 0,18
2021-11	5,3 ± 1,9	0,88 ± 0,39	0,54 ± 0,19
2022	5,2 ± 1,9	1,06 ± 0,31	0,69 ± 0,16
2022-06	5,8 ± 1,8	1,18 ± 0,26	0,7 ± 0,17
2022-10	4,5 ± 1,8	0,94 ± 0,31	0,67 ± 0,15
2023	7,2 ± 3,2	1,42 ± 0,35	0,76 ± 0,11
2023-06	5,1 ± 1,6	1,3 ± 0,23	0,83 ± 0,09
2023-09	6,7 ± 2,3	1,4 ± 0,27	0,76 ± 0,08
2023-12	9,8 ± 3,5	1,56 ± 0,46	0,69 ± 0,12

Les indices de diversité calculés par mission sont présentés dans le Tableau 17 et commentés ci-dessous.

- Indice de richesse spécifique (S)

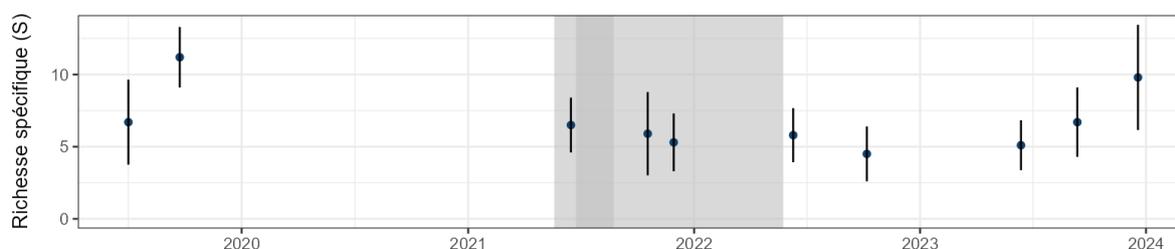


Figure 51 : Indice S de richesse spécifique moyen au fil des missions.  
Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

**La valeur de l'indice S de richesse spécifique évolue au cours du suivi.** Elle est en moyenne supérieure pendant les phases d'état de référence et de suivi en phase d'exploitation (Figure 51).

La valeur maximale est de 11,2 (2019-09) et la minimale de 4,5 (2022-10).

**Il n'y a pas de différence de richesse spécifique entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation (two-way ANOVA -  $p = 0,093$ ).**

- Indice de diversité biologique Shannon (H)

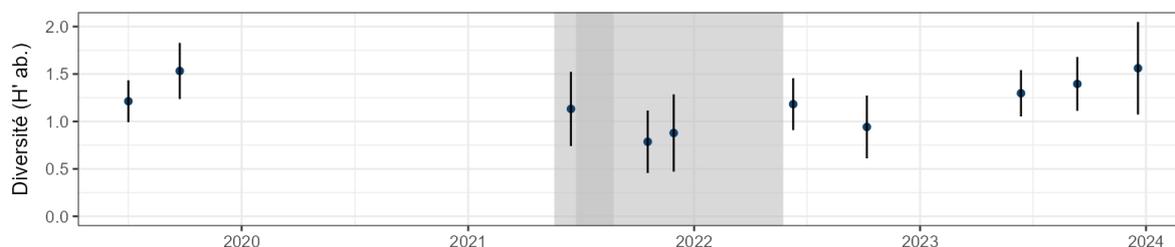


Figure 52 : Indice H de diversité biologique moyen au fil des missions.  
Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé)

La Figure 52 présente les données de l'indice de diversité spécifique H présentées dans le Tableau 17

Les valeurs d'indices calculées au cours des missions de 2019 sont assez homogènes avec 1,21 pour celle de juillet et 1,53 pour celle de septembre. Alors que les indices relevés au cours des missions de 2021 sont beaucoup plus faibles avec 1,13 en juin, 0,79 en octobre et 0,88 en novembre. Les valeurs calculées pendant la phase exploitation présentent le même ordre de grandeur que celles de l'état de référence.

**Aucune différence n'est décelable entre l'état de référence et le suivi exploitation (two-way ANOVA -  $p = 0,894$ ).**

- Indice d'équitabilité biologique (J)

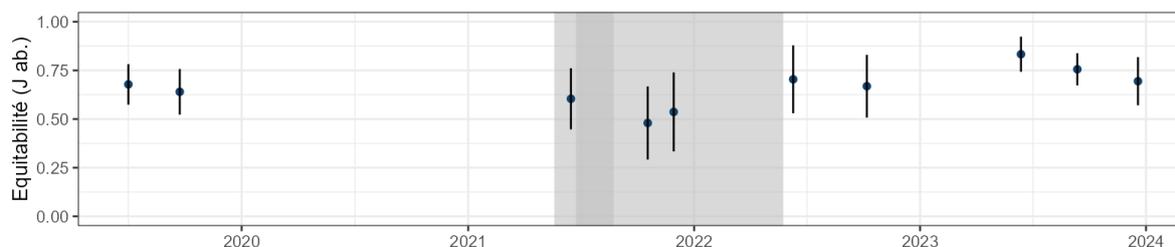


Figure 53 : Évolution de l'indice J d'équitabilité biologique moyen au fil des missions.  
Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé).

La Figure 53 présente les données de l'indice d'équitabilité J présentées dans le Tableau 17.

Les valeurs de l'indice J indiquent une diminution de l'équitabilité biologique au cours de l'année 2021 (suivi en phase de travaux) ; les valeurs du suivi en phase de travaux 2022 sont les mêmes que lors de l'état de référence ; celles du suivi en exploitation semblent légèrement plus élevées.

**Aucune différence significative de valeur d'équitabilité entre l'état de référence et le suivi travaux ou exploitation n'est détectée (two-way ANOVA -  $p = 0,146$ ).**

- Il n'existe pas de différence significative de richesse spécifique entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation ;

- Aucune différence de diversité spécifique n'est décelable entre l'état de référence et le suivi exploitation ;
- Aucune différence significative de valeur d'équitabilité entre l'état de référence et le suivi travaux ou exploitation n'est détectée.

### 7.2.2 FRÉQUENCE D'OCCURRENCE

Tableau 18 : Fréquence d'occurrence (en pourcentage) des prélèvements des 15 espèces les plus fréquemment capturées par année et valeur moyenne de la période 2019-2023.

Nom scientifique	Nom commun	2019	2021	2022	2023	2019-2023
<i>Labrus bergylta</i>	Vieille commune	100	93	100	100	98
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud commun	100	90	95	100	96
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite Roussette	65	43	20	40	42
<i>Conger conger</i>	Congre d'Europe	60	30	35	27	36
<i>Pollachius pollachius</i>	Lieu jaune	30	37	25	47	36
<i>Maja brachydactyla</i>	Araignée de mer	100	13	0	23	31
<i>Scyliorhinus stellaris</i>	Grande Roussette	15	23	40	40	30
<i>Raja undulata</i>	Raie brunette	30	27	10	40	28
<i>Raja montagui</i>	Raie douce	15	20	20	43	26
<i>Sepia officinalis</i>	Seiche commune	25	33	5	33	26
<i>Pagellus erythrinus</i>	Pageot commun	35	20	5	30	23
<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget de roche	45	13	0	10	16
<i>Octopus vulgaris</i>	Pieuvre commune	5	17	15	20	15
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar européen	30	7	0	20	14
<i>Torpedo marmorata</i>	Torpille marbrée	25	7	30	3	14

Le Tableau 18 présente les fréquences d'occurrence des dix espèces les plus fréquemment observées au cours des prélèvements de 2019 à 2023. **La Vieille commune (98 %) et le Tacaud commun (96 %) sont les deux espèces qui se démarquent par leur quasi-omniprésence dans les prélèvements.**

La Petite Roussette a vu sa fréquence d'occurrence diminuer de manière importante entre l'état de référence et la phase de travaux ; en effet, présente dans 65 % des prélèvements de l'état de référence, elle l'a été beaucoup moins en 2021 et 2022.

La même observation peut être réalisée au sujet du Congre, de l'Araignée de mer, la Raie brunette, le Pageot commun et le Rouget de roche.

La fréquence d'occurrence de la Grande Roussette a quant à elle augmenté au cours de la phase de construction et reste au même niveau en phase d'exploitation. C'est également le cas du Poulpe et de la Raie douce.

**Généralement, la fréquence d'occurrence des espèces conserve, au cours de la phase d'exploitation, une valeur semblable à celle de l'état de référence.**

### 7.2.3 ABONDANCE

#### 7.2.3.1 Abondance par mission

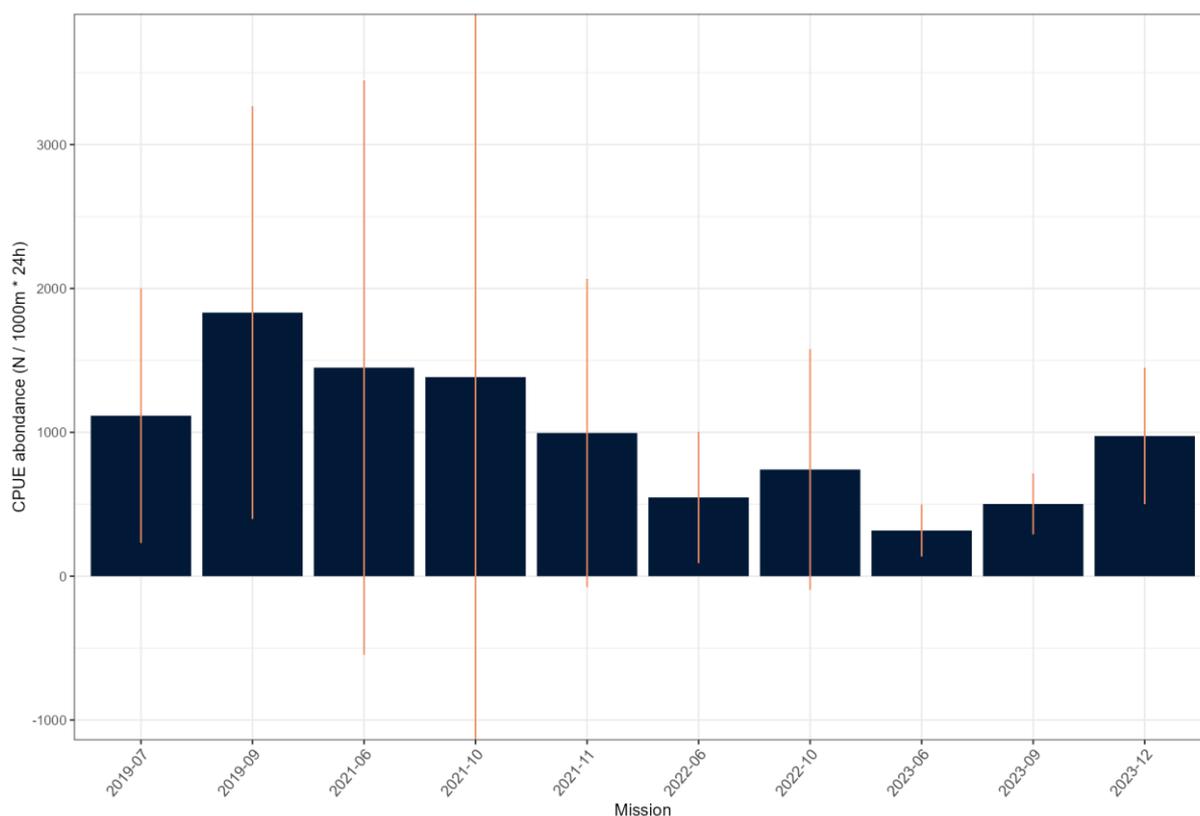


Figure 54 : Abondance de poissons et crustacés prélevés par mission.

Entre 2019 (pour la définition de l'état de référence) et 2023 (en phase d'exploitation), en moyenne 985 individus ont été prélevés pour 1 000 mètres de filet et par 24 heures. La mission qui révèle la plus forte abondance est celle de septembre 2019 avec 1 832 individus prélevés par 1 000 mètres et par 24 heures (Figure 54), alors que la mission de juin 2023 est celle au cours de laquelle le plus faible nombre d'individus par unité d'effort est observé ( $n = 318 \text{ ind.} / 1000\text{m} * 24\text{h}$ ).

Le test de Kruskal-Wallis indique qu'au moins une des missions est significativement différente des autres ( $p\text{-value} = 0,00018$ ) ; une différence significative existe entre les CPUE moyennes pour la mission 2023-06 et les missions 2019-07 ( $p = 0,0136$ ), 2019-09 ( $p = 0,0019$ ), 2021-06 ( $p = 0,0057$ ) et 2023-12 ( $p = 0,0057$ ), ainsi qu'entre les missions 2019-09 et 2023-09 ( $p = 0,0431$ ). Ainsi, deux des missions de prélèvements réalisées en phase d'exploitation présentent des différences significatives dans l'abondance totale avec les deux missions de l'état de référence. L'hypothèse d'un effet lié à la présence du parc éolien en mer est envisagée à ce point.

**Le test d'analyse de variance (two-way ANOVA) permet de confirmer qu'il existe une différence significative de la valeur d'abondance moyenne entre l'état de référence et le suivi en exploitation ( $p = 0,042$ )**

### 7.2.3.2 Abondance par zone

L'analyse de variance à deux facteurs permet de dire qu'il existe une différence significative au niveau de l'abondance moyenne des zones intérieure et extérieure du parc éolien ( $p = 0,00126$ ). La Figure 55 permet de préciser l'origine de cette différence.

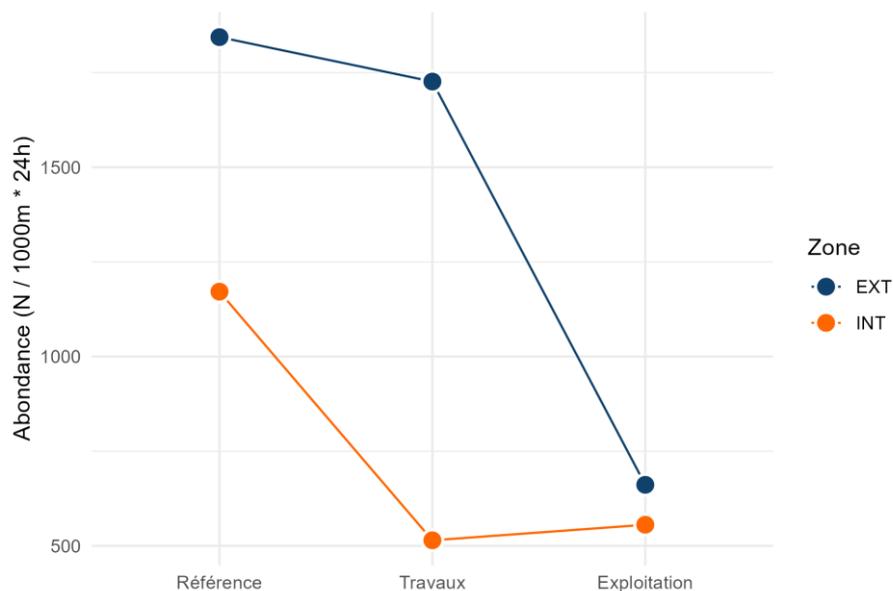


Figure 55: Abondance moyenne par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

La Figure 55 indique l'abondance moyenne toutes espèces confondues par zone, pour chaque étude réalisée.

Lors de l'étude d'état de référence, l'abondance hors des limites du parc éolien est supérieure à celle de l'intérieur de cette zone. En phase d'exploitation, les deux zones présentent des abondances moyennes similaires, à un niveau inférieur à celui de l'état de référence. La diminution globale d'abondance moyenne est plus importante à l'extérieur du parc éolien qu'à l'intérieur.

Toutefois, la grande variabilité des valeurs d'abondance (illustrée par les écarts-type en Figure 54) ne permet pas de conclure sur la significativité statistique de ces résultats.

#### 7.2.4 CPUE

Les valeurs calculées de CPUE par espèce pour chacune des missions des études d'état de référence et de suivi en phase d'exploitation sont présentées en Annexe.

Les CPUE par prélèvement sont représentées sous forme de cartes (Figure 56 et Figure 57) afin de :

- Visualiser la répartition et les variations de CPUE dans l'espace et le temps ;
- Illustrer l'effet de l'habitat sur les niveaux de CPUE.

Seuls l'état de référence et le suivi en exploitation sont représentés, car c'est cette comparaison qui est l'objet du rapport.

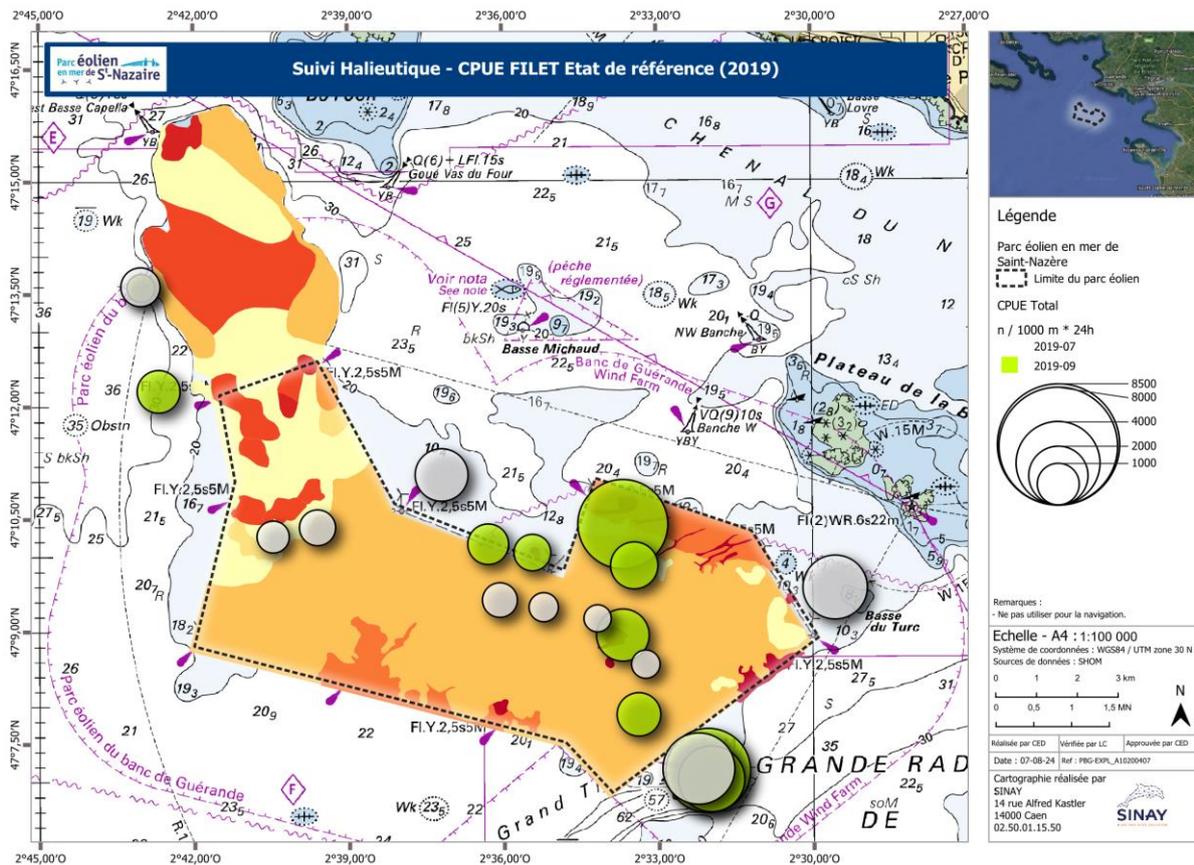


Figure 56 : Carte des CPUE au filet (n/1000m\*24h) en 2019. Pour la légende des habitats, se référer à la Figure 3 (p. 24).

Le plan d'échantillonnage a sensiblement changé entre juin et septembre 2019 ; les stations sont cependant réparties sur des habitats similaires.

Il est possible d'observer des CPUE plus élevées au mois de septembre, notamment dans la partie Est du banc de Guérande. Des captures notables ont été réalisées ; les résultats présentés en partie 7.2.5 montrent que ces captures sont constituées principalement de Vieille Commune, Lieu Jaune et Tacaud Commun, avec, pour les deux dernières espèces citées, une abondance moyenne supérieure en septembre par rapport à juin.

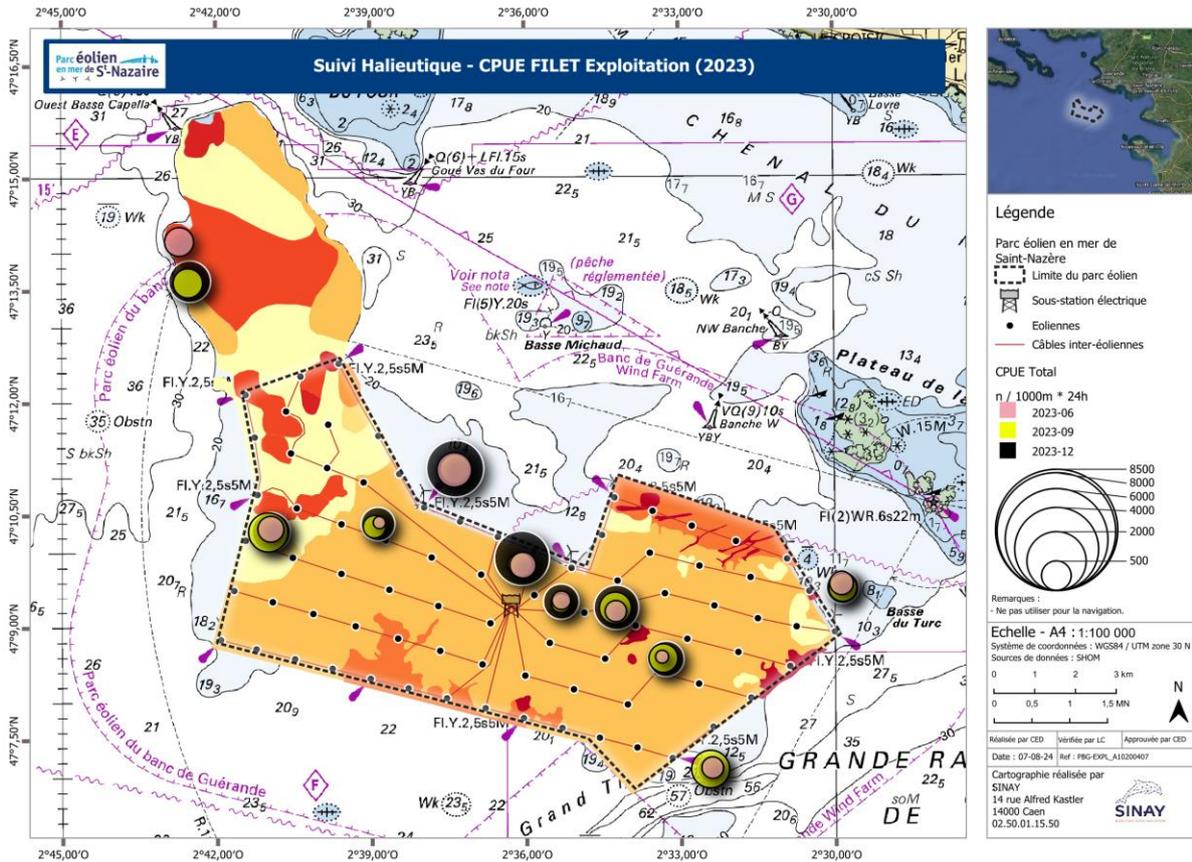


Figure 57: Carte des CPUE au filet (n/1000m\*24h) en 2023. Pour la légende des habitats, se référer à la Figure 3 (p. 24).

Les CPUE constatées au cours du suivi en phase d'exploitation sont inférieures à celles de l'état de référence. Les CPUE sont en baisse pour l'ensemble des prélèvements réalisés, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur du parc éolien.

Pour la mission 2023-12, des CPUE en hausse sont constatées localement, plutôt au centre de la figure, ainsi que dans la zone Nord-Ouest, à l'extérieur du parc éolien.

### 7.2.5 ASSEMBLAGE DES ESPÈCES

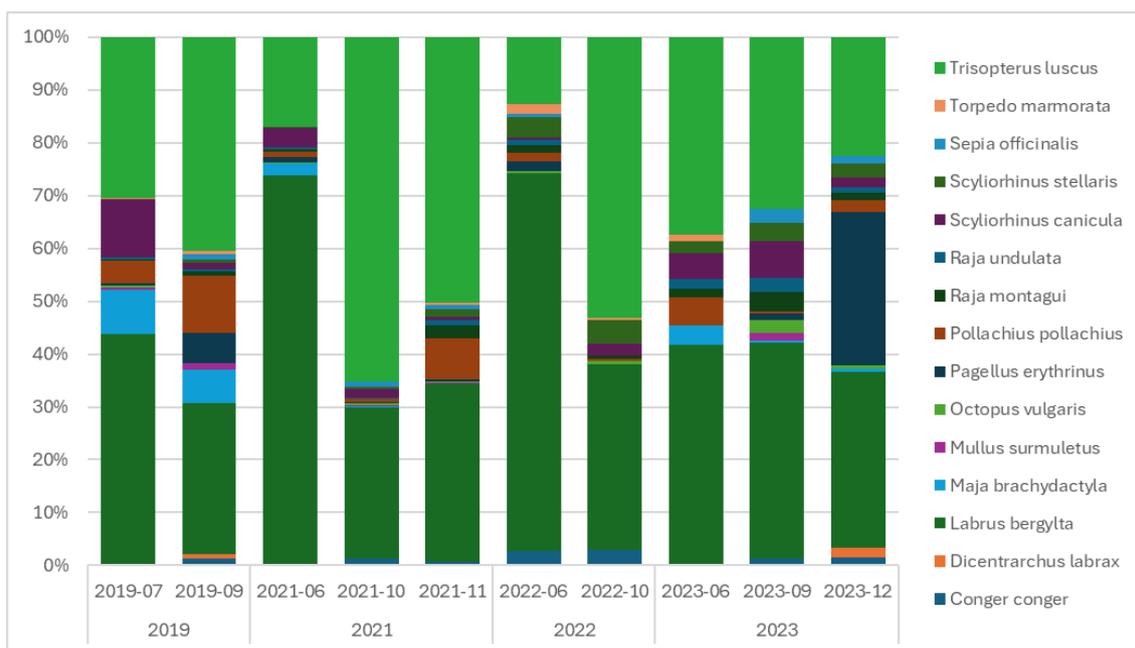


Figure 58 : Assemblage des 15 espèces les plus fréquemment observées par mission.

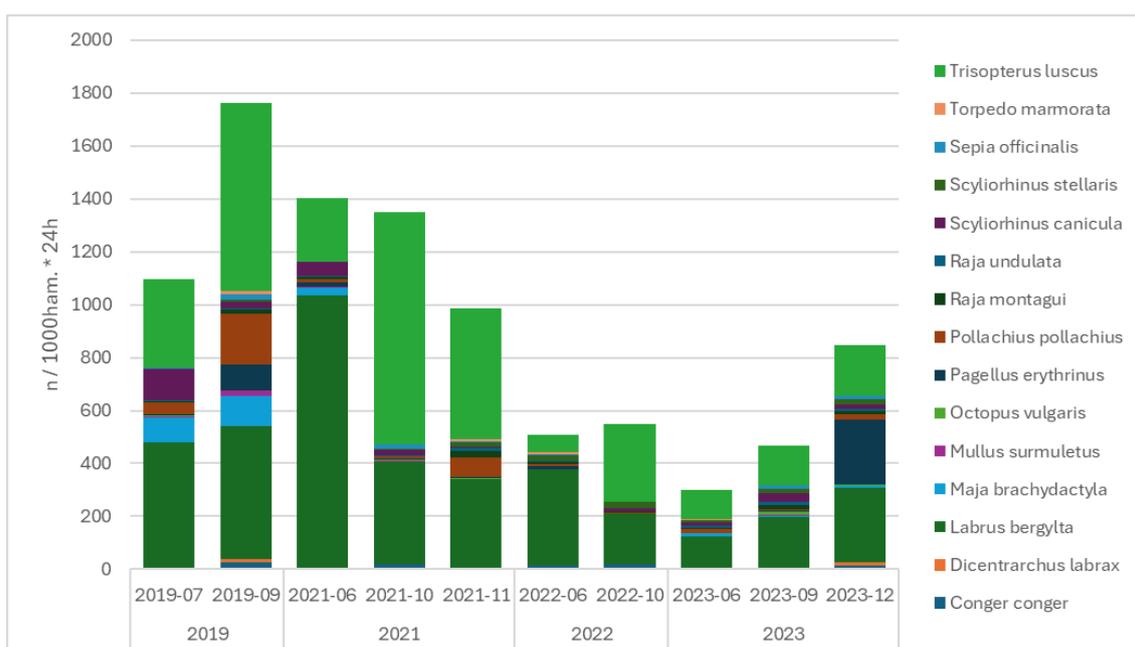


Figure 59 : Assemblage des 15 espèces les plus fréquemment observées en fonction de l'abondance (n/1000m\*24h) par mission.

D'un point de vue général, la Vieille et le Tacaud présentent les valeurs de CPUE les plus élevées avec 41,05 et 36,97 %, soit 78,02 % du total (2019-2023) pour ces seules deux espèces (Figure 59). Les autres espèces complétant l'assemblage observé présentent des valeurs d'abondance relative inférieures à 50,00 %. Ces espèces sont la Grande et la Petite roussettes, la Raie brunette, le Lieu jaune, l'Araignée de mer, le Pageot commun et le Congrè d'Europe.

L'assemblage observé au moyen des prélèvements au filet semble principalement composé de Vieille et de Tacaud commun, avec des proportions variables du reste des espèces. Certaines peuvent

montrer des abondances marquées au cours d'une mission en particulier, comme le Pageot commun (*Pagellus erythrinus*) dont la quantité prélevée en décembre 2023 est similaire à celle de la Vieille et supérieure à celle du Tacaud commun.

La Figure 59 montre une diminution de l'abondance générale à partir de 2021 et les valeurs les plus faibles sont mesurées en 2023.

Ainsi on peut observer une forte abondance de Vieille au début de l'étude de suivi en construction (2021-06), largement supérieure à celle constatée lors de l'état de référence, qui diminue fortement en automne 2021 et se stabilise à un niveau bas pour le reste du suivi en phase de travaux. Le minimum d'abondance de cette espèce est atteint au début du suivi en phase d'exploitation (2023-06), les valeurs de CPUE augmentent ensuite au cours de l'étude. **Des différences significatives de CPUE moyennes de la Vieille sont observées entre la mission 2023-06 (plus faible abondance) et les missions 2019-07 ( $p = 0,046$ ) et 2021-06 ( $p = 0,033$ ).**

La valeur d'abondance du Tacaud atteint son maximum au cours des travaux de construction, mais aussi son minimum juste après la fin de ceux-ci. Les CPUE de cette espèce semblent plus faibles lors du suivi en phase d'exploitation qu'en état de référence. **L'analyse statistique des CPUE moyennes par mission du Tacaud confirme la singularité des missions 2022-06 et 2023-06** ; en effet, celle en suivi en phase de travaux est significativement différente des missions 2019-09 ( $p = 0,00049$ ), 2021-06 ( $p = 0,01396$ ) et 2023-12 ( $p = 0,04410$ ), et 2023-06 est significativement différente de 2019-09 ( $p = 0,00905$ ).

**La Vieille et le Tacaud restent nettement les deux espèces dominantes.**

### 7.2.6 ÉTUDE MONOSPÉCIFIQUE

Les figures et tableaux présentés ci-dessous constituent une synthèse des données de CPUE et mensurations produites pour les cinq espèces les plus fréquemment observées au cours des missions de 2019 à 2021. Les graphiques de distribution en taille sont présentés en annexe.

- La Vieille commune

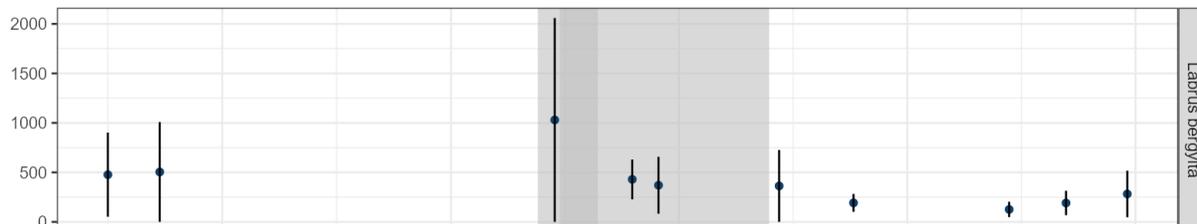


Figure 60 : Évolution des CPUE (n/1000m \* 24h) de la Vieille commune au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

Les CPUE calculées indiquent que la Vieille est plus abondante au début de la période de suivi en phase de construction ; en revanche, cette abondance diminue fortement dès l'automne 2021, pour ne même plus atteindre le niveau de l'état de référence.

**Aucune différence significative entre l'état de référence et le suivi en exploitation n'est constatée au niveau des CPUE de Vieille commune (two-way ANOVA,  $p = 0,203$ ). De même, ce test ne démontre pas de différence significative des CPUE moyennes de Vieille par zone entre les deux études ( $p = 0,424$ ).**

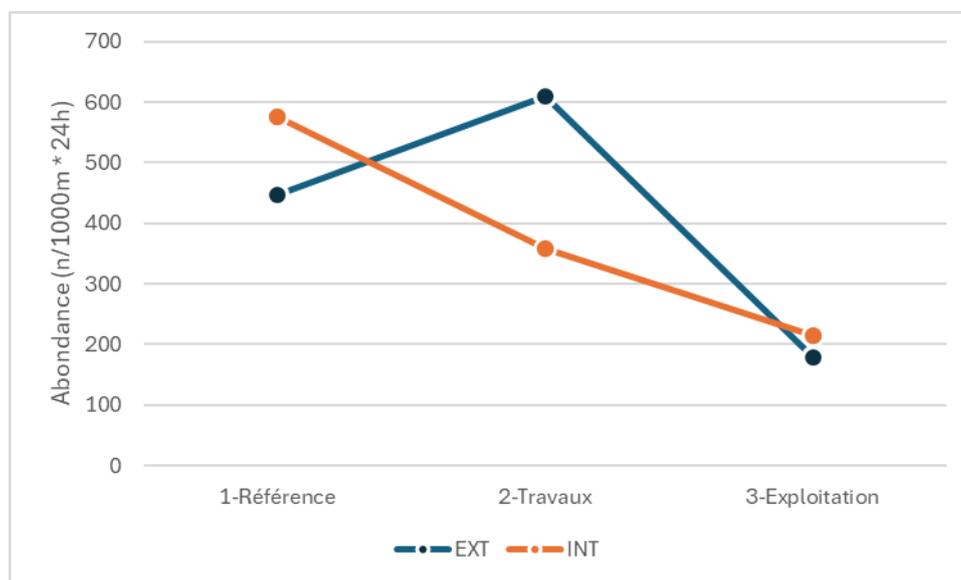


Figure 61: Abondance moyenne par zone et par phase d'étude de la Vieille commune.

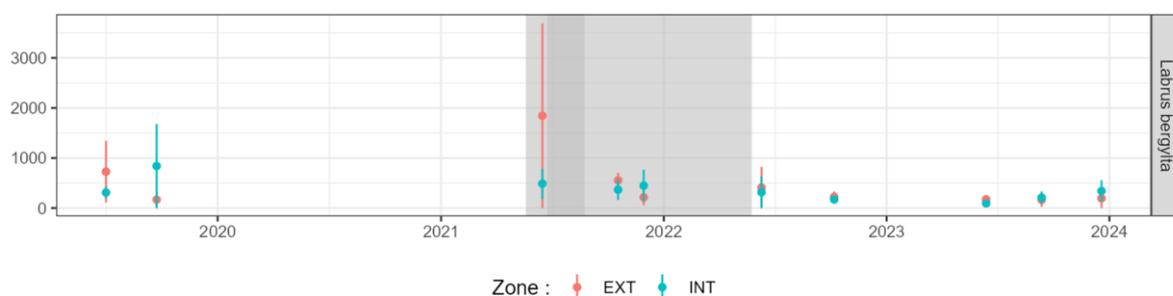


Figure 62: Évolution des CPUE (n/1000m\*24h) de la Vieille commune au fil des missions.

Aucune différence de quantité de Vieille capturée n'est observée dans le parc ni à l'extérieur pendant l'ensemble de la période étudiée. Au cours de l'état de référence, l'abondance de Vieille est plus importante à l'extérieur au printemps et à l'intérieur en fin d'été.

Tableau 19 : Synthèse des tailles (mm) relevées de la Vieille commune au cours des missions.

<i>Labrus bergylta</i>	Taille moy. (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Effectif
2019	354 ± 48			496
2019-07	344 ± 45	200	490	285
2019-09	363 ± 50	240	520	211
2021	375 ± 59			731
2021-06	352 ± 52	180	540	279
2021-10	388 ± 63	200	500	257
2021-11	385 ± 62	200	520	195
2022	373 ± 70			245
2022-06	391 ± 68	210	510	144
2022-10	354 ± 73	200	530	101
2023	370 ± 66			304
2023-06	349 ± 66	220	500	64
2023-09	370 ± 69	240	540	95
2023-12	392 ± 62	270	530	145

La taille moyenne des Vieilles mesurées au cours des 10 missions est de 368,14 mm. La plus petite taille (180 mm) et la plus grande taille (540 mm) sont toutes deux mesurées en juin 2021 (suivi en construction).

180 mm est considéré comme la taille de première maturité. Basé sur cette hypothèse, aucun individu juvénile n'a été prélevé au cours des campagnes ; cependant, l'étude de (Villegas-Ríos, 2013) tend à montrer une maturité de 50 % des individus entre 230 et 241 mm, et une maturité de la totalité des individus à 290 mm.

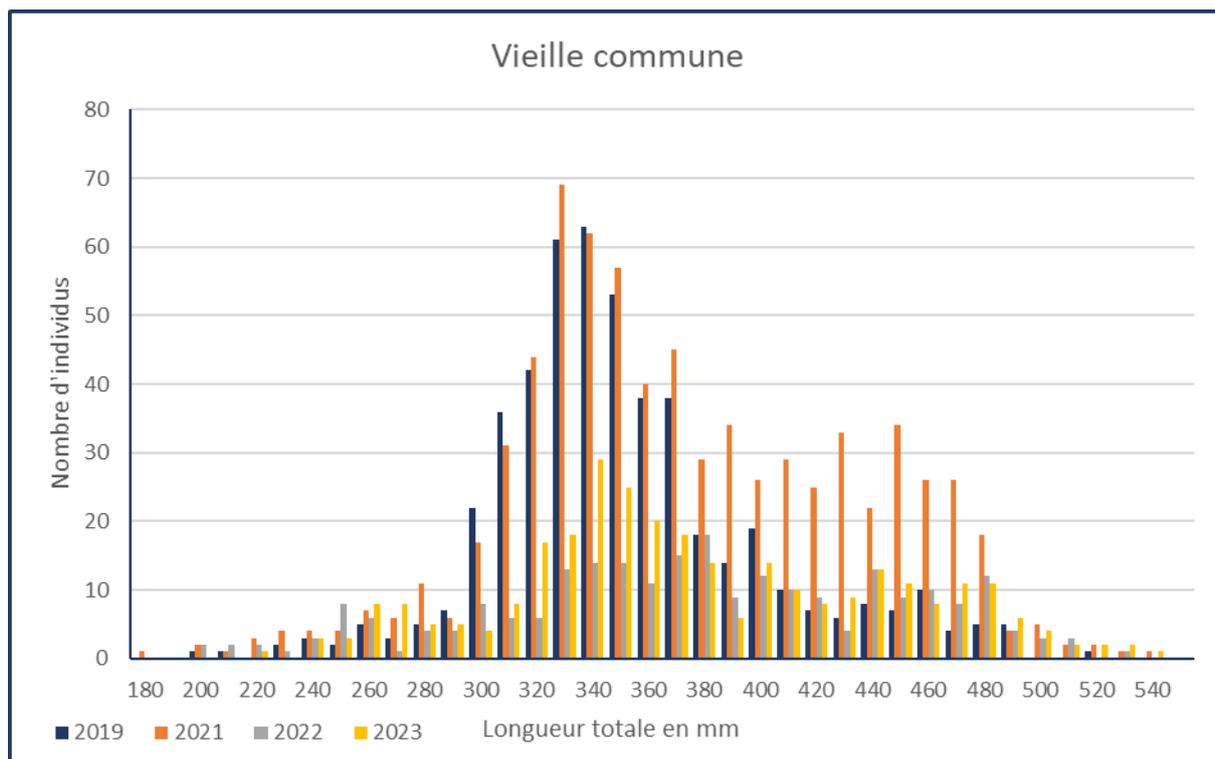


Figure 63: Distribution en taille de la Vieille commune lors de l'étude de l'état de référence (2019) et du suivi en phase d'exploitation (2023).

La structure de population présentée en Figure 63 indique que la répartition en taille est la même entre l'état de référence (2019) et le suivi en phase d'exploitation (2023). Néanmoins, la cohorte majoritaire (300-380 mm) est moins représentée dans les effectifs en phase d'exploitation que dans ceux de l'état de référence. Les faibles CPUE constatées sont liées à une présence réduite des individus de cette cohorte dans les prélèvements du suivi en phase d'exploitation.

● Le Tacaud commun

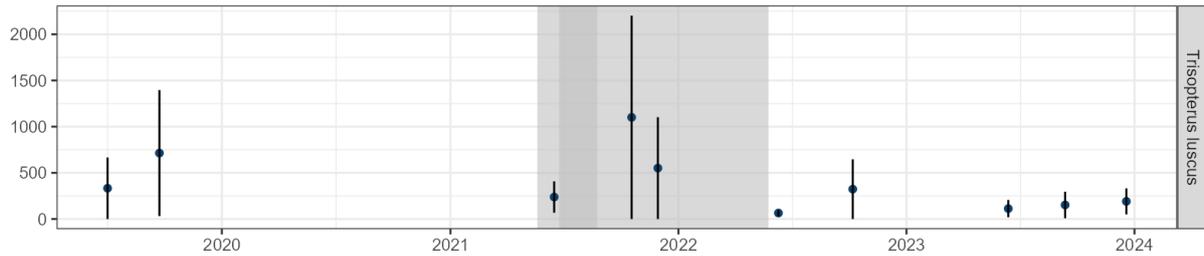


Figure 64 : Évolution des CPUE (n/1000m \* 24h) du Tacaud commun au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

Aucune différence significative n'est démontrée entre les CPUE moyennes de tacaud entre l'état de référence et le suivi en exploitation (two-way ANOVA,  $p = 0,338$ ). De même, aucune différence significative par zone entre les deux études n'est démontrée (two-way ANOVA,  $p = 0,294$ ).

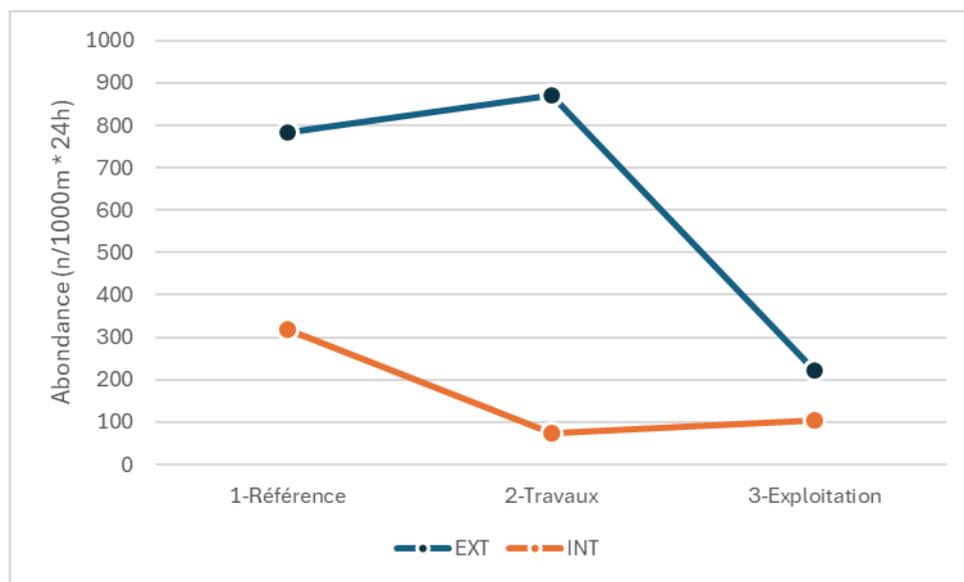


Figure 65 : Abondance moyenne par zone et par phase d'étude du Tacaud commun.

Au cours de l'état de référence, l'abondance du Tacaud commun est supérieure et inférieure en phase d'exploitation à l'intérieur et à l'extérieur du parc (Figure 65). Néanmoins la perte d'abondance est plus forte à l'extérieur du parc (valeur divisée par 4).

Figure 66

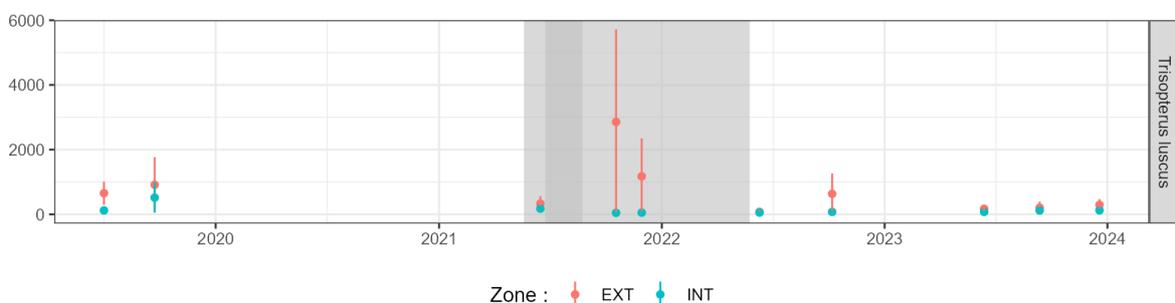


Figure 66 : Évolution des CPUE (n/1000m\*24h) du Tacaud commun au fil des missions.

La Figure 66 montre que les valeurs de CPUE sont comparables pendant l'état de référence et pendant la phase d'exploitation à l'extérieur et à l'intérieur du parc. Ces valeurs semblent supérieures à l'extérieur. Néanmoins, leur supériorité est plus évidente pendant la phase de travaux.

Comme indiqué précédemment, il semble que les Tacauds sont plus présents dans les prélèvements en automne. Les plus fortes CPUE sont celles du mois d'octobre 2021, pendant la phase de travaux. C'est après la période de travaux (début du suivi en exploitation) que la plus faible abondance (presque nulle) est observée pour cette espèce. Toutes les valeurs de 2023 sont parmi les plus faibles.

Tableau 20 : Synthèse des tailles (mm) relevées du Tacaud Commun au cours des missions.

<i>Trisopterus luscus</i>	Taille moy. (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Effectif
2019	225 ± 47			646
2019-07	227 ± 49	150	370	262
2019-09	222 ± 45	130	390	384
2021	211 ± 36			320
2021-06	212 ± 44	150	340	104
2021-10	210 ± 35	110	340	101
2021-11	211 ± 28	130	320	115
2022	221 ± 36			89
2022-06	229 ± 47	150	370	29
2022-10	213 ± 25	160	290	60
2023	216 ± 32			244
2023-06	209 ± 37	160	310	59
2023-09	213 ± 30	170	380	79
2023-12	225 ± 29	170	330	106

La taille moyenne des Tacauds mesurés est de 217,71 mm. La plus petite taille de 110 mm de Tacaud est mesurée au cours de la mission d'octobre 2021.

La taille de première maturité est de 215 mm ; la taille à maturité est comprise entre 210 et 250 mm (<https://www.fishbase.de/summary/Trisopterus-luscus.html>).

L'état de référence avait conclu que la plupart des individus prélevés de cette espèce étaient des juvéniles. Il en est de même pour le suivi en phase construction et en exploitation.

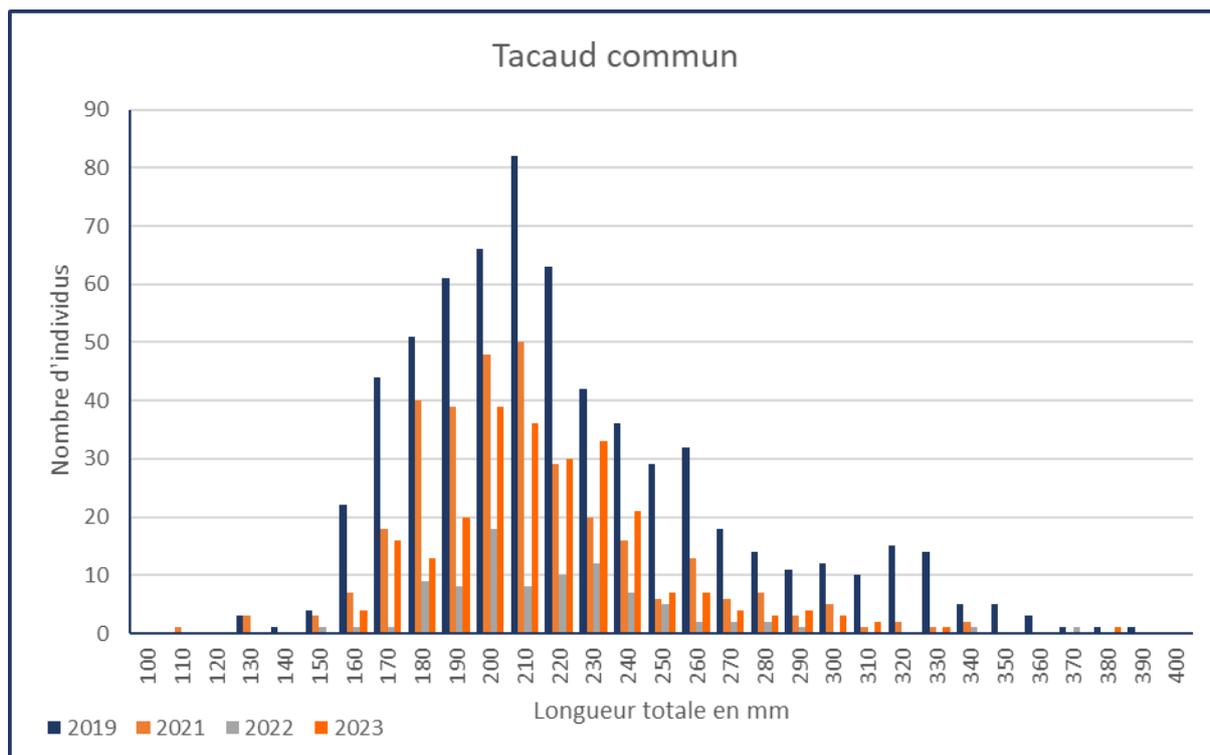


Figure 67: Distribution en taille des individus de Tacaud commun prélevés au filet depuis l'état de référence.

La structure de population présentée en Figure 67 indique que la répartition en taille est la même entre l'état de référence (2019) et le suivi en phase d'exploitation (2023). Néanmoins, les cohortes majoritaires sont moins représentées dans les effectifs en phase d'exploitation que dans ceux de l'état de référence. Les faibles CPUE constatées sont liées à une présence réduite des individus de cette cohorte dans les prélèvements du suivi en phase d'exploitation.

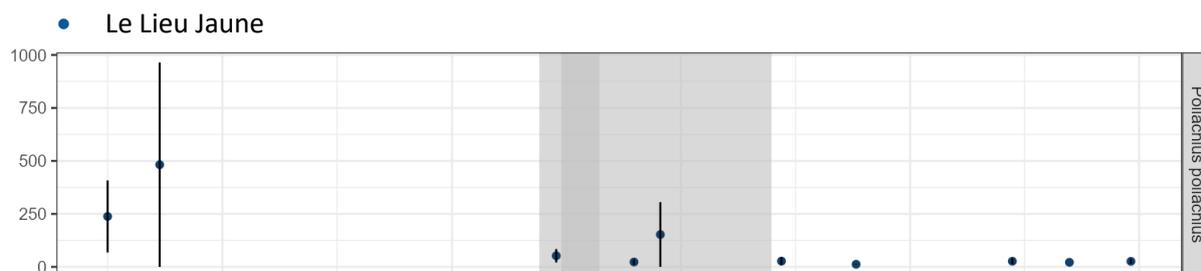


Figure 68 : Évolution des CPUE (n/1 000m \* 24h) des lieux jaunes au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

Les valeurs de CPUE (abondance) de Lieu jaune lors des missions de l'état de référence sont supérieures à celles de la phase d'exploitation ; en effet l'espèce semble presque absente des prélèvements en phase d'exploitation alors qu'elle était plutôt bien présente lors de l'état de référence, notamment au mois de septembre 2019 (Figure 68).

Malgré ces observations, aucune différence significative n'est observée entre les CPUE moyennes par mission de Lieu jaune, que ce soit en état de référence ou lors des suivis ( $p = 0,23$ ).

L'analyse de variance (two-way ANOVA) des CPUE de Lieu jaune indique que les facteurs « phase d'étude » ( $p = 5,1 \cdot 10^{-4}$ ) et « zone » ( $p = 0,013$ ), ainsi que leur effet conjoint ( $p = 8,6 \cdot 10^{-3}$ ) présentent une différence significative ; ce qui signifie que l'abondance du Lieu jaune est significativement différente entre :

- L'état de référence et le suivi en exploitation (Tukey HSD -  $p = 5,7 \cdot 10^{-4}$ ),
- L'intérieur et l'extérieur du parc éolien en mer (Tukey HSD -  $p = 0,013$ ) et
- Les couples « Extérieur-Référence » et « Extérieur-Exploitation » (Tukey HSD -  $p = 1,3 \cdot 10^{-4}$ ).

Aucune différence entre les CPUE de l'état de référence et du suivi en exploitation à l'intérieur du parc éolien (Tukey HSD -  $p = 1$ ).

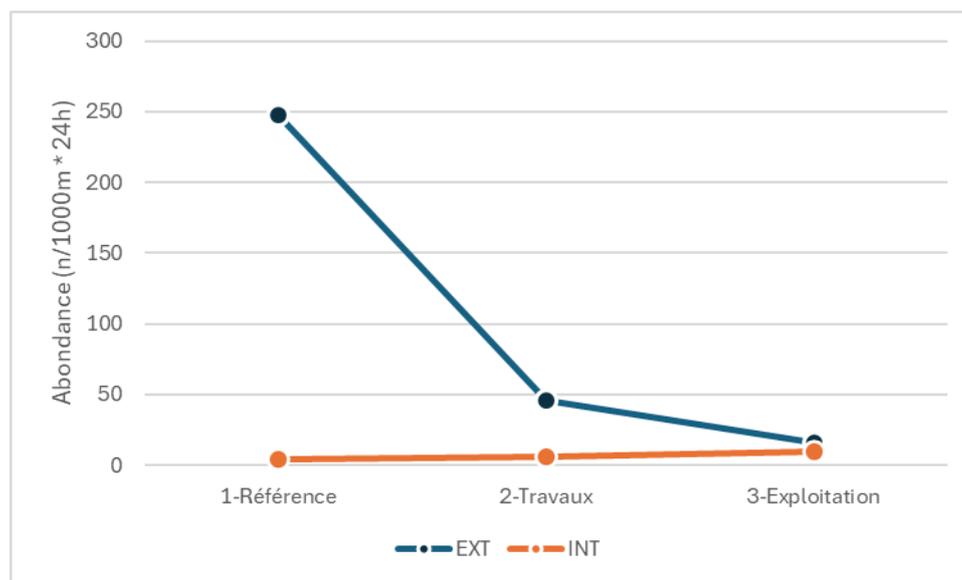


Figure 69 : Abondance moyenne par zone et par phase d'étude du Lieu jaune.

Au cours de l'état de référence, la valeur de l'abondance du Lieu jaune est supérieure à l'extérieur du parc (Figure 65). La perte d'abondance est forte à l'extérieur du parc (valeur divisée par 15), alors qu'elle est multipliée par 2 à l'intérieur du parc entre l'état de référence et le suivi en phase

d'exploitation (mais les valeurs restent très faibles). Au cours du suivi en phase d'exploitation, les abondances sont similaires dans les deux zones.

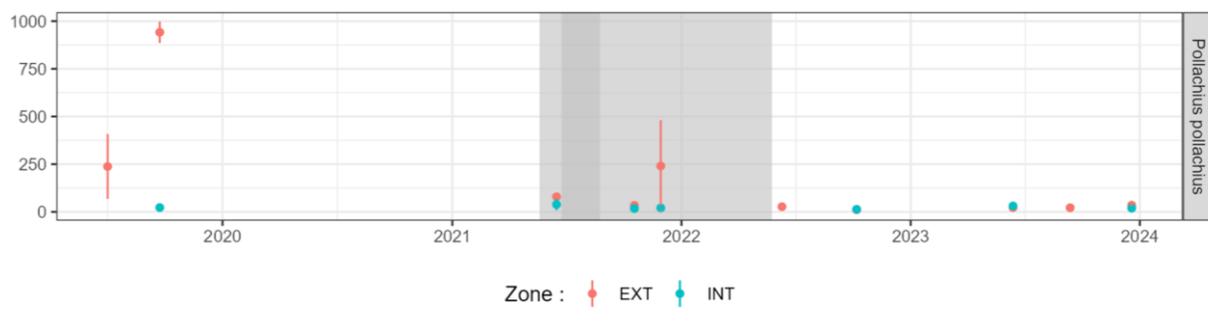


Figure 70 : Évolution des CPUE (n/1000m\*24h) du Lieu jaune au fil des missions.

La Figure 70 montre que les valeurs de CPUE sont comparables pendant l'état de référence et pendant la phase d'exploitation à l'intérieur du parc. Ces valeurs semblent supérieures à l'extérieur pendant de l'état de référence et en phase de travaux.

Les valeurs de CPUE de cette espèce sont généralement faibles, sauf lors de la mission d'automne de l'état de référence (2019-09). Très peu de captures de Lieu Jaune sont effectuées lors du suivi en phase de construction. Les prélèvements de juin et octobre 2021 ont eu lieu en simultanément avec des travaux de forage et de battage ; en novembre 2021, des travaux ont eu lieu la veille de la mission. Cependant, l'effet d'effarouchement, à lui seul, ne peut pas expliquer totalement les observations, car les plus faibles captures sont observées après la fin des travaux.

L'espèce, dont la ressource diminue au moins localement (Figure 71), est sensible à l'exploitation par pêche et aux atteintes du milieu naturel. La ressource disponible et vendue en criée du Croisic est en forte diminution depuis 1994. Bien que les ventes en criée soient affectées par de nombreux facteurs et ne reflètent pas directement l'état d'une population, les faibles prélèvements dans le cadre de ces suivis peuvent être partiellement corrélés à cette faible disponibilité. Entre 1994 et 2023, le poids de Lieu jaune vendu en criée est divisé par 4 en passant de 100 000 kg à 25 000 kg.

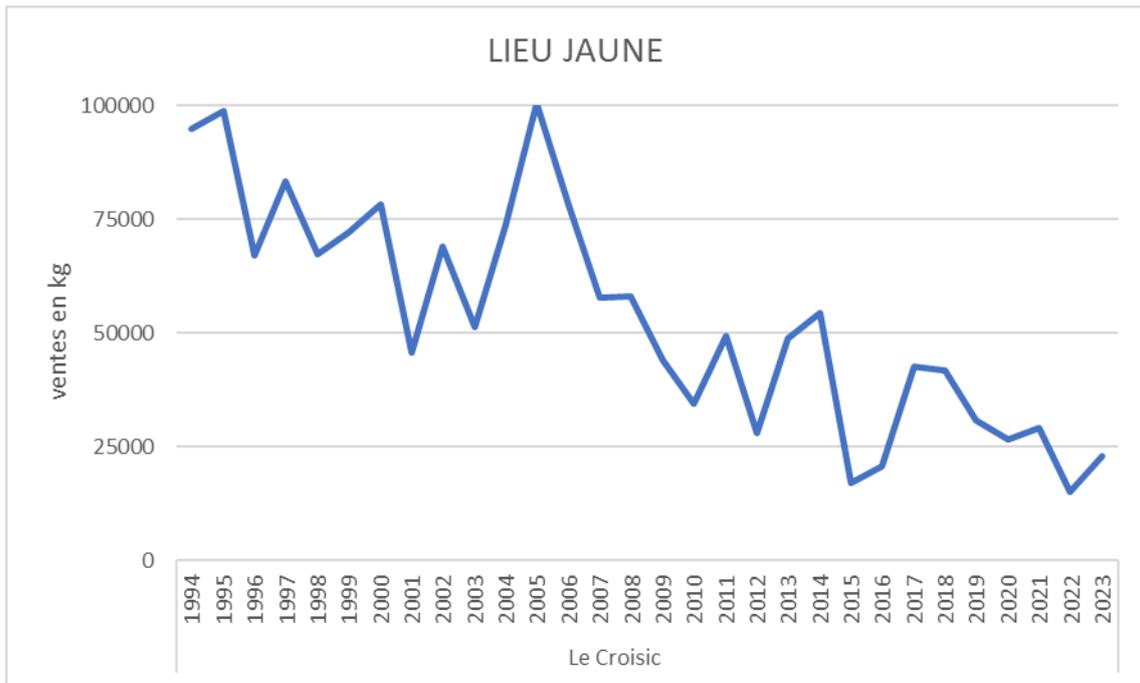


Figure 71: Ventes annuelles de Lieu Jaune à la criée du Croisic pendant la période 1994-2023. Source : FranceAgriMer.

Tableau 21 : Synthèse des tailles (mm) relevées du Lieu Jaune au cours des missions.

<i>Pollachius pollachius</i>	Taille moy. (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Effectif
2019	474 ± 59			94
2019-07	455 ± 52	320	580	29
2019-09	493 ± 66	280	710	65
2021	489 ± 68			46
2021-06	478 ± 37	420	540	14
2021-10	440 ± 92	340	580	6
2021-11	550 ± 74	390	690	26
2022	500 ± 176			6
2022-06	510 ± 154	320	640	4
2022-10	490 ± 198	350	630	2
2023	494 ± 112			21
2023-06	430 ± 132	290	670	9
2023-09	510	510	510	1
2023-12	542 ± 91	390	690	11

Une faible augmentation de la taille moyenne des individus mesurés est observée chaque année. La taille limite de capture est de 300 mm pour la pêche professionnelle et la taille à maturité de l'espèce est estimée proche de 400 mm. La plupart des individus capturés au filet sont des adultes arrivés à maturité sexuelle. Considérant la taille minimum, une faible partie des individus sont des juvéniles.

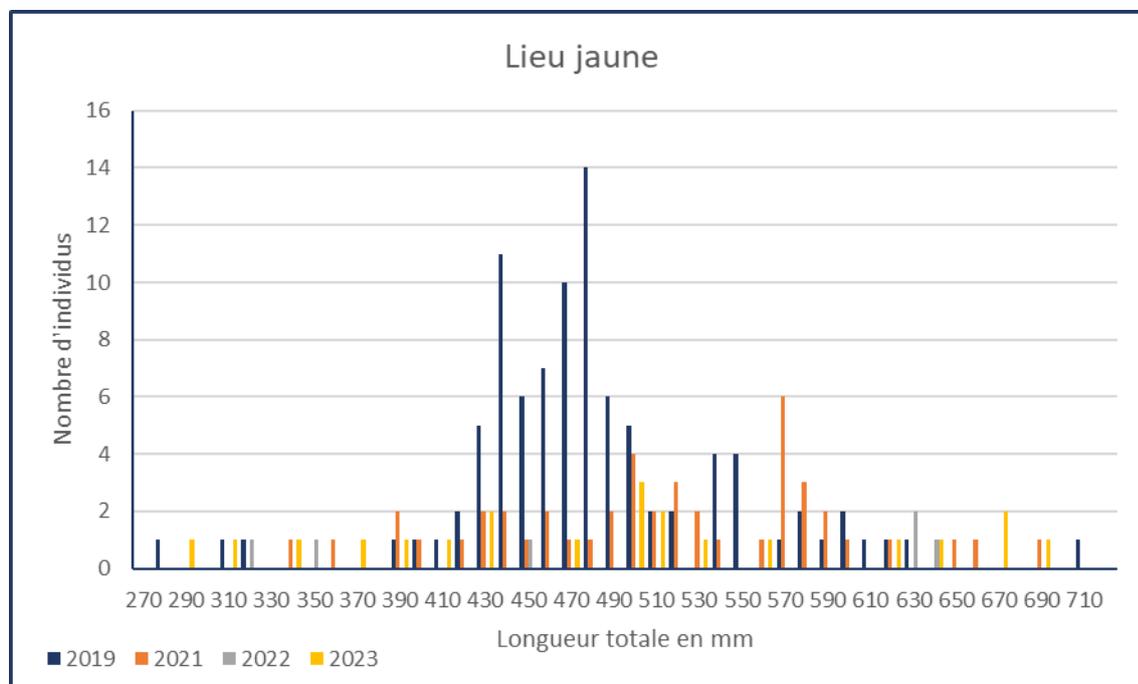


Figure 72 : Distribution en taille des individus de Tcaud commun prélevés au filet depuis l'état de référence.

La structure de population présentée en Figure 72 indique que les effectifs sont généralement faibles avec un pic à 14 individus (470-490 mm) en 2019. Les faibles effectifs de 2022 et 2023 rendent toute comparaison impossible quant à la structure de population.

• La Petite Roussette

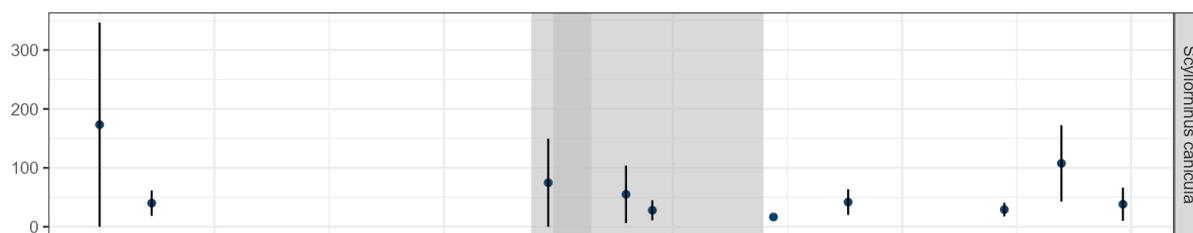


Figure 73 : Évolution des CPUE (n/1 000m \* 24h) de la Petite Roussette au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

Les valeurs de CPUE de cette espèce sont supérieures lors de la première mission de l'état de référence (2019-06), puis deviennent basses à très basses en automne 2019 et durant tout le suivi en phase de construction et après la fin des travaux même si un second pic est observé en 2023.

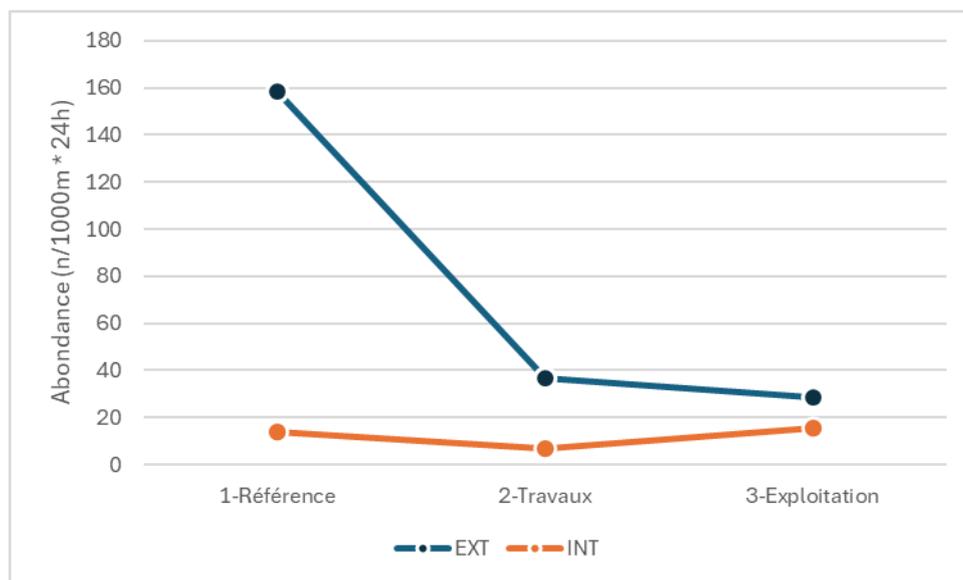


Figure 74 : Abondance moyenne par zone et par phase d'étude de la Petite Roussette.

Au cours de l'état de référence, la valeur de l'abondance de la Petite Roussette est supérieure à l'extérieur du parc (Figure 74). La perte d'abondance est forte à l'extérieur du parc (valeur divisée par 6). L'abondance de l'espèce à l'intérieur de la zone de parc éolien ne semble pas avoir changé entre l'état de référence et le suivi en exploitation.

Malgré ces observations, les tests réalisés ne permettent pas de conclure quant à une différence significative des CPUE entre l'état de référence et le suivi en exploitation (two-way ANOVA – p = 0,517) ni pour une même zone au cours des deux études (two-way ANOVA – p = 0,629).

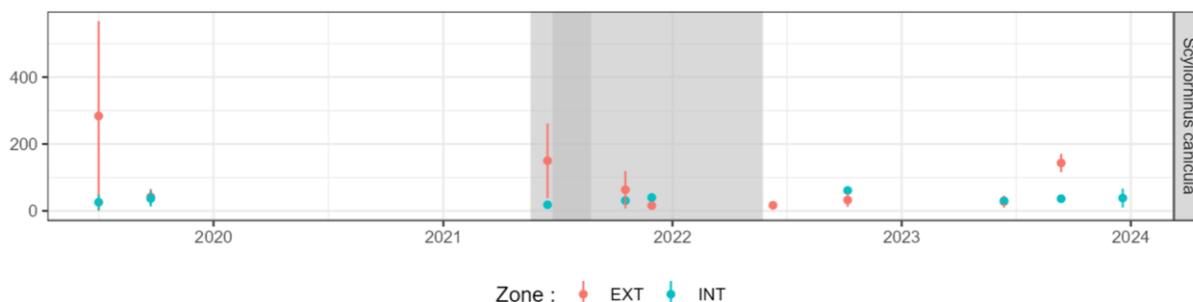


Figure 75 : Évolution des CPUE (n/1000m\*24h) de la Petite Roussette au fil des missions.

La Figure 75 montre que les valeurs de CPUE sont comparables pendant l'état de référence et pendant la phase d'exploitation à l'intérieur du parc. Ces valeurs semblent supérieures à l'extérieur pendant l'état de référence (uniquement en juillet), en phase de travaux ainsi qu'à certains moments de la phase d'exploitation.

Tableau 22 : Synthèse des tailles (mm) relevées et effectifs de la Petite Roussette au cours des missions.

<i>Scyliorhinus canicula</i>	Taille moy. (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Effectif	Mâles	Femelles	Sexe ratio
2019	607 ± 28			69	32	37	0,86
2019-07	610 ± 29	530	670	52	31	21	1,48
2019-09	604 ± 26	550	650	17	1	16	0,06
2021	603 ± 22			30	13	17	0,76
2021-06	613 ± 28	580	660	20	12	8	1,5
2021-10	610 ± 23	580	640	7	0	7	0
2021-11	587 ± 15	570	600	3	1	2	0,5
2022	627 ± 31			6	0	6	0
2022-06	640	640	640	1	0	1	0
2022-10	614 ± 31	560	640	5	0	5	0
2023	589 ± 35			37	15	22	0,68
2023-06	601 ± 32	550	650	8	3	5	0,6
2023-09	608 ± 39	530	670	20	9	11	0,82
2023-12	557 ± 35	500	600	9	3	6	0,5

La taille moyenne des individus de Petite Roussette mesurés au cours des 7 missions est de 611,14 mm (Tableau 22). On n'observe pas de variation majeure des tailles mesurées des individus de Petite Roussette.

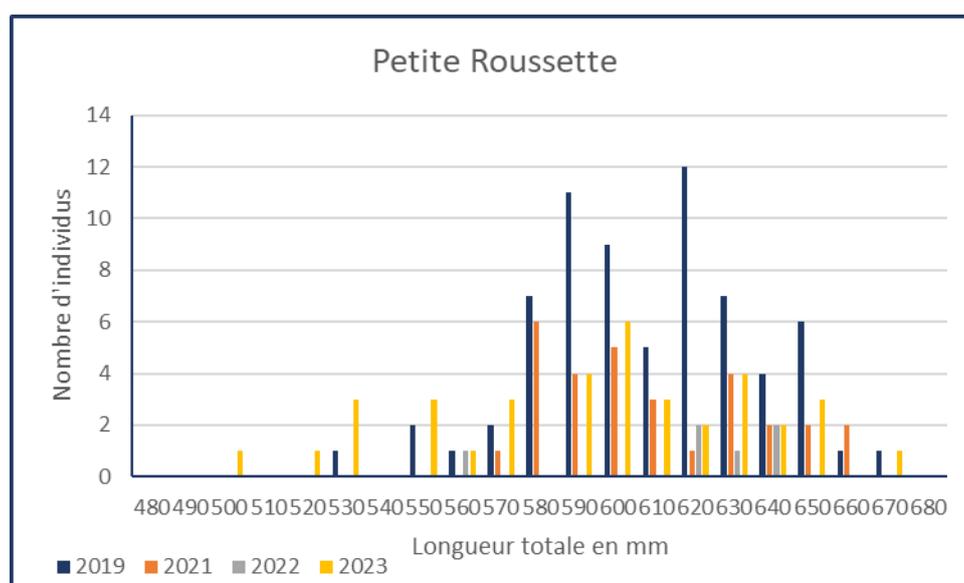


Figure 76: Structure de population de la Petite Roussette dans les prélèvements.

La structure de population présentée en Figure 76 indique que la répartition en taille est la même entre l'état de référence (2019) et le suivi en phase d'exploitation (2023). Néanmoins, les cohortes

majoritaires sont moins représentées dans les effectifs en phase d'exploitation que dans ceux de l'état de référence. Les faibles CPUE constatées sont liées à une présence réduite des individus de cette cohorte dans les prélèvements du suivi en phase d'exploitation. Les effectifs sont généralement faibles avec un pic à 12 individus (620-630 mm) en 2019. Les faibles effectifs rendent toute comparaison impossible quant à la structure de population.

- L'Araignée de mer

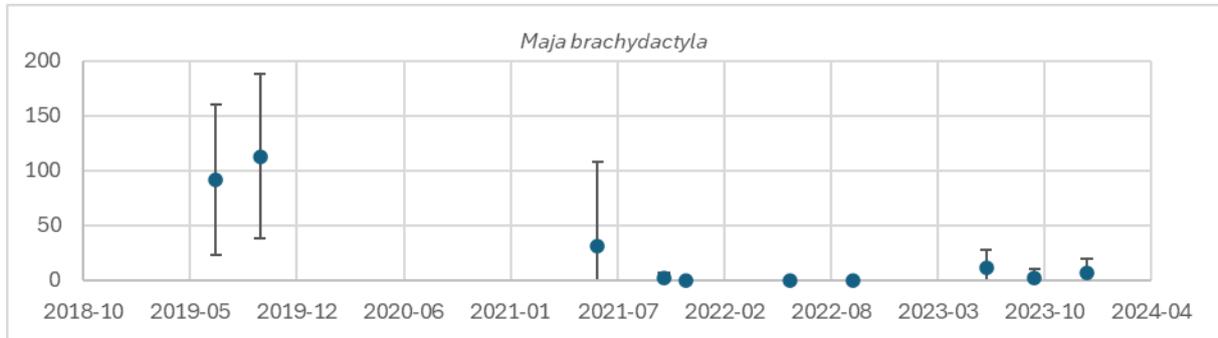


Figure 77 : Évolution des CPUE (n/1 000m \* 24h) d'Araignée de mer au fil des missions.

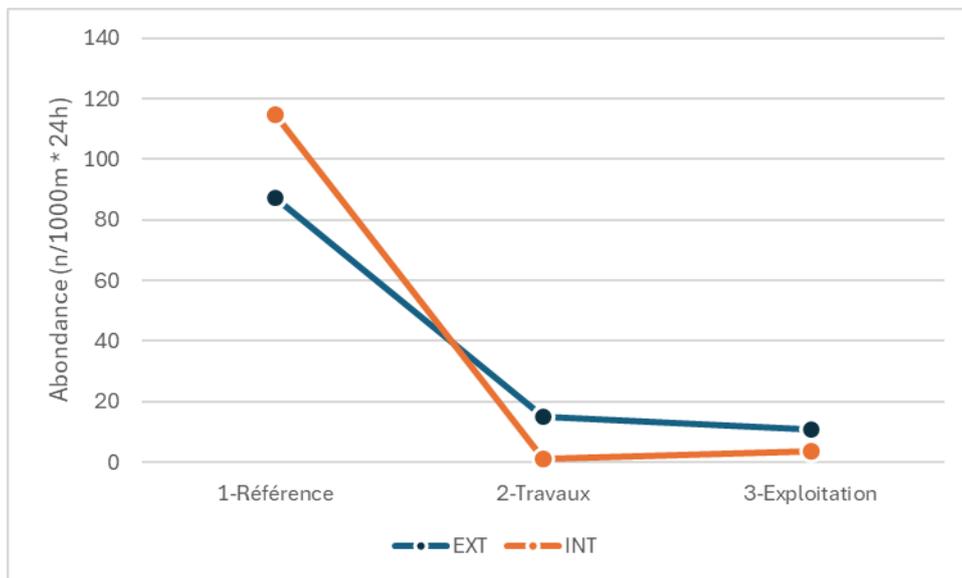


Figure 78 : Abondance moyenne par zone et par phase d'étude de l'Araignée de mer.

Au cours de l'état de référence, la valeur de l'abondance de l'Araignée de mer est supérieure à l'extérieur et à l'intérieur du parc par rapport au suivi en exploitation (Figure 78).

Les CPUE reflètent les effectifs capturés, elles sont nettement supérieures lors de l'état de référence (de l'ordre de 100 individus/1000m\*24h) et faibles (de l'ordre de 30 individus/1000m\*24h) à nulles lors du suivi en phase de construction et après, pendant l'exploitation.

La Figure 79 montre une diminution des apports en criée pour cette espèce entre 2019 (maximum de la série 2010-2022) et 2021, puis une légère augmentation en 2022. Néanmoins, si la quantité d'Araignée de mer vendue augmente en 2023, les effectifs recensés à l'échelle des prélèvements réalisés au même moment restent très faibles par rapport à 2019.

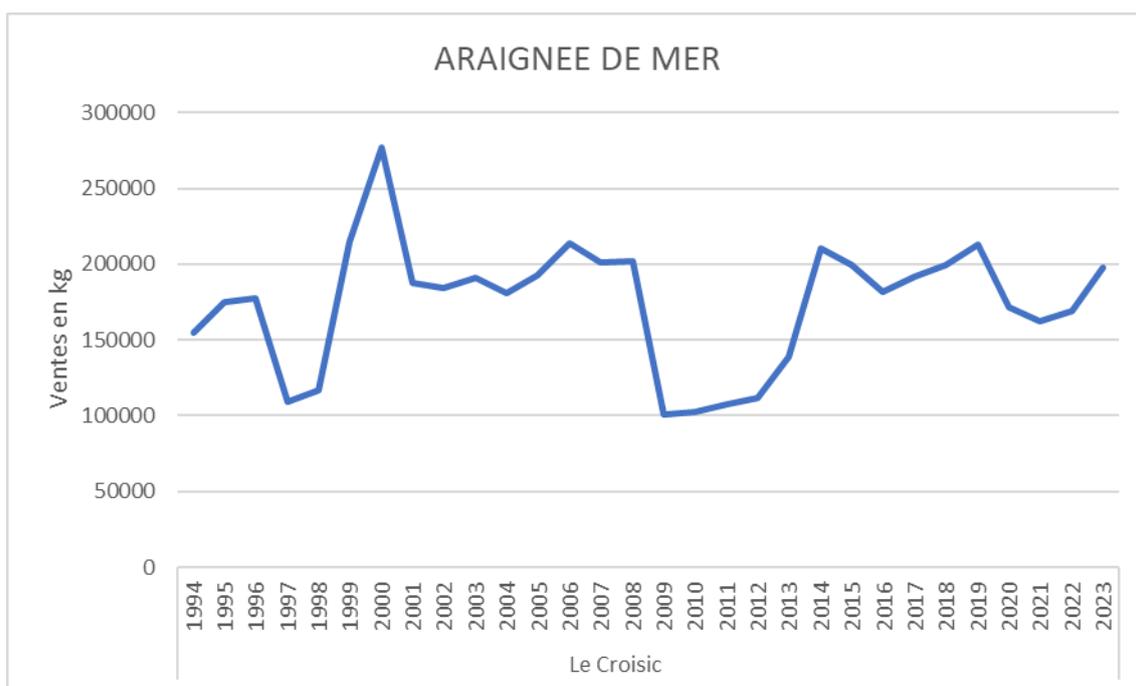


Figure 79 : Ventes annuelles d'Araignée de Mer à la criée du Croisic sur la période 1994-2023. Source : FranceAgriMer.

La différence entre 2019 (état de référence) et 2021-2022 (suivi des travaux) pourrait être expliquée par une baisse importante des apports aux trimestres 2 et 3 (Figure 80) au cours de cette période ; cette observation est très nette pour le troisième trimestre 2022, au cours duquel une diminution d'apport d'environ 50 % par rapport à 2019 est constatée.

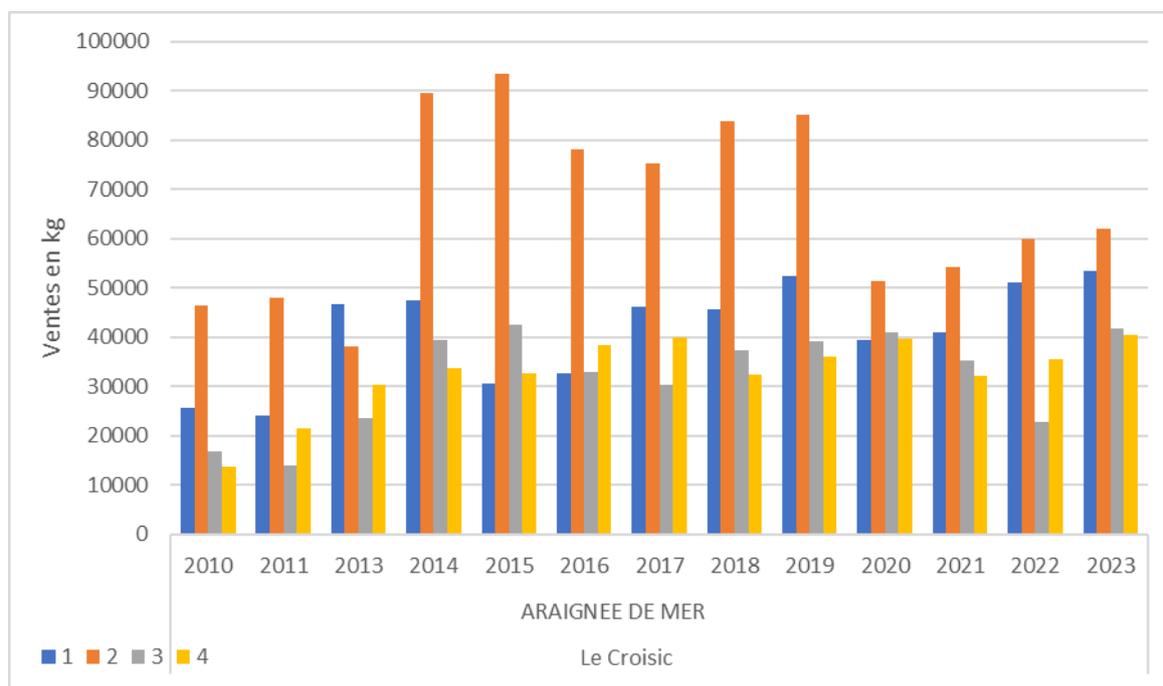


Figure 80 : Ventes d'araignée de Mer à la criée du Croisic par trimestre sur la période 2010-2023. Source : FranceAgriMer.

La taille moyenne des Araignées de mer prélevées au cours des missions est de 127 mm pour les femelles et 132 mm pour les mâles (Tableau 23). La majeure partie des effectifs a été capturée lors de l'étude de l'état de référence, très peu au cours des suivis (aucun individu prélevé entre 2021-11 et 2022-10).

Tableau 23 : Synthèse des tailles (mm) relevées de l'Araignée de mer au cours des missions.

<i>Maja brachydactyla</i>	Taille moy. (mm)		Taille min. (mm)		Taille max. (mm)		Effectif	
	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle
<b>2019</b>	<b>128 ± 12</b>	<b>135 ± 18</b>					<b>81</b>	<b>79</b>
2019-07	137 ± 6	138 ± 16	123	107	147	175	17	55
2019-09	126 ± 12	128 ± 20	84	101	148	167	64	24
<b>2021</b>	<b>121 ± 10</b>	<b>119 ± 11</b>					<b>14</b>	<b>16</b>
2021-06	120 ± 10	119 ± 11	106	98	138	147	12	16
2021-10	125 ± 13	-	112	-	138	-	2	0
2021-11	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>2022</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
2022-06	-	-	-	-	-	-	0	0
2022-10	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>2023</b>	<b>135 ± 6</b>	<b>135 ± 20</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
2023-06	140	143 ± 19	140	123	140	166	1	4
2023-09		129	-	129	-	129	0	1
2023-12	134 ± 6	109	125	109	141	109	4	1
<b>Total</b>	<b>127 ± 12</b>	<b>132 ± 18</b>					<b>100</b>	<b>101</b>

La structure en taille de la population de cette espèce n'est pas présentée en raison de la faiblesse des effectifs recensés après l'établissement de l'état de référence.

### 7.2.7 ANALYSE MULTIVARIÉE

Les analyses multivariées permettent d'identifier objectivement les ressemblances et les différences de peuplements des stations suivies au cours du temps, tout en tenant compte des conditions environnementales. Leur interprétation est rendue possible par la description des indicateurs présentés dans les parties précédentes (qualité de l'eau, richesse, abondance et diversité spécifiques des peuplements). La Figure 81 montre les résultats obtenus dans le cadre de l'analyse des résultats des prélèvements au filet.

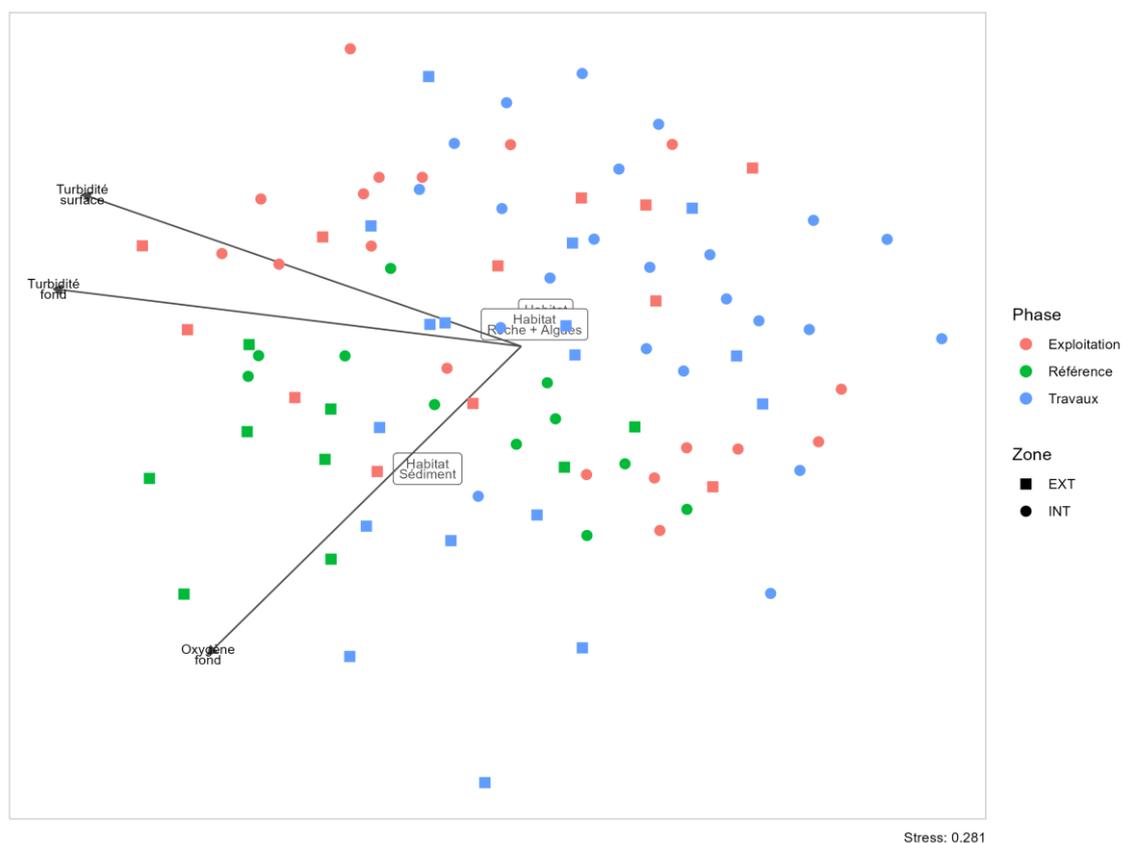


Figure 81 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au filet entre 2019 et 2023. Toutes les stations sont représentées par des points (à l'intérieur du parc) et des carrés (à l'extérieur du parc). Seuls les paramètres dont l'influence est caractérisée sont présentés par des vecteurs ou des étiquettes. La valeur de stress de l'analyse est 0,281.

Aucune séparation ni aucun phénomène de regroupement des échantillons par phase d'étude (couleur) ne peut être observé dans cette représentation de l'analyse multivariée.

Le paramètre « Habitat » joue un rôle dans la dispersion des échantillons représentés, puisque le barycentre de ceux caractérisés par l'habitat « Sédiment » se détache des habitats rocheux. Cette information indique une différence de peuplements entre les habitats rocheux et sédimentaires et confirme des faits avérés.

Les points correspondent à toutes les stations échantillonnées (de A à J) pendant 10 campagnes à l'intérieur et à l'extérieur du parc entre juillet 2019 et octobre 2023 (Figure 81). Ils sont répartis de façon homogène dans l'ensemble du plan en fonction des valeurs de température, salinité, turbidité, oxygène, fluorescence en surface et au fond de la colonne d'eau, du type d'habitat (« Roches + Algues », « Roche », « Sédiment »).

Les points des stations à l'intérieur et à l'extérieur du parc ne sont pas séparés, ce qui signifie qu'aucune différence de peuplement n'est clairement identifiable en fonction de ce paramètre. De gauche à droite, se succèdent les stations regroupées entre elles en fonction de leur mois d'échantillonnage, indépendamment de l'année. L'influence de la saison sur la structuration des peuplements semble ainsi être forte.

La partie gauche du graphique est donc occupée par les stations échantillonnées en été et en début d'automne. Les paramètres associés à ces peuplements sont la teneur en oxygène de surface et de fond ainsi que la turbidité du fond. Leurs valeurs correspondantes sont supérieures à celles des autres stations.

Les différences de peuplement observées sont donc principalement associées à une évolution saisonnière. Selon l'axe vertical, quelques stations, majoritairement extérieures au parc sont isolées. De plus, les types d'habitat « Roches + Algues », « Roche » et « Sédiment » apparaissent au centre du graphique, comme ayant une influence caractérisée sur les peuplements.

**En phase d'exploitation, malgré l'observation d'une diminution générale des CPUE, aucun des paramètres étudiés au moyen de l'analyse multivariée ne se distingue comme contributeur à ce phénomène.**

#### **7.2.8 SYNTHÈSE DE LA COMPARAISON DES RESULTATS DE SUIVI EN PHASE D'EXPLOITATION AVEC CEUX DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE DES CAMPAGNES « FILETS À POISSONS ET CRUSTACÉS »**

L'analyse des résultats des prélèvements effectués au filet montre :

**Deux des trois missions du suivi en exploitation diffèrent significativement des missions de l'état de référence en termes d'abondance totale (diminution des abondances en 2023).**

**Les captures toutes espèces confondues sont significativement différentes pendant l'état de référence par rapport à la période d'exploitation du parc (diminution des captures en 2023).**

**Les indices de diversité calculés ne montrent pas de différence entre le suivi en phase d'exploitation et l'état de référence.**

**Les espèces caractéristiques des captures au filet sont la Vieille commune et le Tcaud commun constants dans les prélèvements. Des différences significatives apparaissent pour ces espèces entre missions, sans que cela soit systématique entre phase d'exploitation et d'état de référence.**

**Pour le Lieu jaune, des différences significatives sont détectées entre l'état de référence et la phase d'exploitation au niveau de l'abondance ; il y a notamment une différence significative entre l'abondance de l'espèce à l'extérieur du parc entre ces deux phases.**

**En phase d'exploitation, malgré l'observation d'une diminution générale des abondances et des captures, aucun effet de la présence du parc sur les ressources halieutiques capturées au filet n'est clairement détecté au moyen de l'analyse multivariée.**

**Il est à noter que l'étude des ventes sous criée du Croisic montre une diminution des captures côtières des principales espèces observées dans le cadre de cette étude, et ce à une échelle bien plus large que celle des effets potentiels liés à la présence du parc éolien.**

### 7.3 CAMPAGNES MÉTIER « CASIER À CRUSTACÉS » (MSU5)

#### 7.3.1 INDICES DE DIVERSITÉ BIOLOGIQUE

Tableau 24: Indice de diversité biologique des espèces prélevées par mission 2013-2022.  
Les couleurs foncées correspondent aux valeurs les plus élevées

Année / Mission	S	H	J
<b>2019</b>	2,92 ± 0,73	0,87 ± 0,26	0,83 ± 0,16
2019-05	2,77 ± 0,7	0,81 ± 0,27	0,82 ± 0,19
2019-07	3,08 ± 0,73	0,92 ± 0,23	0,85 ± 0,13
<b>2021</b>	2 ± 0,78	0,43 ± 0,33	0,51 ± 0,36
2021-06	1,69 ± 0,72	0,26 ± 0,24	0,33 ± 0,32
2021-07A	2,38 ± 0,74	0,61 ± 0,25	0,69 ± 0,25
2021-07B	1,92 ± 0,73	0,43 ± 0,37	0,51 ± 0,39
<b>2022</b>	1,71 ± 0,7	0,35 ± 0,36	0,43 ± 0,41
2022-05	1,9 ± 0,83	0,49 ± 0,42	0,55 ± 0,45
2022-07	1,55 ± 0,5	0,23 ± 0,24	0,33 ± 0,34
<b>2023</b>	3,27 ± 1,42	0,91 ± 0,41	0,77 ± 0,26
2023-05	3 ± 1,13	0,88 ± 0,29	0,86 ± 0,1
2023-07	3,55 ± 1,62	0,93 ± 0,5	0,69 ± 0,33

Les indices de diversité calculés par mission sont présentés dans le Tableau 24 et commentés ci-dessous.

- Indice de richesse spécifique (S)

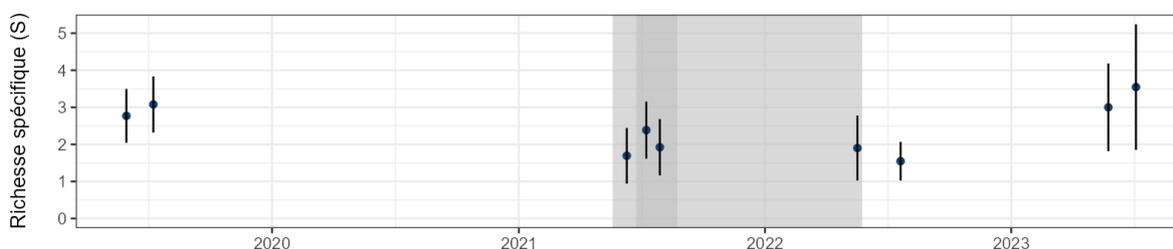


Figure 82 : Indice S de richesse spécifique au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé).

On observe que la richesse spécifique est plus importante pendant l'étude de l'état de référence avec 2,92 espèces et le suivi en phase d'exploitation (3,27 espèces en moyenne). **Le niveau de cet indice semble identique avant et après travaux (two-way ANOVA,  $p = 7,3 \cdot 10^{-9}$  mais Tukey HSD,  $p = 0,391$ ).**

- Indice de diversité biologique Shannon (H)

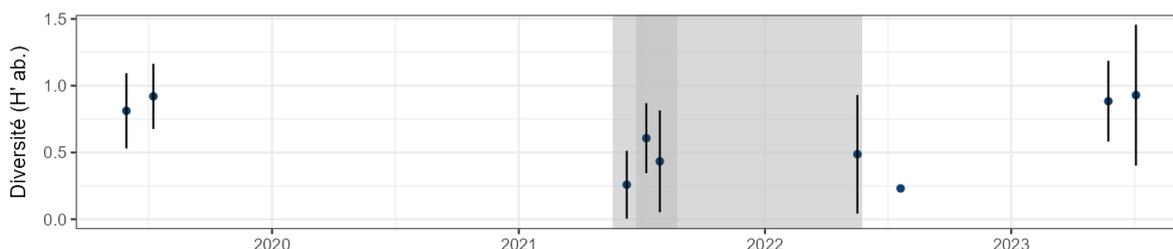


Figure 83 : Indice H de diversité spécifique au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé).

On observe (Figure 83) que la richesse spécifique est plus importante pendant l'étude de l'état de référence avec 2,92 espèces et le suivi en exploitation (3,27 espèces en moyenne). Le niveau de cet indice semble identique avant et après travaux (two-way ANOVA,  $p = 3,7 \cdot 10^{-10}$  mais Tukey HSD,  $p = 0,912$ ).

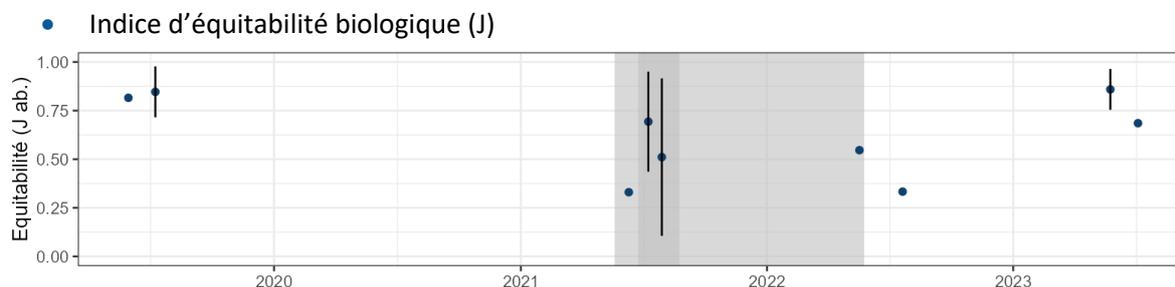


Figure 84 : Indice J d'équitabilité spécifique au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en grisé (préparation de sol en foncé).

On observe (Figure 84) que l'équitabilité est plus importante pendant l'étude de l'état de référence avec  $J = 0,83$  et le suivi en phase d'exploitation ( $J = 0,77$ ). **Le niveau de cet indice semble identique ou très proche avant et après travaux** (two-way ANOVA,  $p = 5 \cdot 10^{-6}$  mais Tukey HSD,  $p = 0,784$ ).

**Les différents indices de diversité calculés pour les prélèvements au casier ne diffèrent pas entre l'état de référence et la phase d'exploitation du parc éolien en mer.**

### 7.3.2 FRÉQUENCE D'OCCURRENCE

Tableau 25 : Fréquence d'occurrence de l'ensemble des espèces observées en pourcentage du nombre de prélèvements.

Espèce	Nom commun	2019	2021	2022	2023	2019-2023
<i>Homarus gammarus</i>	Homard européen	100	100	71	95	93
<i>Maja brachydactyla</i>	Araignée de mer	100	54	0	45	50
<i>Cancer pagurus</i>	Tourteau	42	33	33	41	37
<i>Octopus vulgaris</i>	Pieuvre commune	0	0	54	23	17
<i>Necora puber</i>	Etrille commune	50	13	0	0	15
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud commun	0	0	5	59	14
<i>Conger conger</i>	Congre d'Europe	0	0	0	36	8
<i>Symphodus melops</i>	Vractor croissant noir	0	0	0	14	3
<i>Scyliorhinus stellaris</i>	Grande Roussette	0	0	5	5	2
<i>Labrus bergylta</i>	Vieille commune	0	0	5	0	1
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar européen	0	0	0	5	1
<i>Symphodus bailloni</i>	Crénilabre de Baillon	0	0	0	5	1

Les résultats présentés sont à pondérer. En effet, pour plusieurs missions, certains prélèvements ont été réalisés sur un substrat sédimentaire, donc avec une communauté biologique différente de celle des fonds rocheux. La variabilité de l'échantillonnage affecte les résultats car en plaçant des casiers sur des fonds meubles, la probabilité de prélever des homards est fortement réduite, alors que si ce même matériel est déployé uniquement sur fonds rocheux, le Tourteau ne peut être prélevé.

Le Tableau 25 montre que parmi les espèces observées pendant l'ensemble des missions, le Homard et l'Araignées sont les deux espèces les plus fréquemment retrouvées.

En 2019, le Homard est observé dans 100 % des prélèvements réalisés. La fréquence d'occurrence du Homard est de 95% en 2023.

L'Araignée, présente dans 100% des prélèvements de l'état de référence, est moins présente dans ceux du suivi en exploitation (45%).

La fréquence d'occurrence du Tourteau est stable lors du suivi en phase d'exploitation par rapport à l'état de référence.

L'Étrille est absente des prélèvements depuis 2022, alors qu'elle apparaît dans la moitié des prélèvements de l'état de référence.

### 7.3.3 ABONDANCE

#### 7.3.3.1 Par mission

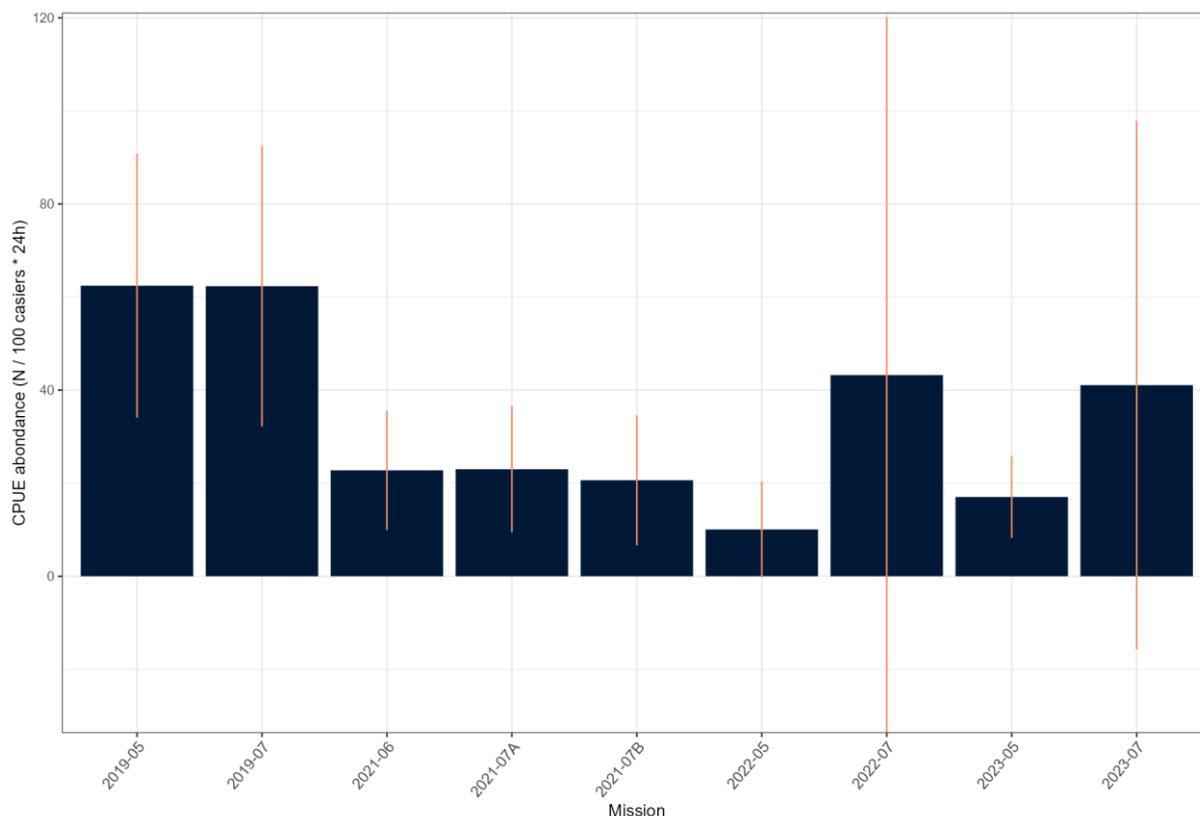


Figure 85: CPUE en nombre d'individus, toutes espèces confondues pour les missions aux casiers.

La Figure 85 montre que l'état de référence a les abondances les plus élevées, les deux missions réalisées en 2019 présentent des niveaux de captures très proches. Au cours du suivi en phase d'exploitation (2023), des captures plus faibles sont à noter au mois de mai alors que juillet présente une abondance comparable aux niveaux de référence. Il est toutefois important de noter que l'écart-type de 2023-07 est fort, ce qui indique une inégalité des captures aux différentes stations de la mission.

Les missions de l'état de référence présentent une différence statistiquement significative quant aux CPUE par mission avec l'ensemble des missions du suivi en phase de travaux (sauf 2022-07), ainsi qu'avec 2023-05 (suivi en phase d'exploitation).

L'analyse de variance sur l'abondance moyenne par phase d'étude indique une différence significative entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation ( $p = 0,004$ ).

Ces résultats sont à pondérer car les zones d'échantillonnage n'ont pas été les mêmes d'année en année du fait de plusieurs paramètres dont la météorologie et la sélection de l'espèce ciblée.

#### 7.3.3.2 Par zone

Au casier, l'abondance moyenne est globalement plus élevée à l'extérieur du parc éolien en mer qu'à l'intérieur de ses limites. Le test d'analyse de variance indique une valeur de  $p = 0,0018$ .

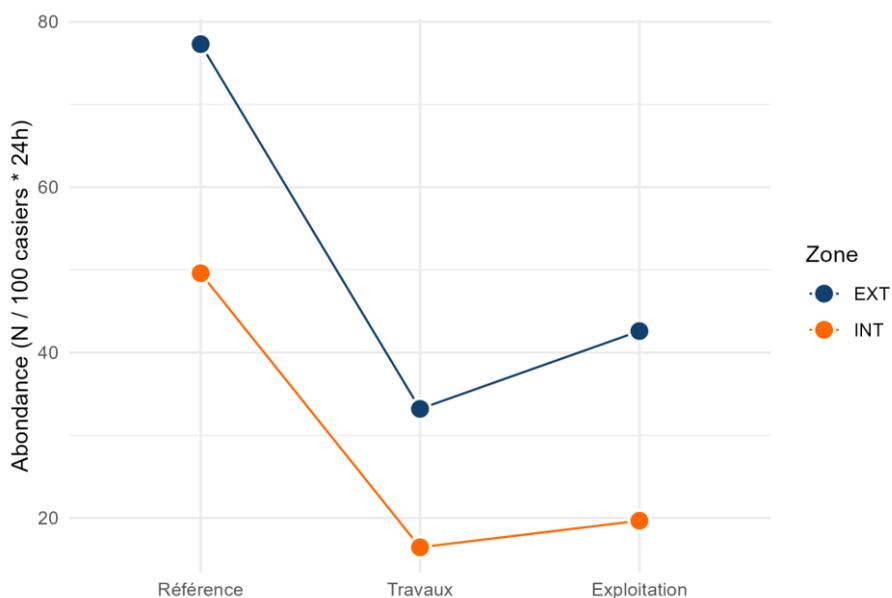


Figure 86: Abondance moyenne par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

L'abondance moyenne est toujours plus élevée à l'extérieur du parc éolien, quelle que soit la phase d'étude considérée. L'évolution de l'abondance moyenne est identique pour les deux zones, avec une diminution globale des abondances. La comparaison statistique des moyennes par zone et par phase d'étude ne donne pas de résultat significatif entre l'état de référence et le suivi en exploitation.

## 7.3.4 CPUE

Tableau 26: CPUE (n/100 casiers \* 24h) par espèce et par mission.

Année / Mission	<i>Cancer pagurus</i>	<i>Homarus gammarus</i>	<i>Maja brachydactyla</i>	<i>Necora puber</i>	<i>Octopus vulgaris</i>
<b>2019</b>	2 ± 3,39	19,1 ± 9,29	29,37 ± 22,5	11,9 ± 15,67	0 ± 0
2019-05	1,65 ± 3,58	21,54 ± 11,71	25,54 ± 21,80	13,69 ± 19,01	0 ± 0
2019-07	2,36 ± 3,20	16,65 ± 6,87	33,21 ± 23,19	10,11 ± 12,33	0 ± 0
<b>2021</b>	2,87 ± 4,99	16,22 ± 9,94	2,35 ± 2,98	0,69 ± 1,06	0 ± 0
2021-06	0,61 ± 1,25	20,18 ± 12,47	1,97 ± 3,14	0 ± 0	0 ± 0
2021-07A	0,96 ± 1,59	16,92 ± 11,98	3,05 ± 3,20	2,06 ± 3,17	0 ± 0
2021-07B	7,03 ± 12,14	11,56 ± 5,37	2,04 ± 2,62	0 ± 0	0 ± 0
<b>2022</b>	15,12 ± 39,47	6,81 ± 6,92	0 ± 0	0 ± 0	4,44 ± 6,99
2022-05	0,40 ± 0,85	1,56 ± 1,57	0 ± 0	0 ± 0	7,55 ± 10,88
2022-07	29,83 ± 78,09	12,06 ± 12,26	0 ± 0	0 ± 0	1,33 ± 3,10
<b>2023</b>	11,81 ± 33,02	9,49 ± 7	1,57 ± 2,06	0 ± 0	1,02 ± 2,41
2023-05	2,19 ± 3,51	8,97 ± 5,96	1,1 ± 1,88	0 ± 0	0,18 ± 0,61
2023-07	21,43 ± 62,52	10,01 ± 8,04	2,04 ± 2,23	0 ± 0	1,85 ± 4,21

Les prélèvements réalisés entre 2019 et 2023 ont permis d'observer 11 espèces différentes dont 6 de manière fréquente (Tableau 25). Les espèces principales sont des Crustacés avec l'Araignée de mer, le Tourteau, l'Étrille, le Homard, un Mollusque (le Poulpe) à partir de 2022 et le Tacaud commun en 2023.

L'Araignée de mer est quasiment absente en 2021 et 2023 et absente en 2022 alors qu'en 2019 ses valeurs de CPUE sont les plus fortes.

Le Tourteau est la seconde espèce la plus capturée. Les CPUE de 2023 sont supérieures à celles de 2019.

Le Homard est observé dans l'ensemble des missions. Il est représenté en quantité équivalente lors de l'état de référence et des premiers prélèvements de l'étude en phase de construction ; les abondances de cette espèce sont plus faibles ensuite, à partir de 2022 et jusqu'à la fin des prélèvements en phase d'exploitation.

L'Étrille est absente des prélèvements (exception faite de 2021-07A) depuis le début du suivi en phase de travaux et au cours du suivi en phase d'exploitation.

Les fortes abondances de Tourteau aux mois de juillet 2022 et 2023 expliquent les CPUE globalement plus élevées ; les grands écarts-type indiquent une disparité géographique dans les niveaux de capture (le Tourteau est capturé principalement sur des fonds sédimentaires ou de graviers plutôt que sur fonds rocheux).

Les CPUE par prélèvement sont représentées sous forme de cartes (Figure 87 et Figure 88) afin de :

- Visualiser la répartition et les variations de CPUE dans l'espace et le temps ;
- Illustrer l'effet de l'habitat sur les niveaux de CPUE.

Seuls l'état de référence et le suivi en exploitation sont représentés, car c'est cette comparaison qui est l'objet du rapport.

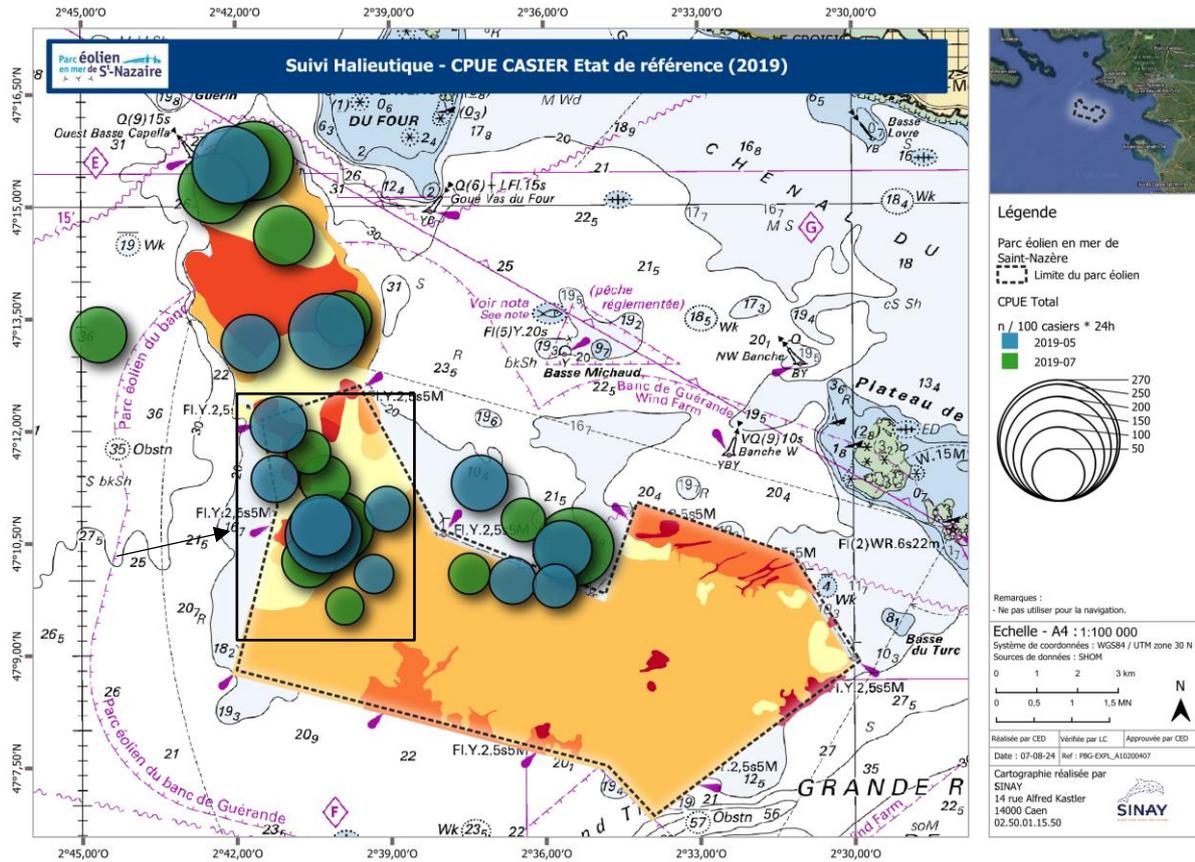


Figure 87 : Carte des CPUE au casier (n/100 casiers\*24h) lors de l'étude de l'état de référence en 2019. Le rectangle mis en évidence par une flèche permet de mettre en évidence une forte variabilité des CPUE dans une zone d'habitat homogène. Pour la légende des habitats, se référer à la Figure 3 (p. 24).

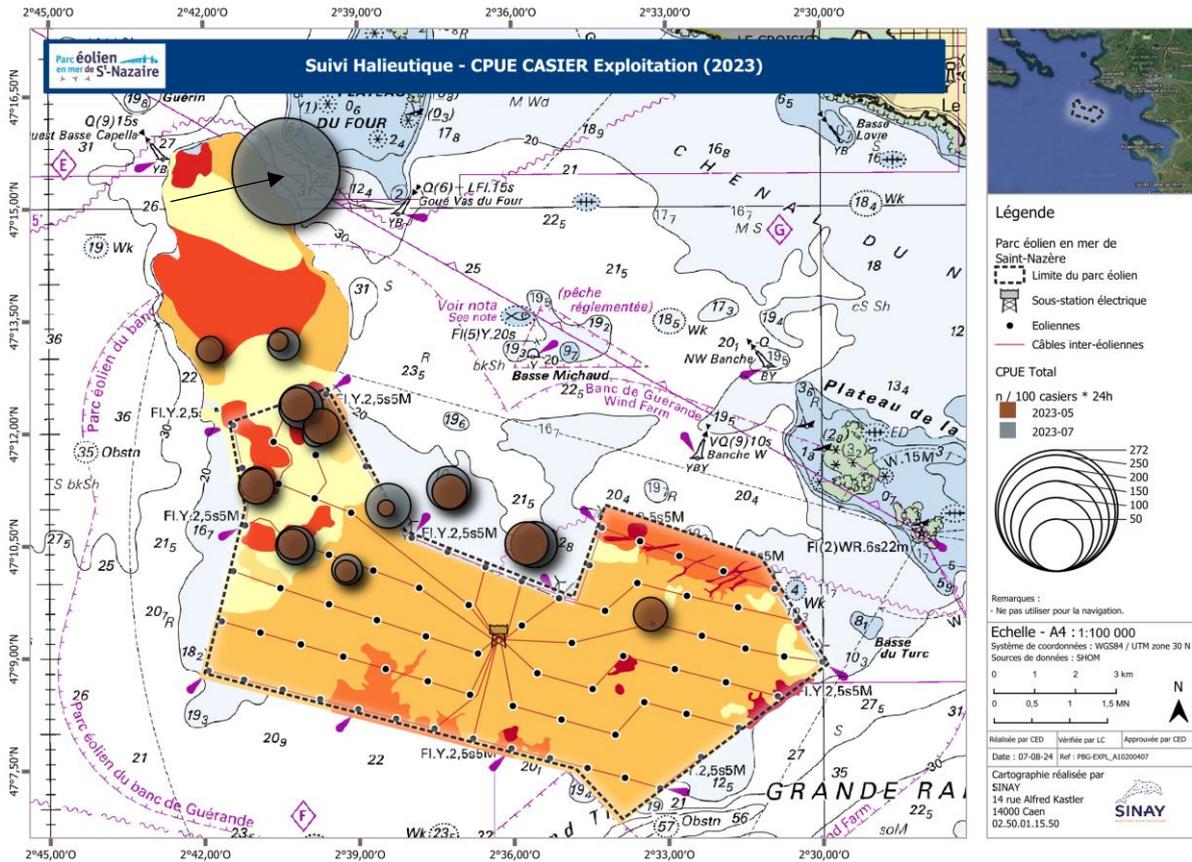


Figure 88: Carte des CPUE au casier (n/100 casiers\*24h) lors du suivi en phase d'exploitation en 2023. La flèche indique un prélèvement (filière de casiers) réalisé sur un fond sédimentaire grossier et pour lequel de fortes CPUE sont constatées. Pour la légende des habitats, se référer à la Figure 3 (p. 24).

L'ordre de grandeur des CPUE pour les missions de l'année 2019 est le même. L'état de référence est marqué par des CPUE plus importantes que celles du suivi en phase d'exploitation, notamment pour l'Araignée de Mer et l'Étrille. La taille variable des disques correspondant aux prélèvements réalisés (filières de casiers) témoigne de la variabilité des captures, y compris dans des zones d'habitat relativement homogène (exemple indiqué par une flèche, sur des fonds rocheux).

La différence d'ordre de grandeur entre l'état de référence et le suivi en exploitation est ici assez nettement visible en comparant les deux cartes ; les CPUE totales sont inférieures sur l'ensemble des prélèvements, à l'exception d'un seul, situé en partie Nord (indiqué par une flèche) lors de la mission 2023-07, sur un fond de sédiments grossiers entre deux bancs rocheux. Ce prélèvement particulier est caractérisé en termes de captures par une seule espèce : le Tourteau.

### 7.3.5 ASSEMBLAGE DES ESPÈCES

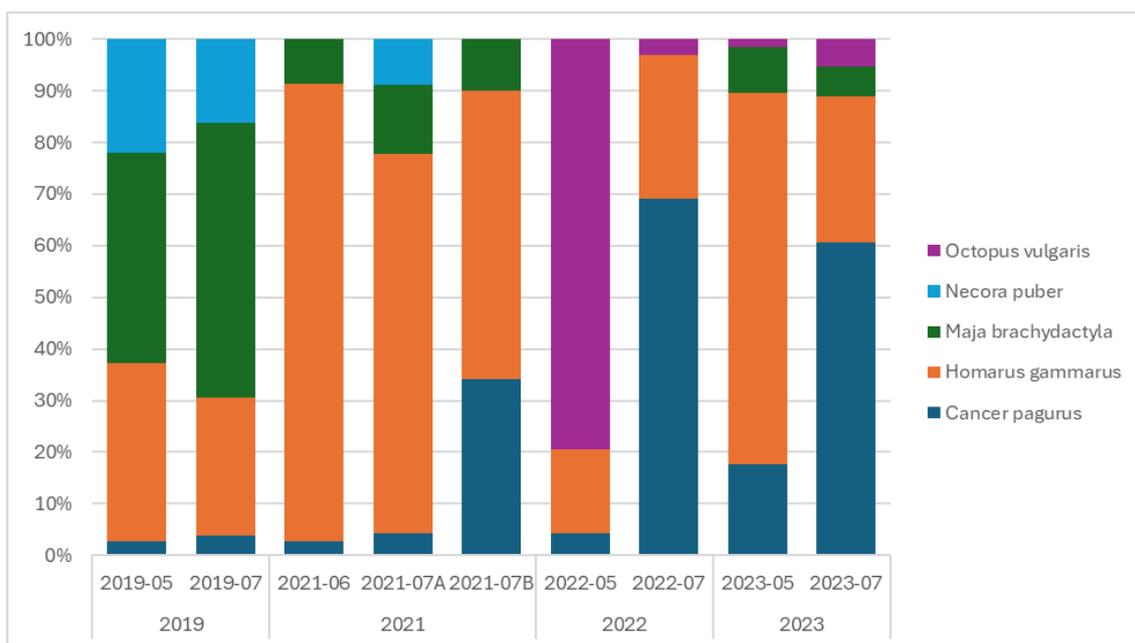


Figure 89: Assemblage des principales espèces observées par mission en pourcentage de CPUE.

Les peuplements (Figure 89) sont :

- Dominés par l'Araignée et le Homard lors de l'état de référence, avec présence non-négligeable de l'Étrille. Le Tourteau est minoritaire ;
- Dominés par le Homard en 2021, du fait de la quasi-absence de l'Araignée et de l'Étrille. Le Tourteau est bien présent en seconde partie du mois de juillet 2021 et en juillet 2022 (modification de la stratégie d'échantillonnage en cause : un ou plusieurs prélèvements réalisés sur fonds meubles spécifiquement dans ce but). Le mois de mai 2022 fait exception, avec des conditions de forte houle qui auraient empêché les captures de crustacés ;
- Dominés par le Homard en mai lors du suivi en phase d'exploitation, puis par le Tourteau en juillet (modification de la stratégie d'échantillonnage en cause : un prélèvement réalisé sur fonds meubles spécifiquement dans ce but).

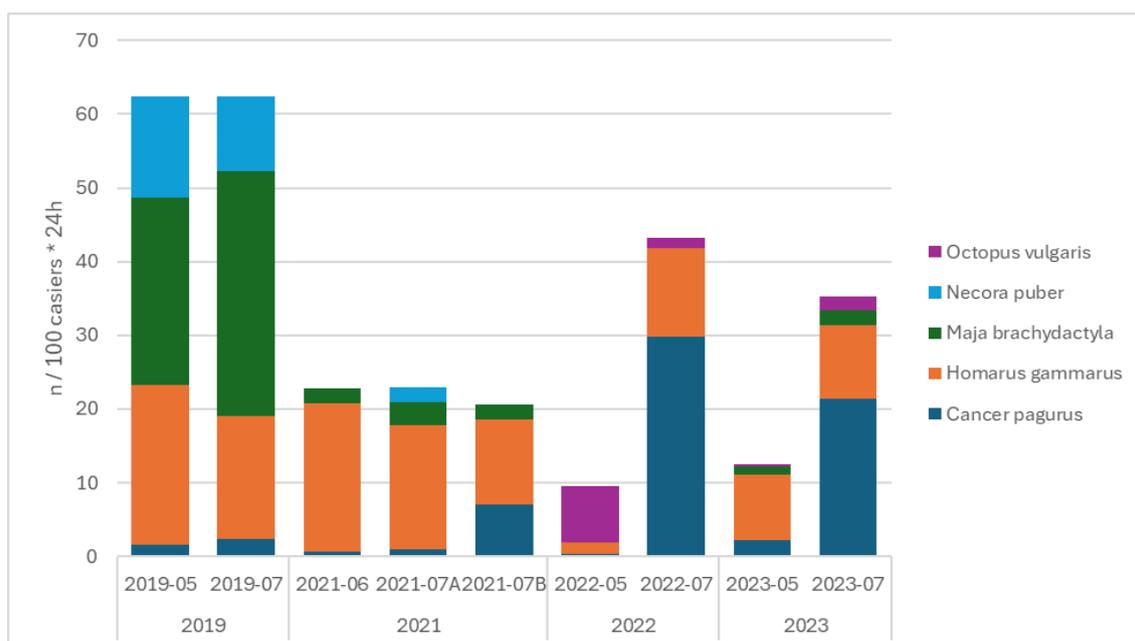


Figure 90: CPUE par espèce et par mission (en n/100 casiers\*24h). La période affectée par les travaux d'installation est superposée en gris.

La Figure 90 montre :

- L'effet de l'absence de l'Araignée et de l'Étrille sur la capture totale. Les tests statistiques confirment la différence significative entre l'état de référence et toutes les missions des suivis réalisés (p-value comprise entre 0,00017 et 0,03181), sauf entre 2019-05 et 2023-05 ( $p = 0,06539$ ) ;
- La prépondérance du Tourteau en juillet, lorsque des prélèvements ciblés ont lieu. La forte variabilité des captures de Tourteau au cours d'une même mission empêche de détecter une quelconque différence significative entre missions pour cette espèce ( $p = 0,1854$ ). En revanche, le facteur « zone » confirme sa prépondérance à l'extérieur du parc éolien du fait de la nature des fonds ( $p = 0,00066$ ).
- La très faible abondance de Homard en mai 2022. Cette mission particulière est significativement différente de la totalité des autres missions ( $p$  comprise entre 0,0027 et 0,0412) sauf 2023-05 ( $p = 0,2156$ ). Il n'y a pas de différence significative pour cette espèce entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation ;
- La modification des peuplements prélevés entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation.

### 7.3.6 ÉTUDE MONOSPÉCIFIQUE

- Le Homard

Les valeurs calculées au cours de la phase d'exploitation semblent inférieures à celles de l'état de référence tout en présentant des fortes valeurs d'écart-type.

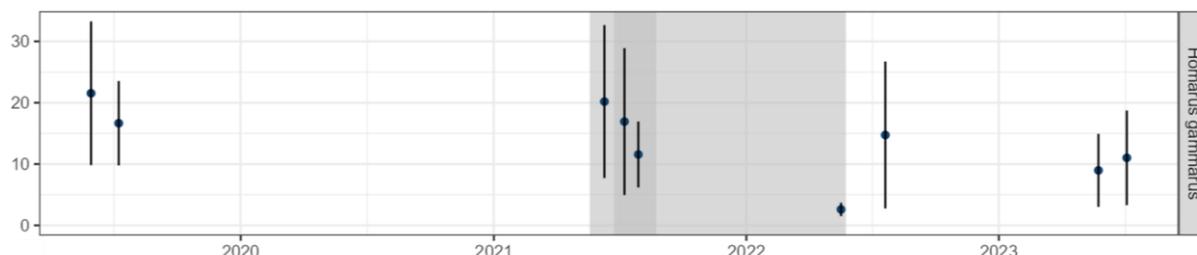


Figure 91 : Évolution des CPUE (n/100 casiers \* 24h) des Homards au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol/déroctage en foncé).

Il y a une différence significative au niveau de l'abondance de Homard entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation du parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire (two-way ANOVA,  $p = 0,011$  et Tukey HSD,  $p = 0,008$ ). Aucune différence significative n'est démontrée pour les différentes zones entre les deux études (two-way ANOVA,  $p = 0,660$ ) ; la différence de CPUE est généralisée dans et autour du parc éolien.

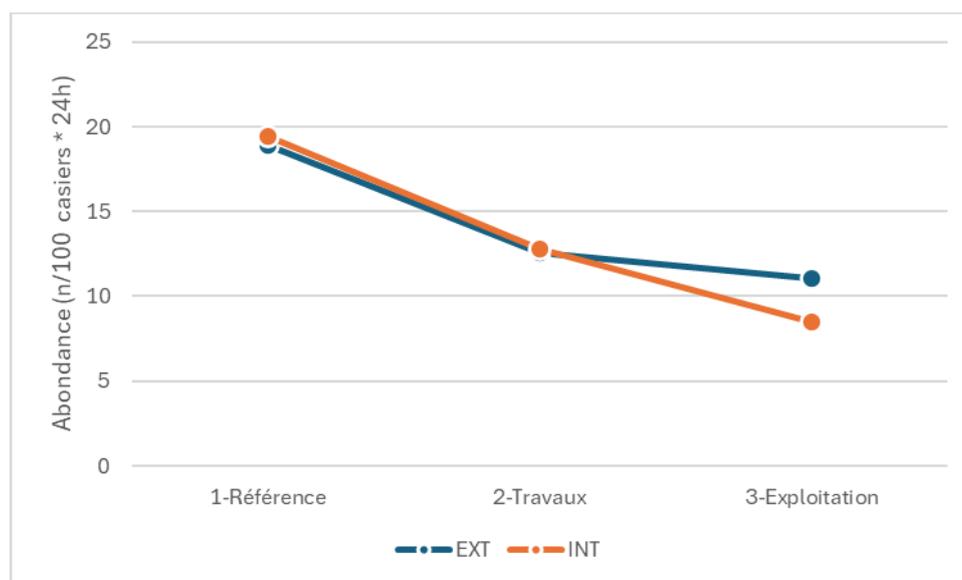


Figure 92 : Abondance moyenne du Homard par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

Au cours de l'état de référence, la valeur de l'abondance du Homard est supérieure à l'extérieur et à l'intérieur du parc (Figure 92). Aucune différence de l'abondance du Homard entre zones n'est démontrée via les tests statistiques réalisés.

La Figure 93 montre que les valeurs de CPUE sont supérieures lors de l'état de référence par rapport à la phase d'exploitation.

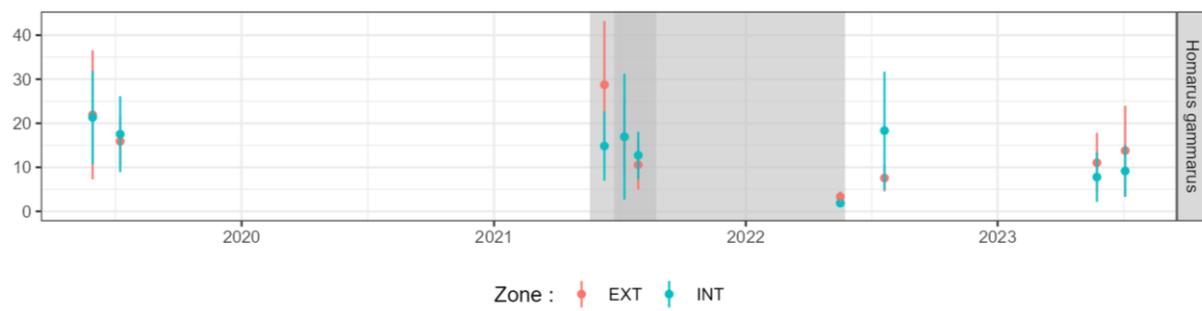


Figure 93 : Évolution des CPUE (n/1000m\*24h) du Homard au fil des missions.

Le Homard est une des espèces emblématiques de la pêche côtière du port du Croisic, il est ainsi possible de mettre en perspective ces captures avec les données de vente en criée diffusées par FranceAgriMer, représentatives des captures par les pêcheurs professionnels.

La Figure 94, montre que les ventes de Homard ont connu un pic en 2017 avant de se stabiliser au cours de années 2019-2021 ; les ventes ont chuté en 2022 et 2023 à un niveau équivalent à celui de 2014-2015.

Il est toutefois important de noter que, d'après une étude de l'Ifremer (Laurans, 2013) que les variations de l'indice d'abondance peuvent être importantes, traduisant une disponibilité ou une capturabilité différentes d'une année sur l'autre. Là se trouve probablement une des explications possibles aux observations réalisées lors du suivi.

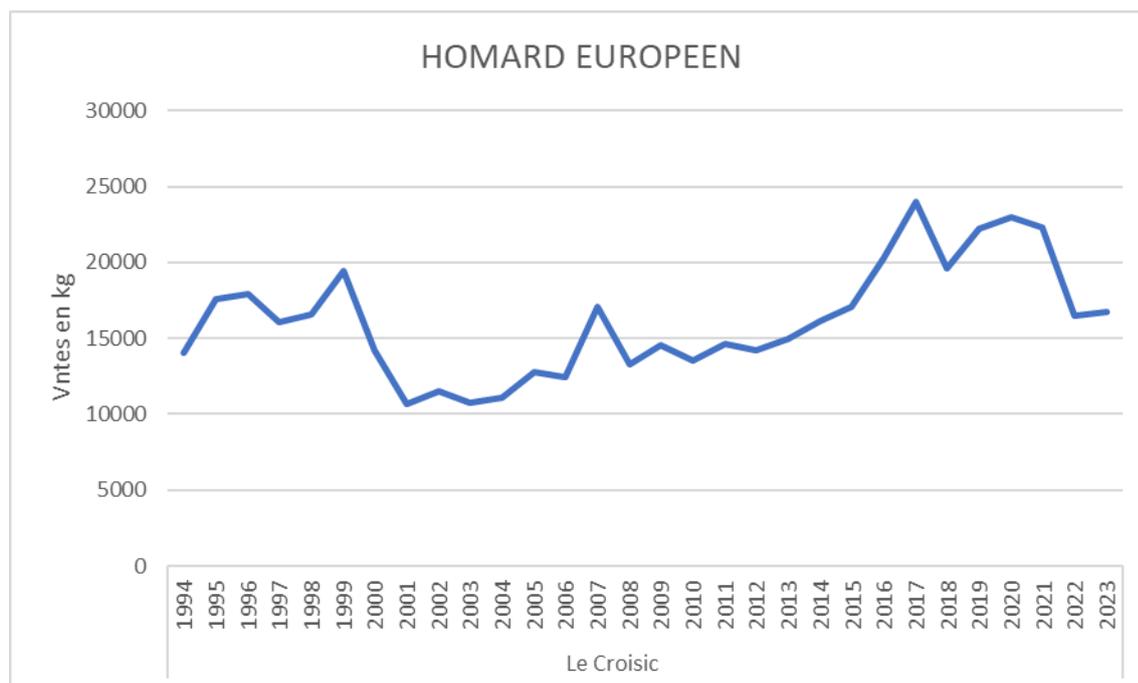


Figure 94: Ventes annuelles de Homard Européen à la criée du Croisic sur la période 2010-2022. Source : FranceAgriMer.

La Figure 95 présente une observation plus détaillée (par trimestre) des données de vente à la criée du Croisic et permet de constater les faits suivants :

- Depuis 2018, les ventes de Homard sont plus importantes au 2<sup>ème</sup> trimestre qu'au 3<sup>ème</sup>, ce qui correspond aux observations réalisées lors des campagnes de l'état de référence et de la phase de construction ;
- Les ventes ont fortement diminué en 2022, notamment lors du deuxième trimestre (Avril-Juin) ; au troisième trimestre (Juillet-Septembre), les ventes ont commencé à

diminuer dès 2021, encore une fois cette observation correspond à celle réalisée lors du suivi.

- En 2023, pendant la phase d'exploitation du parc, elles sont au même niveau qu'en 2022.

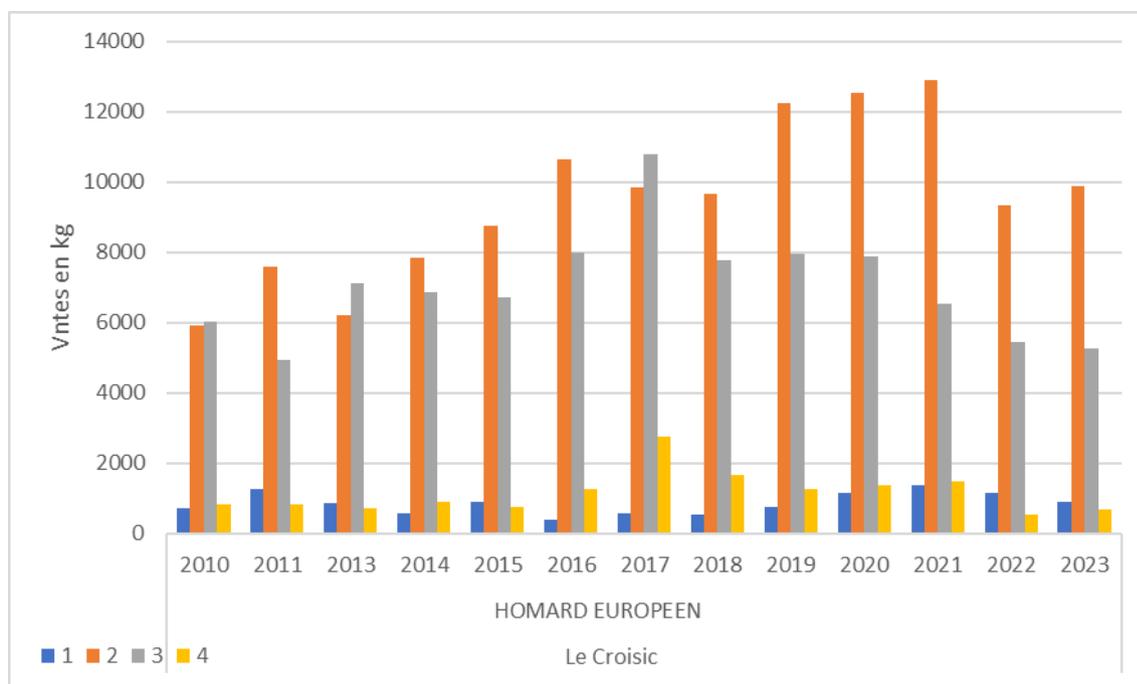


Figure 95: Ventes de Homard européen à la criée du Croisic par trimestre pendant la période 2010-2022. Source : FranceAgriMer.

Les tableaux et figures ci-dessous décrivent la structure de population du Homard observée au cours des différentes campagnes.

Dans les figures suivantes, la valeur « 87 » est la taille minimale de capture en mm de longueur céphalothoracique (Figure 97). En-dessous de cette limite, les individus sont considérés comme immatures (ou juvéniles) et n'ont pas encore connu la possibilité de se reproduire au moins une fois.

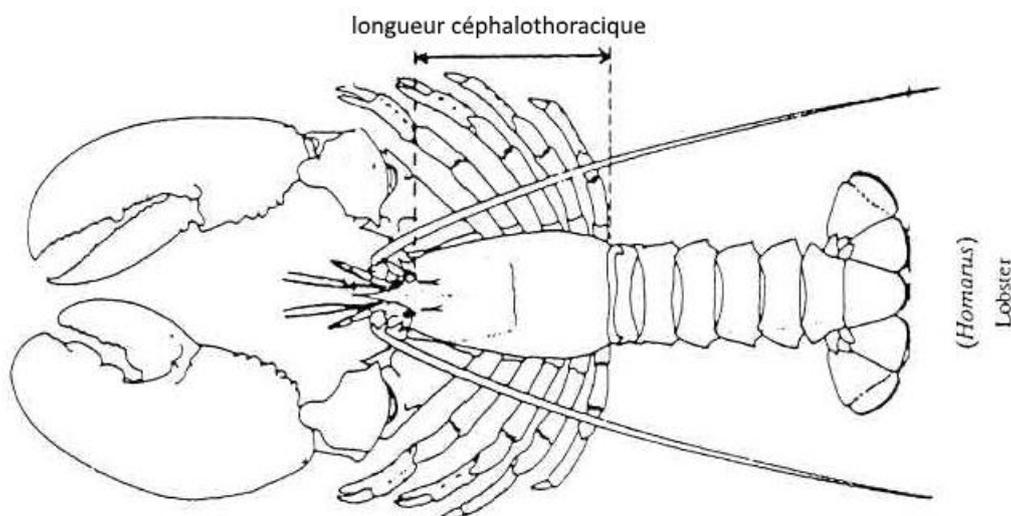


Figure 96 : Définition schématique de la longueur céphalothoracique du Homard européen.

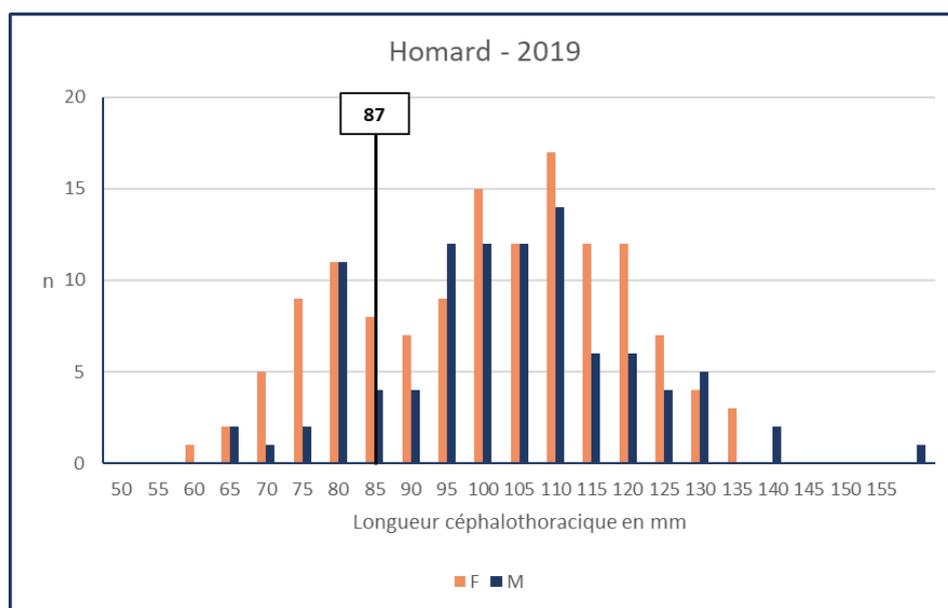


Figure 97: Structure de population par sexe des homards prélevés en 2019 - État de référence.

Les structures de population observées lors de l'état de référence (Figure 97) et le début de la période de travaux (Figure 98) sont globalement identiques ; cependant, on peut observer une différence de proportion d'immatures plus importante en 2021, soit au cours des travaux d'installation du parc éolien.

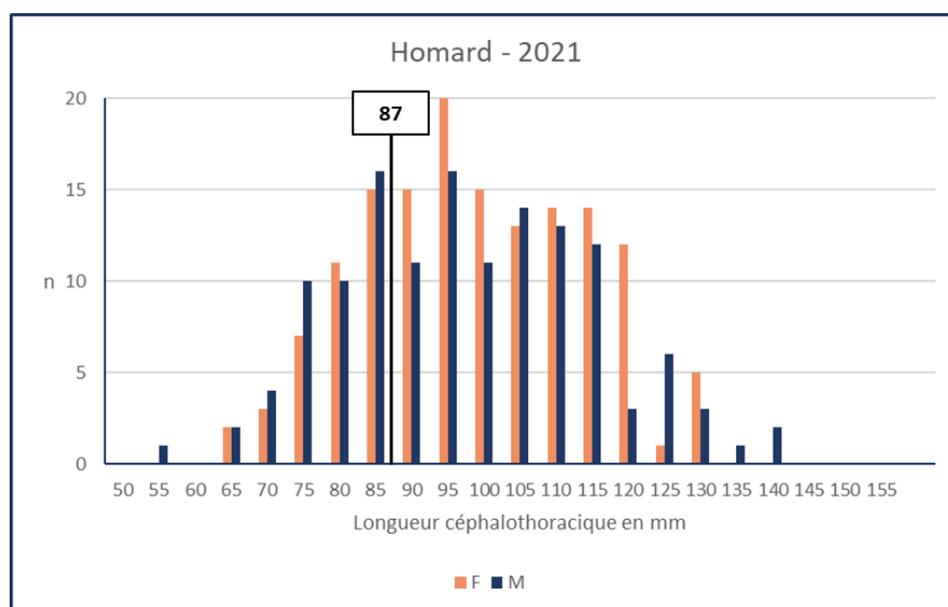


Figure 98: Structure de population par sexe des Homards prélevés en 2021.

Pendant la dernière année de suivi en phase de construction (Figure 99), très peu d'individus prélevés ; parmi ceux-ci, peu d'immatures (11), et les adultes sont en moyenne plus gros que les années précédentes.

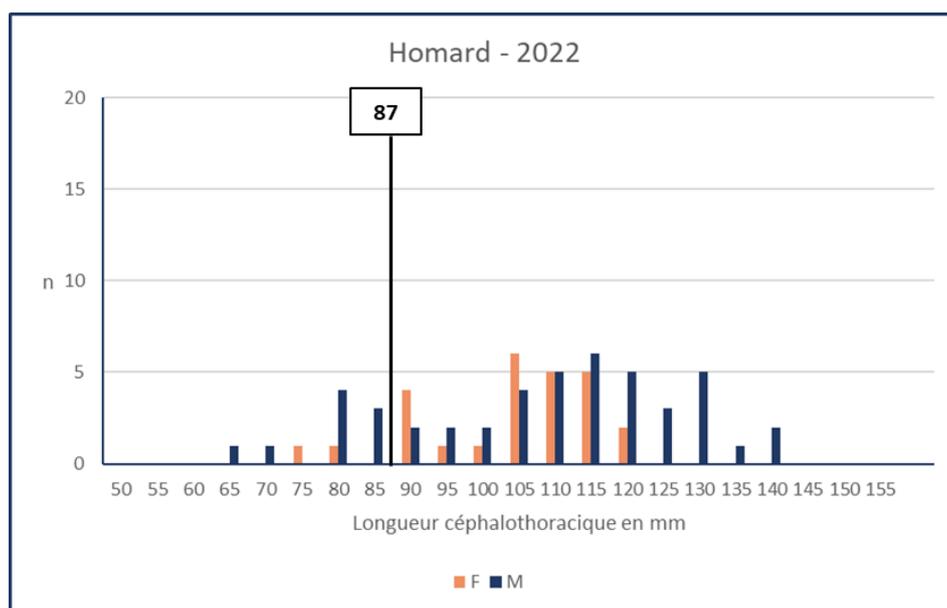


Figure 99: Structure de population par sexe des homards prélevés en 2022.

Le constat est le même pour les individus prélevés en phase d'exploitation (Figure 100), avec toutefois une part de juvéniles (femelles notamment) légèrement en hausse.

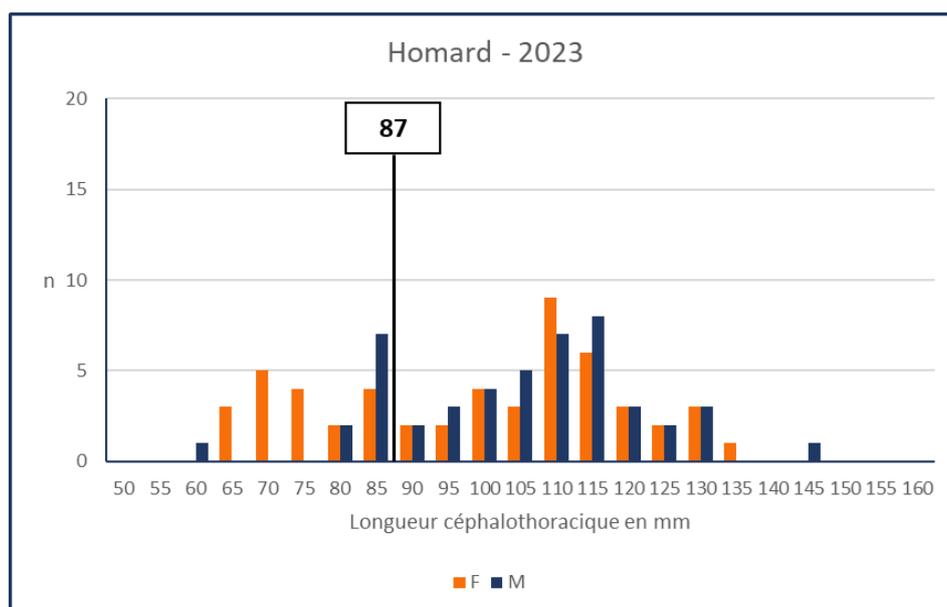


Figure 100: Structure de population par sexe des homards prélevés en 2023.

La structure de population semble rester identique à celle de l'état de référence ; ce sont les quantités prélevées qui sont largement inférieures en phase d'exploitation (et travaux) par rapport à celles de l'état de référence.

Le Tableau 27 présente les tailles moyennes, minimum et maximum, ainsi que les effectifs prélevés par mission et par sexe.

Tableau 27 Synthèse des tailles (mm) relevées du Homard au cours des missions.

<i>Homarus gammarus</i>	Taille moy. (mm)		Taille min. (mm)		Taille max. (mm)		Effectif	
	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle
<b>2019</b>	99 ± 18	101 ± 17					134	98
2019-05	102 ± 16	103 ± 16	67	72	131	137	76	55
2019-07	94 ± 19	98 ± 18	60	61	135	157	58	43
<b>2021</b>	97 ± 15	96 ± 17					147	135
2021-06	97 ± 14	99 ± 16	62	65	120	137	57	59
2021-07A	96 ± 16	95 ± 19	69	55	127	139	53	42
2021-07B	97 ± 16	92 ± 14	74	61	130	115	37	34
<b>2022</b>	102 ± 12	106 ± 19					26	46
2022-05	-	94 ± 22		65		129		8
2022-07	102 ± 12	108 ± 17	73	66	120	139	26	38
<b>2023</b>	102 ± 12	106 ± 19					53	48
2023-05	102 ± 15	99 ± 21	73	65	134	130	23	24
2023-07	99 ± 20	99 ± 18	62	60	129	143	30	24
<b>2019-2023</b>	98 ± 16	99 ± 18					360	327

La taille moyenne des Homards prélevés est de 98,00 mm pour les femelles et 99 mm pour les mâles (Tableau 27). Les individus capturés en 2022-07 sont en moyenne plus grands que précédemment.

**Aucune différence n'est détectée entre l'état de référence et la phase d'exploitation quant à la taille moyenne du Homard. Les moyennes par sexe, par zone, semblent identiques si l'on tient compte de l'écart-type.**

Tableau 28: Taille moyenne des Homards dans et à l'extérieur de la zone de parc éolien.

Mission	Femelle		Mâle	
	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur
2019-05	106 ± 16	99 ± 15	109 ± 17	100 ± 14
2019-07	93 ± 19	95 ± 18	100 ± 18	96 ± 18
2021-06	97 ± 13	97 ± 14	99 ± 16	99 ± 18
2021-07A	91 ± 15	101 ± 15	95 ± 19	94 ± 18
2021-07B	97 ± 17	98 ± 15	90 ± 12	93 ± 15
2022-05			89 ± 21	103 ± 19
2022-07	95 ± 11	103 ± 12	98 ± 21	111 ± 14
2023-05	106 ± 11	100 ± 16	97 ± 22	102 ± 20
2023-07	102 ± 18	95 ± 20	100 ± 16	98 ± 19

Il ne semble pas y avoir de différence de taille entre zones au cours du suivi en phase d'exploitation pour le Homard, femelle ou mâle. Cette observation est la même que lors de l'état de référence. Il reste cependant à noter que les effectifs sur lesquels elle est basée sont faibles, en lien avec la diminution d'abondance constatée depuis l'état de référence (Tableau 27).

- L'Araignée de mer

L'espèce, capturée en quantité relativement importante<sup>9</sup> lors de l'état de référence (de l'ordre de 30 individus/100 casiers\*24h), est quasi-absente des prélèvements réalisés ultérieurement. Aucun individu n'est observé en 2022 (Figure 101).

Des différences significatives entre CPUE moyennes de l'espèce par mission confirment que le résultat des suivis sont différents par comparaison avec ceux de l'état de référence. Des différences significatives sont trouvées entre 2019-07 et toutes les missions de suivi (travaux et exploitation) ainsi qu'entre 2019-09 et l'intégralité des missions des suivis. Aucune différence significative n'est détectée entre 2019-07 et 2019-09.

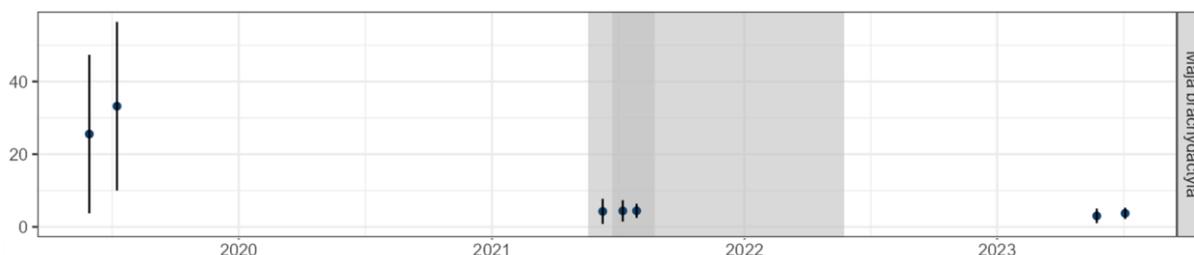


Figure 101 : Évolution des CPUE (n/100 casiers \* 24h) des Araignées de mer au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

Il existe une différence significative des CPUE pour l'Araignée entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation (two-way ANOVA,  $p = 1,06 \cdot 10^{-7}$  et Tukey HSD,  $p = 6,2 \cdot 10^{-5}$ ). De même, une différence significative est démontrée pour la zone extérieure au parc éolien (two-way ANOVA,  $p = 0,017$  et Tukey HSD,  $p = 9,8 \cdot 10^{-4}$ ) mais pas pour la zone intérieure (two-way ANOVA,  $p = 0,017$  mais Tukey HSD,  $p = 0,16$ ). Les figures ci-dessous illustrent ces affirmations : la différence de CPUE vient principalement d'une diminution des captures à l'extérieur du parc.

<sup>9</sup> Il est à noter que les CPUE d'Araignée de mer étaient déjà en baisse lors de l'état de référence, comparé aux résultats de l'état initial, malgré des volumes de vente sous criée équivalents.

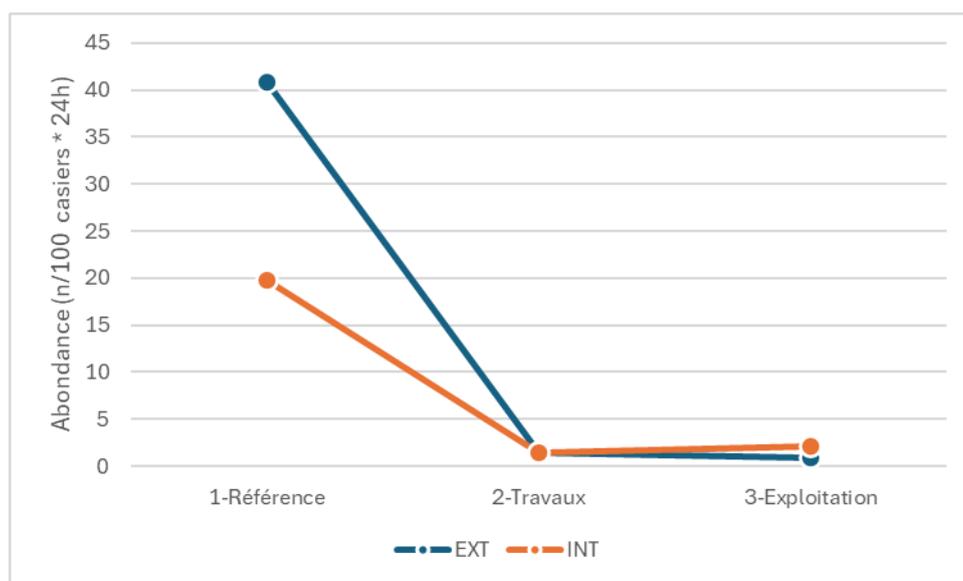


Figure 102 : Abondance moyenne de l'Araignée de mer par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

Au cours de l'état de référence, la valeur de l'abondance de l'Araignée de mer est supérieure à l'extérieur et à l'intérieur du parc par rapport à la phase d'exploitation (Figure 102).

La Figure 103 montre que les valeurs de CPUE sont supérieures pendant l'état de référence par rapport à celles de la phase d'exploitation à l'extérieur et à l'intérieur du parc.

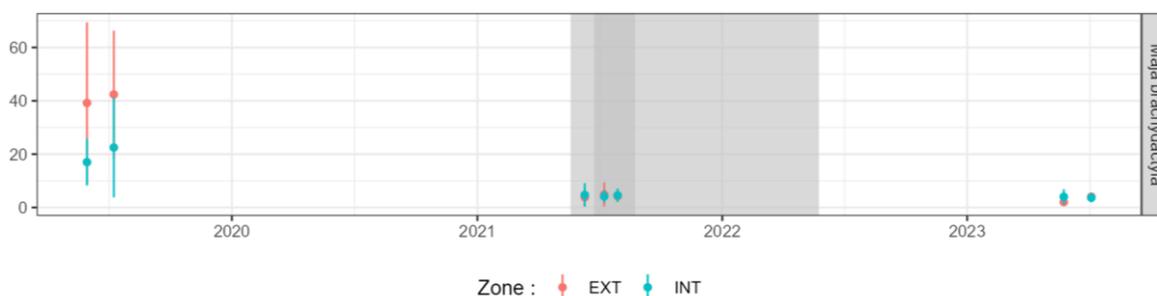


Figure 103 : Évolution des CPUE (n/1000m\*24h) de l'Araignée de mer au fil des missions.

Le Tableau 29 présente les tailles moyennes et effectifs observés. La taille moyenne des individus d'Araignée de mer prélevés est de 133 mm pour les femelles et 134 mm pour les mâles (Tableau 29). La comparaison des structures de population n'est pas possible, car le nombre d'individus prélevés au cours des suivis est trop faible.

Les résultats obtenus sont conformes à ceux décrits dans le cadre du suivi au filet (7.2.6). L'évolution des captures et celle des tailles suivent les mêmes dynamiques quel que soit l'engin de capture employé.

Tableau 29 : Synthèse des tailles (mm) relevées de l'Araignée de mer au cours des missions.

Maja brachydactyla	Taille moy. (mm)		Taille min. (mm)		Taille max. (mm)		Effectif	
	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle
<b>2019</b>	133 ± 12	136 ± 18					64	278
2019-05	132 ± 13	142 ± 19	105	91	159	185	30	113
2019-07	134 ± 11	131 ± 16	95	92	153	173	34	165
<b>2021</b>	136 ± 12	125 ± 13					8	33
2021-06	138 ± 0	123 ± 14	138	101	138	142	1	10
2021-07A	131 ± 17	128 ± 14	107	109	145	159	3	15
2021-07B	139 ± 7	124 ± 7	134	113	150	132	4	8
<b>2022</b>	-	-	-	-	-	-	0	0
2022-05	-	-	-	-	-	-	0	0
2022-07	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>2023</b>	-	-	-	-	-	-	2	15
2023-05		125 ± 11	-	107	-	136	0	6
2023-07	115 ± 5	127 ± 10	110	110	120	142	2	9
<b>2019-2023</b>	133 ± 12	134 ± 18					74	326

- Le Tourteau

Les CPUE du Tourteau sont extrêmement faibles lors de l'état de référence et la plupart des missions du suivi en phase de travaux (Figure 104). La troisième mission de 2021 a été l'occasion de prospecter une zone connue pour abriter nombre d'individus de cette espèce, d'où des CPUE plus élevées que précédemment. Une station de la dernière mission de 2022 (juillet) montre une forte abondance, d'où le résultat observé (et l'écart-type associé). Les données de 2023 sont quasi identiques à celles de 2022 pour les deux missions.

En termes statistiques, il n'existe aucune différence significative des CPUE de tourteau entre les différentes phases d'étude (two-way ANOVA,  $p = 0,661$ ).

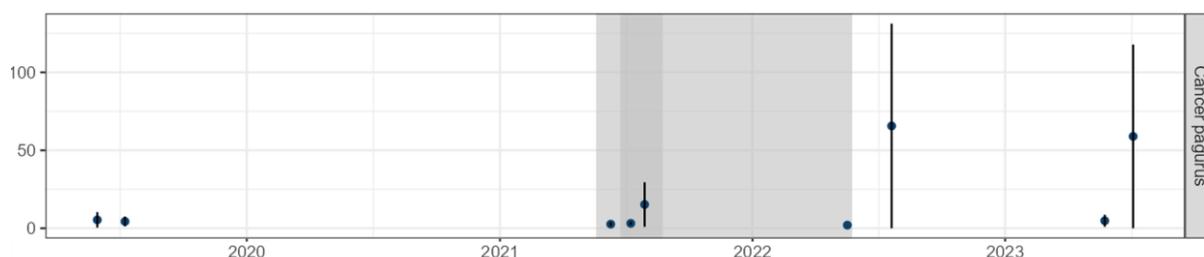


Figure 104 : Évolution des CPUE (n/100 casiers \* 24h) des Tourteaux au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

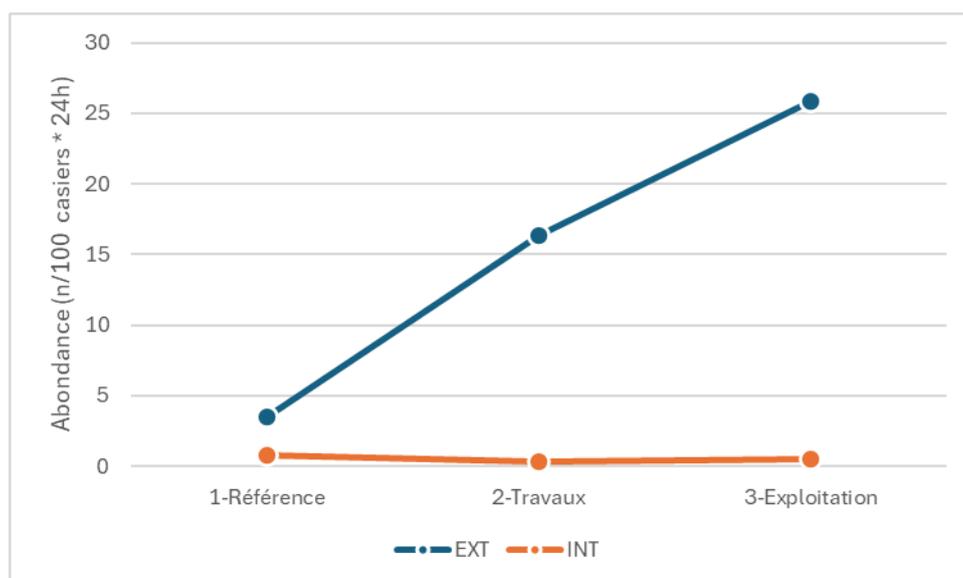


Figure 105 : Abondance moyenne du Tourteau par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

Au cours de l'exploitation du parc, la valeur de l'abondance du Tourteau est supérieure à l'extérieur du parc (Figure 105).

La Figure 106 montre que les valeurs de CPUE sont supérieures pendant la phase d'exploitation par rapport à la situation de l'état de référence à l'extérieur du parc. Malgré ces observations, aucune différence significative n'existe entre les CPUE de Tourteau par zone entre phases d'étude (two-way ANOVA,  $p = 0,758$ ).

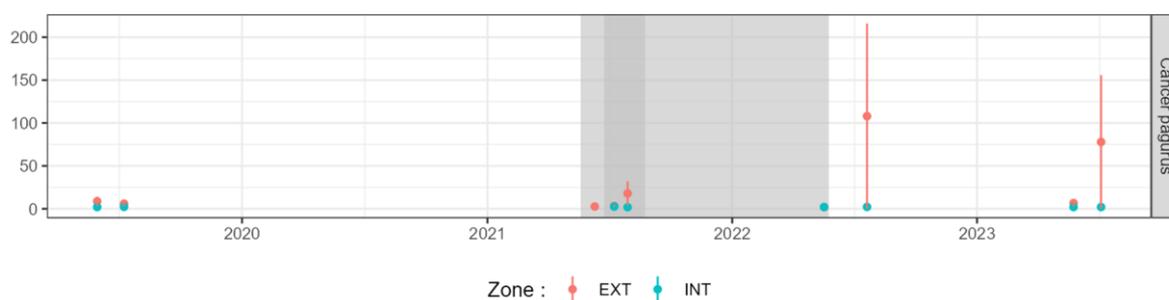


Figure 106 : Évolution des CPUE (n/1000m\*24h) du Tourteau au fil des missions.

La taille moyenne des tourteaux prélevées au cours des 7 missions est de 165 mm pour les femelles et 163 mm pour les mâles (Tableau 30).

Tableau 30 : Synthèse des tailles (mm) mesurées du Tourteau au cours des missions.

Cancer pagurus	Taille moy. (mm)		Taille min. (mm)		Taille max. (mm)		Effectif	
	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle
<b>2019</b>	143 ± 31	152 ± 34	103	90	189	198	8	15
2019-05	125 ± 23	162 ± 30	103	118	158	198	4	5
2019-07	161 ± 26	147 ± 35	131	90	189	191	4	10
<b>2021</b>	170 ± 19	171 ± 29	132	110	210	231	26	27
2021-06	148 ± 6	166 ± 14	142	152	153	179	2	2
2021-07A	159 ± 12	145 ± 25	147	110	171	176	2	4
2021-07B	173 ± 19	176 ± 28	132	123	210	231	22	21
<b>2022</b>	167 ± 19	161 ± 21	134	132	203	210	48	32
2022-05	177 ± 0	142 ± 0	177	142	177	142	1	1
2022-07	166 ± 19	162 ± 21	134	132	203	210	106	45
<b>2023</b>	159 ± 24	150 ± 30					23	22
2023-05	150 ± 4	142 ± 28	146	104	153	206	2	10
2023-07	160 ± 25	157 ± 29	121	111	208	198	100	16
<b>2019-2023</b>	164 ± 22	160 ± 29	103	90	210	231	105	96

La Figure 104 montre une augmentation des captures de la taille des individus pendant et après les travaux. La raison est que lors de ces missions, des casiers ont été déployés sur des fonds sédimentaires, habitat dans lesquels on observe cette espèce plus que dans les zones rocheuses, comme vu sur la carte des CPUE (Figure 88, p.119).

- L'Étrille

L'Étrille est présente dans les prélèvements de l'état de référence (Figure 107), pouvant même représenter l'espèce majoritaire de certaines stations situées dans le quart Sud-Ouest de la zone du parc éolien.

Cependant, son absence de la quasi-totalité des prélèvements du suivi en travaux ainsi que du suivi en exploitation est tout à fait notable.

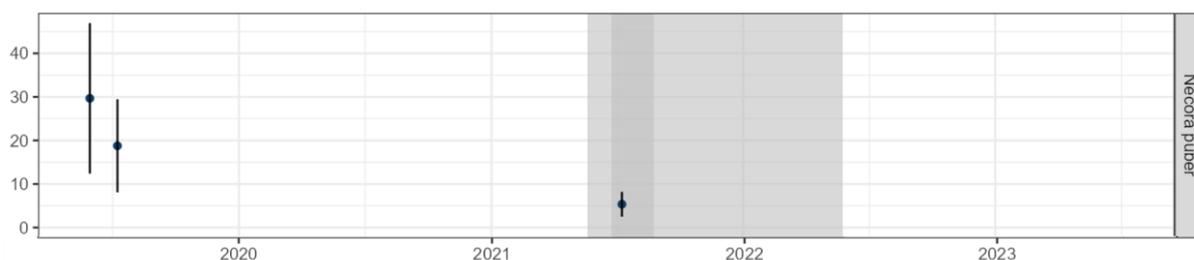


Figure 107 : Évolution des CPUE (n/100 casiers \* 24h) des étrilles au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

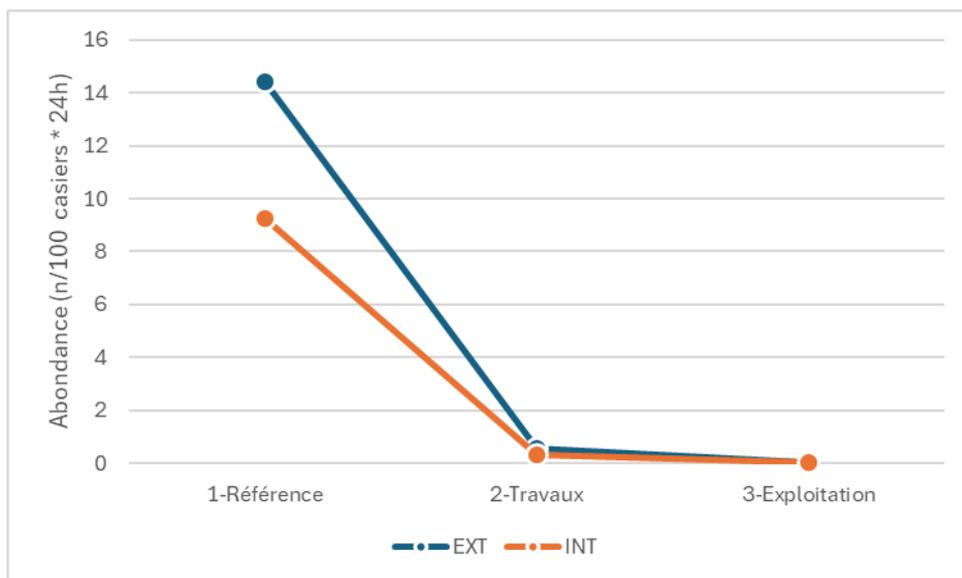


Figure 108 : Abondance moyenne de l'Étrille par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

La Figure 109 montre que les valeurs de CPUE sont supérieures pendant l'état de référence à l'extérieur et à l'intérieur du parc.

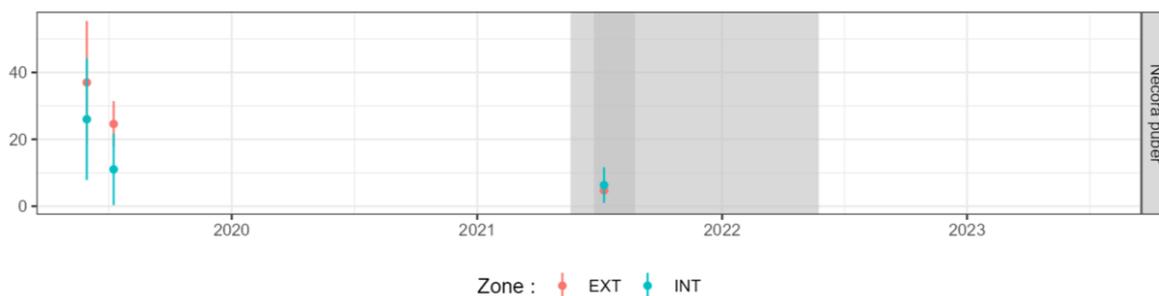


Figure 109 : Évolution des CPUE (n/1000m\*24h) de l'Étrille au fil des missions.

Les ventes en criée de l'espèce ont été divisées par 4 entre 2019 et 2022 (Figure 110), pouvant signifier que l'Étrille est beaucoup moins présente et disponible pour les pêcheurs locaux, sans lien avec la présence du parc éolien en mer.

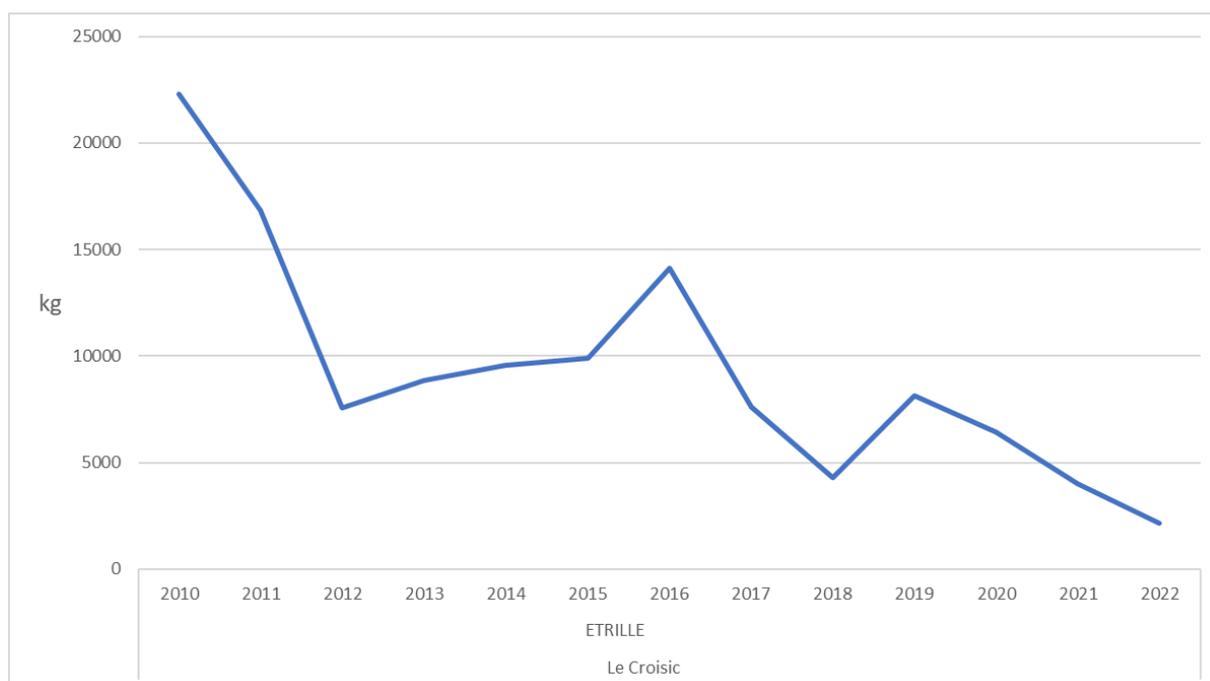


Figure 110: Ventés annuelles d'étrille à la criée du Croisic pour la période 2010-2022.

La taille moyenne des Étrilles prélevées est de 57,00 mm pour les femelles et 59 mm pour les mâles (Tableau 31).

Tableau 31 : Synthèse des tailles (mm) relevées de l'étrille au cours des missions.

<i>Necora puber</i>	Taille moy. (mm)		Taille min. (mm)		Taille max. (mm)		Effectif	
	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle
<b>2019</b>	56 ± 6	59 ± 7	47	41	64	77	18	137
2019-05	50 ± 2	55 ± 5	47	41	55	70	8	81
2019-07	61 ± 3	64 ± 4	55	57	64	77	10	56
<b>2021</b>	63 ± 2	69 ± 4	61	59	64	76	2	9
2021-06	-	-	-	-	-	-	0	0
2021-07A	63 ± 2	69 ± 4	61	59	64	76	2	9
2021-07B	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>2022</b>	-	-	-	-	-	-	0	0
2022-05	-	-	-	-	-	-	0	0
2022-07	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>2023</b>	-	-	-	-	-	-	0	0
2023-05	-	-	-	-	-	-	0	0
2023-07	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>2019-2023</b>	57 ± 6	59 ± 7	47	41	64	77	20	146

- Cas du Poulpe

Le Poulpe commun (ou Pieuvre commune) a connu une forte augmentation de son abondance dans le Nord du Golfe de Gascogne au cours de dernières années ; les données de vente de l'espèce à la criée du Croisic (Figure 111) montrent effectivement une explosion des volumes à partir de 2021.

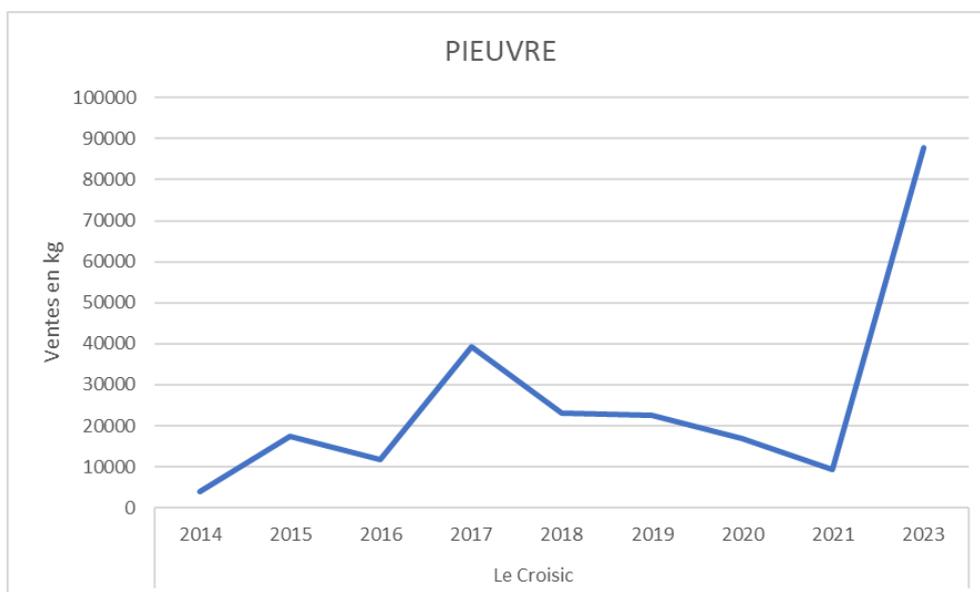


Figure 111: Ventes de Pieuvre (Poulpe) à la criée du Croisic sur la période 2014-2023 (pas de données antérieures) - Source France AgriMer.

Outre la forte augmentation de population, les données présentées traduisent également un changement important de stratégie de pêche pour une partie des professionnels, qui en ont fait une espèce ciblée. Ceci a probablement pour effet de reporter une partie de l'effort de pêche autrefois dirigé vers d'autres espèces, comme les crustacés.

La présence du Poulpe en abondance pourrait avoir un effet direct sur les populations d'autres espèces : c'est un prédateur de mollusques et crustacés.

### 7.3.7 ANALYSE MULTIVARIÉE

Les analyses multivariées permettent d'identifier objectivement les ressemblances et les différences de peuplements des stations suivies au cours du temps, tout en tenant compte des conditions environnementales. Leur interprétation est rendue possible par la description des indicateurs présentés dans les parties précédentes (qualité de la colonne d'eau, richesse, abondance et diversité spécifiques des peuplements).

La Figure 112 montre les résultats obtenus dans le cadre de l'analyse des résultats des prélèvements au casier.

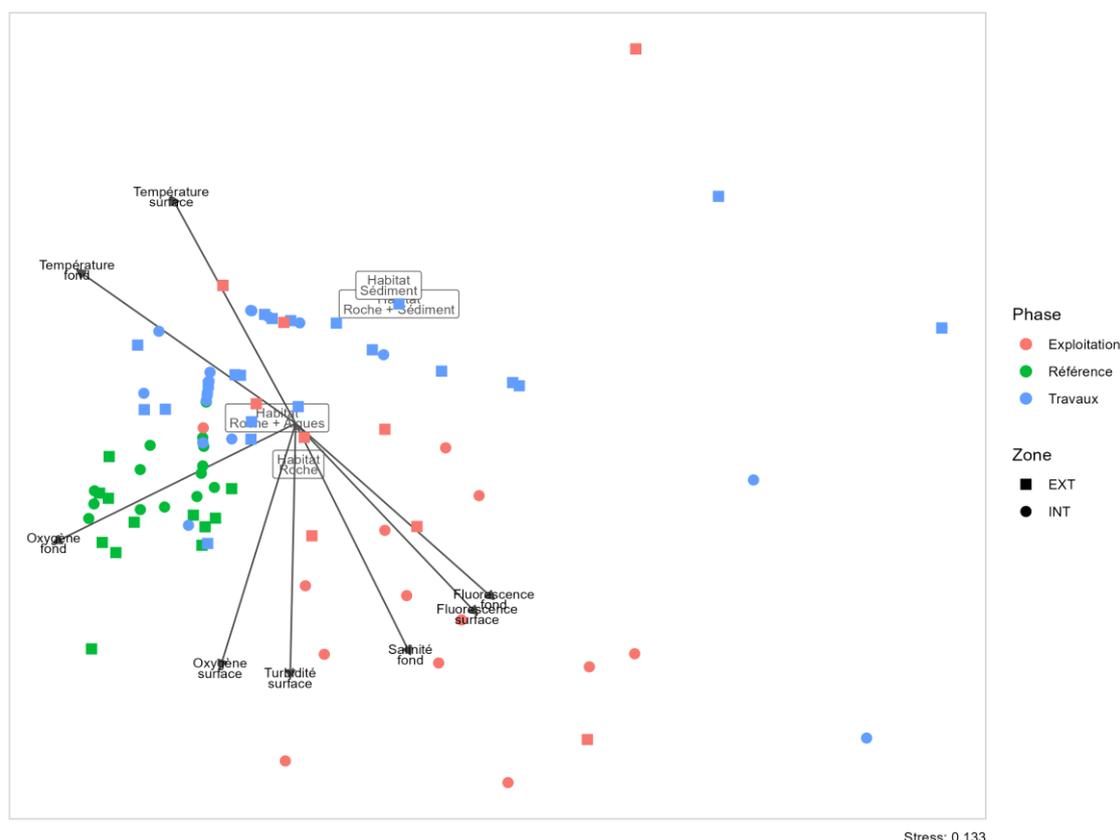


Figure 112 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de capture au casier entre 2019 et 2023. Toutes les stations sont représentées par des points (à l'intérieur du parc) et des carrés (à l'extérieur du parc). Seuls les paramètres dont l'influence est caractérisée sont présentés par des vecteurs ou des étiquettes. La valeur de stress de l'analyse est 0,133.

Les points correspondent à tous les prélèvements effectués au cours des 9 missions, de l'état de référence au suivi en phase d'exploitation. Ils sont répartis selon un schéma au sein duquel les points des différentes missions d'échantillonnage se succèdent en fonction des valeurs de température, salinité, turbidité, oxygène, fluorescence en surface et au fond de la colonne d'eau, du type d'habitat (« sédiment », « roche », « roche avec couverture algale » et « roche et sédiment »).

Une séparation franche entre les points de l'état de référence et ceux du suivi en exploitation est observée. Les observations précédentes relatives aux CPUE et assemblages sont ainsi confirmées.

À première vue, les principaux facteurs qui influencent la répartition observée sont les paramètres physico-chimiques de l'eau de mer, puisque 3 vecteurs sont corrélés à la dispersion des prélèvements du suivi en phase d'exploitation (Fluorescence fond et surface, Salinité fond et Turbidité surface) et un pour ceux de l'état de référence (Oxygène fond). Un autre facteur semble influencer la dispersion des

points : le type d'habitat et notamment les habitats comportant des sédiments, typiquement là où le Tourteau est le plus capturé.

Les peuplements observés au travers des prélèvements réalisés au casier semblent séparés par phase d'étude. Les prélèvements de l'état de référence seraient caractérisés par une plus forte oxygénation de l'eau de mer à proximité du fond, ceux du suivi en phase d'exploitation par la fluorescence, la salinité et la turbidité.

### 7.3.8 SYNTHÈSE DE LA COMPARAISON DES RESULTATS DU SUIVI EN PHASE D'EXPLOITATION AVEC CEUX DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE DES CAMPAGNES « CASIER A CRUSTACES »

L'analyse des résultats des prélèvements effectués au casier montre :

Des abondances totales par mission réduites au cours des suivis 2023 (phase d'exploitation) en comparaison de celles constatées lors de l'état de référence, sauf lorsqu'un prélèvement au sein d'un habitat favorable au Tourteau est effectué (2022-07 et 2023-07), auquel cas sa forte abondance sur un prélèvement augmente l'abondance totale.

Il n'existe pas de différence dans les indices de diversité calculés entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation.

Les peuplements de la phase d'exploitation sont différents de ceux de l'état de référence. L'Araignée de mer domine les peuplements avant les travaux et le Homard et le Tourteau dominent ceux de la phase d'exploitation alors que l'Araignée de mer et l'Étrille ont disparu.

L'analyse multivariée indique que les peuplements observés seraient propres à chaque étude (état de référence, suivi en phase de travaux, suivi en phase d'exploitation) et que les différences observées seraient corrélées à plusieurs facteurs d'influence naturels (paramètres physico-chimiques, habitats).

Ainsi, les différences observées au niveau des peuplements entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation ne sont pas attribuables à la présence du parc éolien en mer, plutôt à des facteurs d'influence naturels tels que les conditions physico-chimiques du milieu ou les habitats au sein desquels ont eu lieu les prélèvements.

Les captures de Homard sont plus faibles en phase d'exploitation que lors de l'état de référence ; cette évolution est la même pour les zones intérieur et extérieur du parc éolien pour cette espèce, ce qui exclut l'éventualité d'un effet réserve.

La diminution des captures par espèce constatées dans les prélèvements du suivi en phase d'exploitation s'inscrit dans un contexte plus général de diminution des captures par la pêche professionnelle au-delà de l'aire d'étude. C'est le cas de l'Étrille, dont les ventes en criée ont chuté depuis des années, traduisant une diminution de la disponibilité de cette ressource. Les ventes d'Araignée sous criée sont équivalentes à celles des années précédant la construction du parc éolien en mer. La diminution des captures pendant le suivi en phase d'exploitation traduit donc plutôt une non-fréquentation du site par une ressource tout aussi abondante. Quant aux captures plus faibles du Homard en phase d'exploitation, elles sont cohérentes avec la récente diminution des apports de la pêche professionnelle. L'influence de la forte augmentation de la population de Poulpe à l'échelle de la façade maritime peut constituer une piste de réflexion. Néanmoins elle n'a pas été constatée au moyen des prélèvements malgré quelques captures en raison de l'utilisation de casiers inadaptés pour capturer le Poulpe.

## 7.4 CAMPAGNES METIERS « PALANGRES À POISSONS »

### 7.4.1 INDICE DE DIVERSITÉ BIOLOGIQUE

Tableau 32: Indices de diversité moyens par mission

Année / Mission	S	H	J
<b>2019-2020</b>	2,7 ± 1,2	0,73 ± 0,4	0,69 ± 0,33
2019-04	3,2 ± 1,1	0,84 ± 0,37	0,71 ± 0,26
2019-09	2,3 ± 1	0,62 ± 0,4	0,67 ± 0,39
2020-01	2,2 ± 1,4	0,49 ± 0,47	0,52 ± 0,39
<b>2021</b>	2,2 ± 1,1	0,6 ± 0,43	0,63 ± 0,41
2021-05	2,5 ± 1,2	0,65 ± 0,43	0,64 ± 0,38
2021-09	1,7 ± 0,9	0,4 ± 0,43	0,47 ± 0,47
2021-12	2,3 ± 0,9	0,7 ± 0,36	0,76 ± 0,32
<b>2022</b>	2,6 ± 1,3	0,72 ± 0,47	0,67 ± 0,38
2022-06	3,1 ± 1,3	0,93 ± 0,4	0,82 ± 0,26
2022-09	2,1 ± 1,1	0,52 ± 0,46	0,53 ± 0,43
<b>2023</b>	3 ± 1,4	0,82 ± 0,45	0,73 ± 0,31
2023-05	3,8 ± 1,7	1,01 ± 0,53	0,72 ± 0,3
2023-09	2,2 ± 0,8	0,62 ± 0,36	0,7 ± 0,36
2023-12	2,8 ± 1	0,81 ± 0,35	0,77 ± 0,26

Les indices de diversité calculés par mission sont présentés dans le Tableau 32 et commentés ci-dessous.

- Indice de richesse spécifique (S)

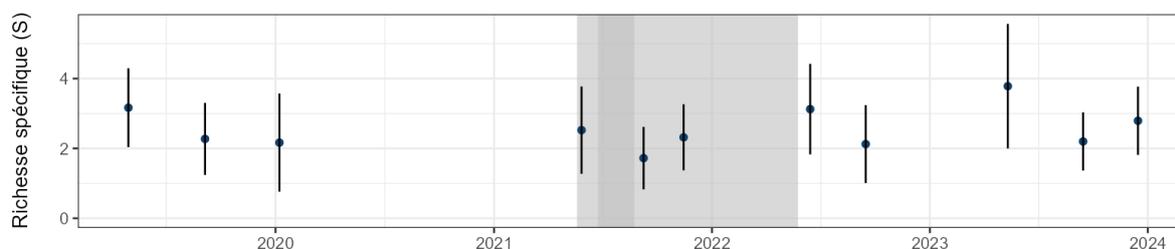


Figure 113 : Évolution de l'indice de richesse spécifique (S) au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

Pour l'ensemble des missions on remarque que cet indice est toujours compris entre 1,5 et 3,5. Compte-tenu de l'écart-type, il ne semble pas y avoir de différence notable de richesse spécifique moyenne entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation du parc éolien (two-way ANOVA –  $p = 0,159$ ).

La richesse spécifique est toujours plus élevée au printemps que lors des autres missions d'une même année.

- Indice de diversité biologique Shannon (H)

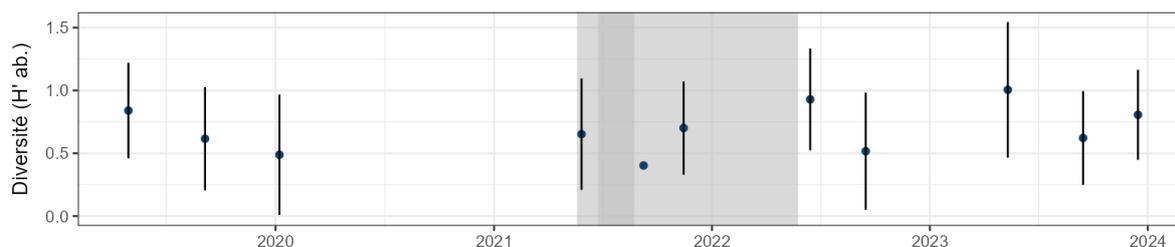


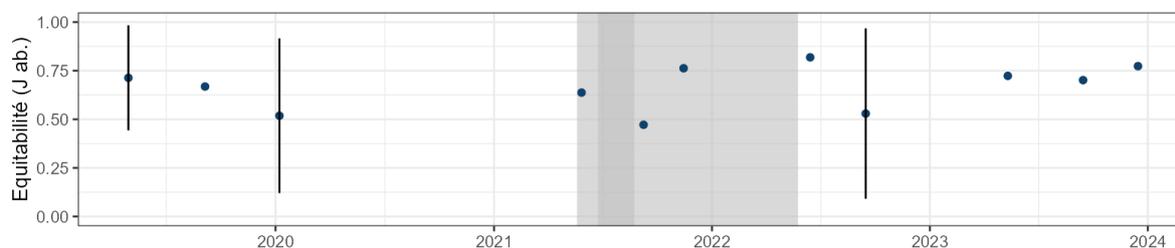
Figure 114 : Évolution de l'indice de diversité spécifique de Shannon (H) au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

L'indice de diversité biologique présente des valeurs comparables pendant tout le suivi.

Aucune différence significative n'est montrée via les tests statistiques réalisés entre missions sur cet indice. **Il n'y a pas de différence de diversité spécifique entre l'état de référence et le suivi en exploitation (two-way ANOVA - p = 0,078).**

- Indice d'équitabilité de Piélou (J)

Figure 115 : Évolution de l'indice d'équitabilité de Piélou (J) au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).



L'indice de diversité biologique présente des valeurs comparables pendant tout le suivi.

Aucune différence significative n'est montrée via les tests statistiques réalisés entre missions sur cet indice. **Il n'y a pas de différence d'équitabilité entre l'état de référence et le suivi en exploitation (two-way ANOVA - p = 0,247).**

**Les différents indices de diversité calculés pour les prélèvements à la palangre ne diffèrent pas entre l'état de référence et la phase d'exploitation du parc éolien en mer.**

### 7.4.2 FRÉQUENCE D'OCCURRENCE

Tableau 33: Fréquence d'occurrence moyenne (en % des prélèvements) des 7 espèces les plus fréquemment identifiées dans les prélèvements à la palangre.

Espèce	Nom commun	2019 2020	2021	2022	2023	2019-2023
<i>Pollachius pollachius</i>	Lieu Jaune	82	53	58	69	68
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar européen	42	68	46	79	59
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud Commun	50	35	65	69	54
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau commun	15	11	33	19	19
<i>Labrus bergylta</i>	Vieille commune	14	21	21	6	14
<i>Belone belone</i>	Orphie commune	21	10	8	7	12
<i>Conger conger</i>	Congre d'Europe	6	12	15	13	11

Le Tableau 33 montre que le Lieu Jaune, le Bar européen et le Tacaud commun sont les espèces les plus fréquemment capturées avec des valeurs de fréquence d'occurrence supérieures à 50 %. Le Maquereau commun, la Vieille commune, l'Orphie commune et le Congrès d'Europe présentent des fréquences comprises entre 11 et 19 %. Le reste des espèces prélevées ont une fréquence d'occurrence de moins de 10% et sont considérées comme accidentelles, elles ne sont pas présentées dans les résultats.

La tendance globale pour ces 7 espèces en termes de fréquence d'occurrence est à l'augmentation en comparaison avec l'état de référence ; il est toutefois à noter la relative diminution de la fréquence d'occurrence du Lieu jaune, de la Vieille commune et de l'Orphie commune.

### 7.4.3 ABONDANCE

#### 7.4.3.1 Par mission

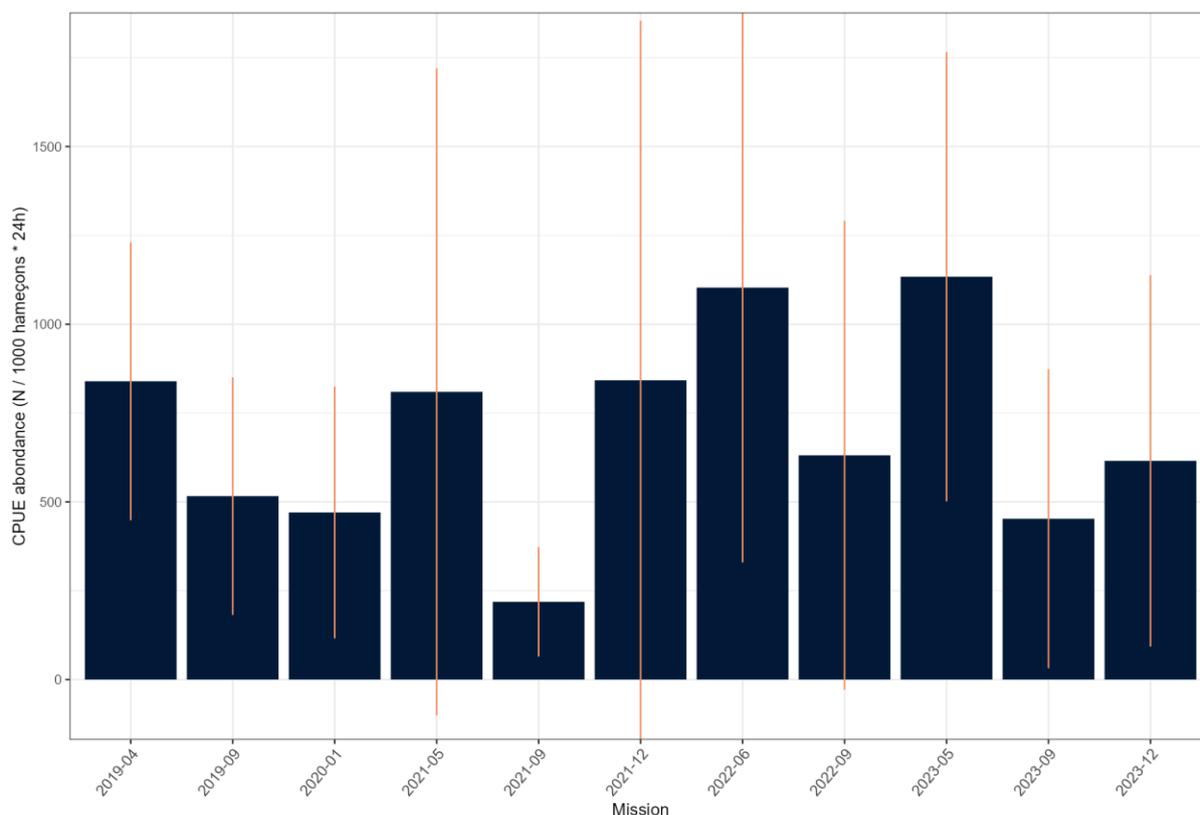


Figure 116 : Abondance des espèces prélevées à la palangre par mission.

Les CPUE calculées pour l'état de référence (2019-2020) sont généralement plus importantes au printemps, qu'en automne / hiver. C'est également le cas lors du suivi en phase d'exploitation et lors du suivi en phase de travaux.

Les CPUE les plus élevées sont constatées au mois de mai 2023 (phase d'exploitation).

Les abondances moyennes de plusieurs missions sont significativement différentes, elles traduisent principalement les différences saisonnières d'abondance totale. Par exemple, 2023-05 (phase d'exploitation) sont significativement différentes en termes d'abondance totale ( $p = 0,0415$ ) alors que 2019-04 (mois d'avril de l'état de référence) et 2023-05 (mai du suivi phase d'exploitaton) sont identiques statistiquement parlant ( $p = 1$ ). Il n'y a pas de différence significative entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation, sur la base des CPUE moyennes par mission. L'analyse de

variance (two-way ANOVA) de la moyenne des abondances entre état de référence et suivi en phase d'exploitation confirme cette observation ( $p = 0,393$ ).

#### 7.4.3.2 Par zone

L'analyse statistique Il n'y pas de différence significative par zone entre les études d'état de référence et en exploitation (two-way ANOVA,  $p = 6,65.10^{-3}$  mais Tukey HSD - Intérieur,  $p = 1$  – Extérieur,  $p = 0,71$ ).

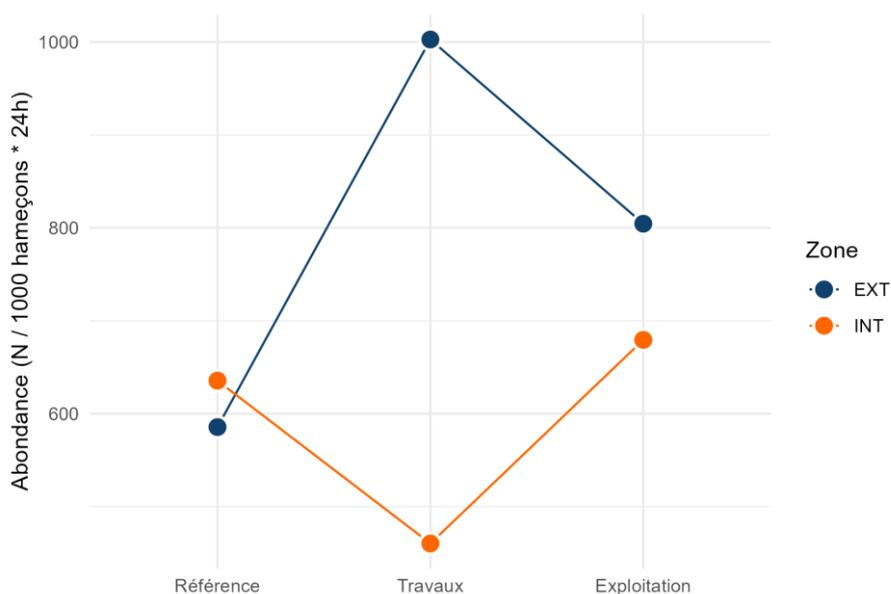


Figure 117: Abondance moyenne par zone, pour chaque étude réalisée (Etat de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

L'abondance moyenne est identique dans les deux zones lors de l'état de référence et présente des valeurs similaires lors du suivi en phase d'exploitation. Aucune différence n'est démontrée entre ces deux études. La différence indiquée par le test statistique provient plutôt d'une différence très importante entre intérieur et extérieur lors du suivi en phase de construction.

Cette observation pourrait aller dans le sens de l'hypothèse selon laquelle les individus fuiraient la zone proche des travaux lors de la construction et reviendraient fréquenter cette zone une fois les travaux terminés et le parc éolien opérationnel.

#### 7.4.4 CPUE

Les valeurs calculées de CPUE par espèce pour chacune des missions des études d'état de référence et de suivi sont présentées en Annexe.

Les CPUE par prélèvement sont représentées sous forme de cartes (Figure 87 et Figure 88) afin de :

- Visualiser la répartition et les variations de CPUE dans l'espace et le temps ;
- Illustrer l'effet de l'habitat sur les niveaux de CPUE.

Seuls l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation sont représentés, car c'est cette comparaison qui est l'objet du rapport.

Les CPUE sont du même ordre de grandeur entre les missions 2019-04 et 2019-09, sauf pour les stations situées dans la partie Est de l'aire du parc éolien en mer ; en effet elles sont plus importantes en avril qu'en septembre dans cette partie de la zone.

Les CPUE de de la mission 2020-01 sont équivalentes à celles des missions précédentes en ce qui concerne les stations situées dans l'aire du parc éolien ; en revanche, celles situées au Nord-Ouest présentent des CPUE plus faibles que précédemment dans la même zone.

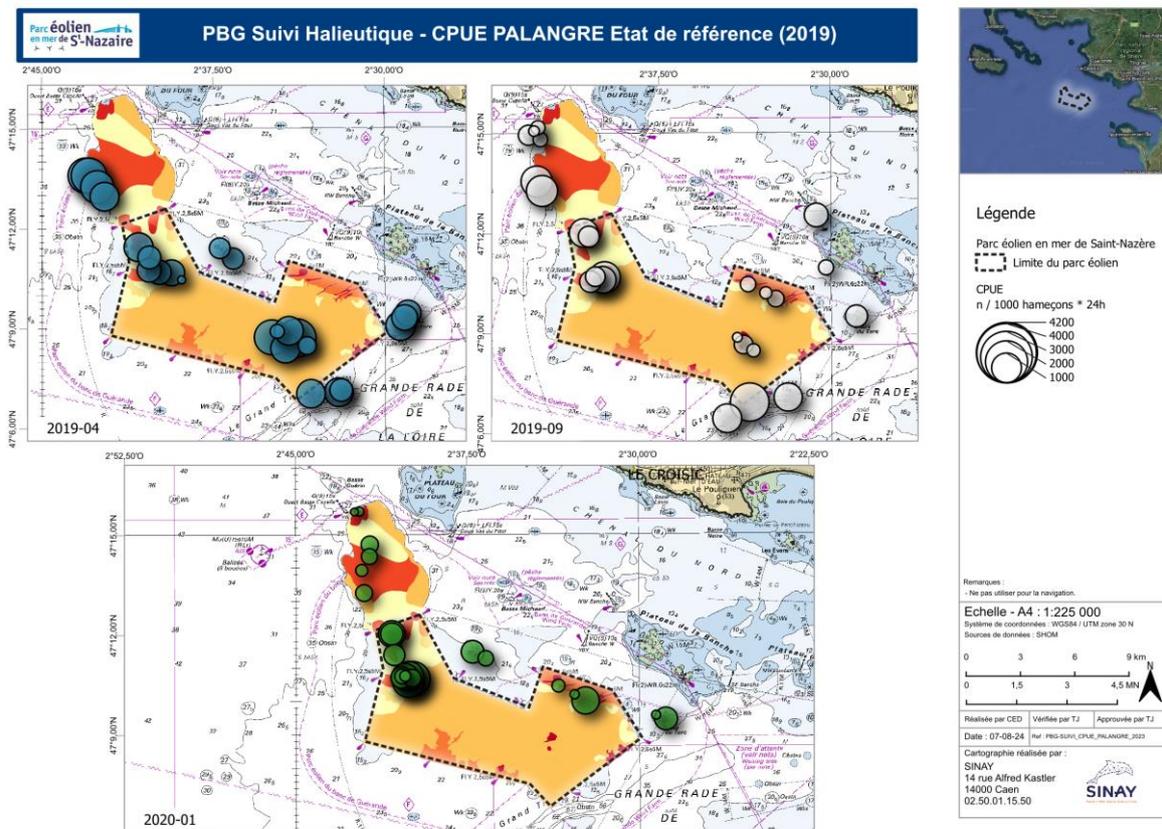


Figure 118 : Carte des CPUE palangre (n/1 000 hameçons\*24h) en 2019 lors de l'étude de l'état de référence. Pour la légende des habitats, se référer à la Figure 3 (p. 24).

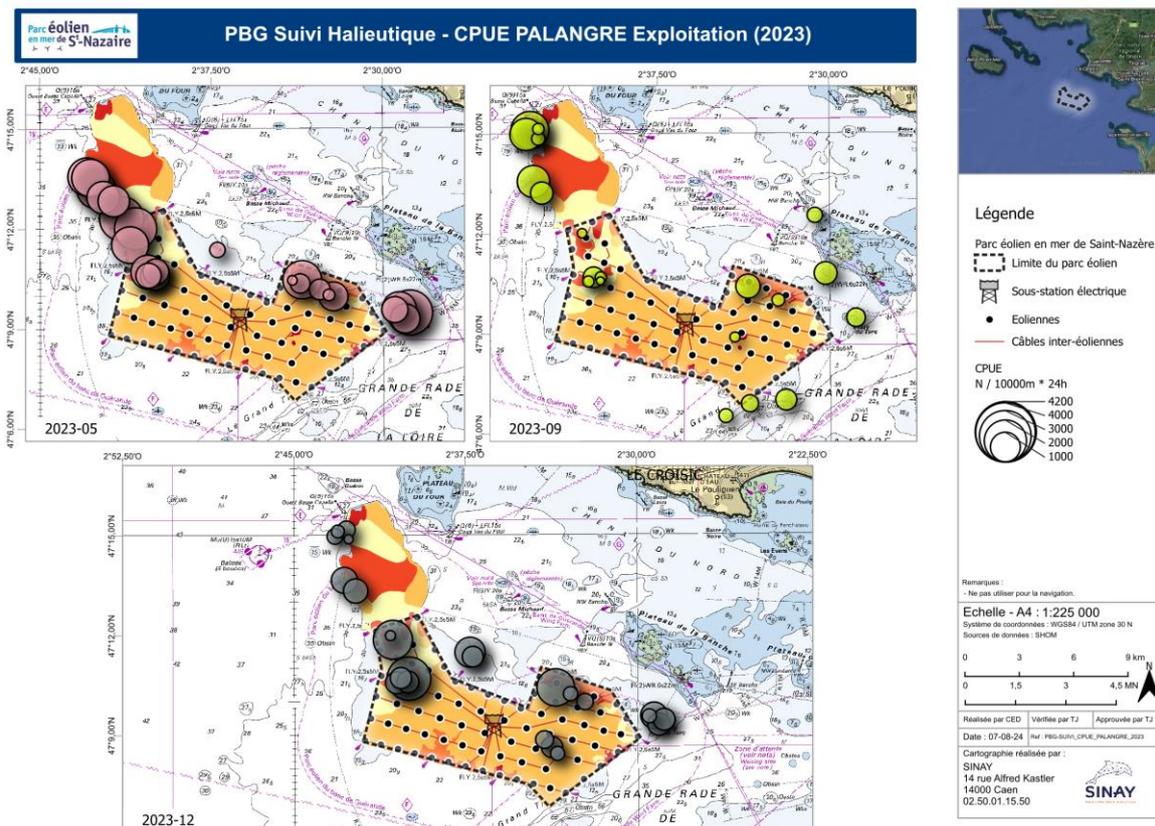


Figure 119: Carte des CPUE palangre (n/1 000 hameçons\*24h) lors du suivi en phase d'exploitation. Pour la légende des habitats, se référer à la Figure 3 (p. 24).

La Figure 119 montre bien la variabilité intra-annuelle (entre les missions d'une même année) ainsi que la variabilité spatiale au cours d'une même mission. Pour chaque mission, la répartition des CPUE semble différente, les plus importantes pouvant être alternativement plutôt à l'extérieur du parc (2023-09), à l'intérieur (2023-12) ou bien réparties de manière plus homogène à l'échelle de l'ensemble des prélèvements (2023-06).

Il semble difficile de trouver des différences entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation.

### 7.4.5 ASSEMBLAGE DES ESPÈCES

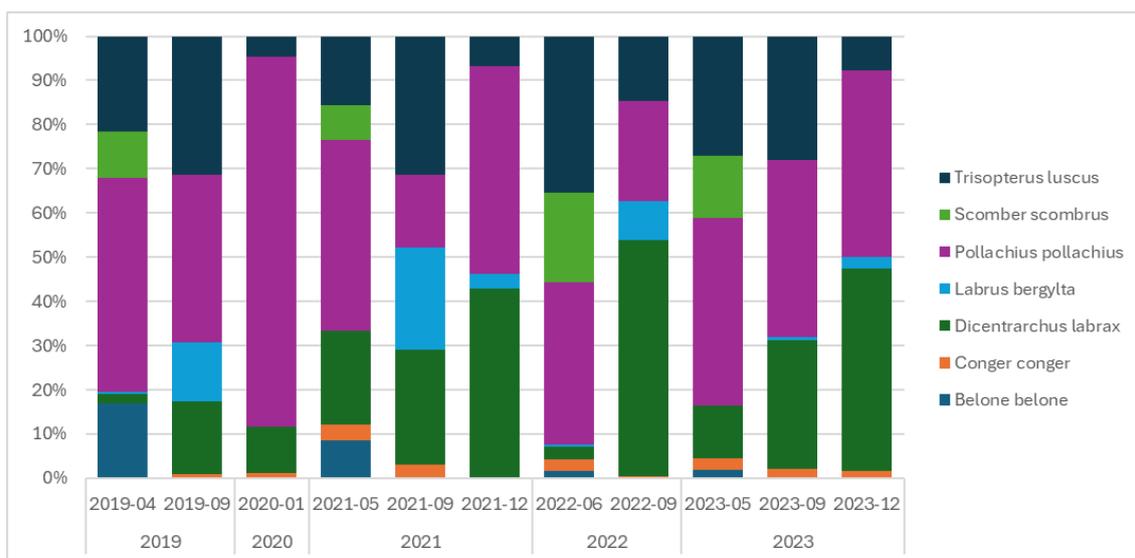


Figure 120 : Assemblage des 7 espèces les plus fréquemment observées, par mission en pourcentage de CPUE.

La Figure 120 montre que les trois espèces les plus fréquentes sont également les plus représentées en proportion. La proportion du bar est globalement en hausse au cours des suivis et supérieure à celle constatée pendant l'état de référence.

La composition en espèces est la même d'une année à l'autre, avec des différences observables par saison :

- Au printemps, présence d'Orphie et de Maquereau commun, avec prédominance de Lieu jaune ;
- En septembre, une proportion réduite du Lieu jaune au profit du Bar, du tacaud et de la Vieille ;
- En décembre, prépondérance du Lieu jaune et du Bar, faible abondance du tacaud et de la Vieille.

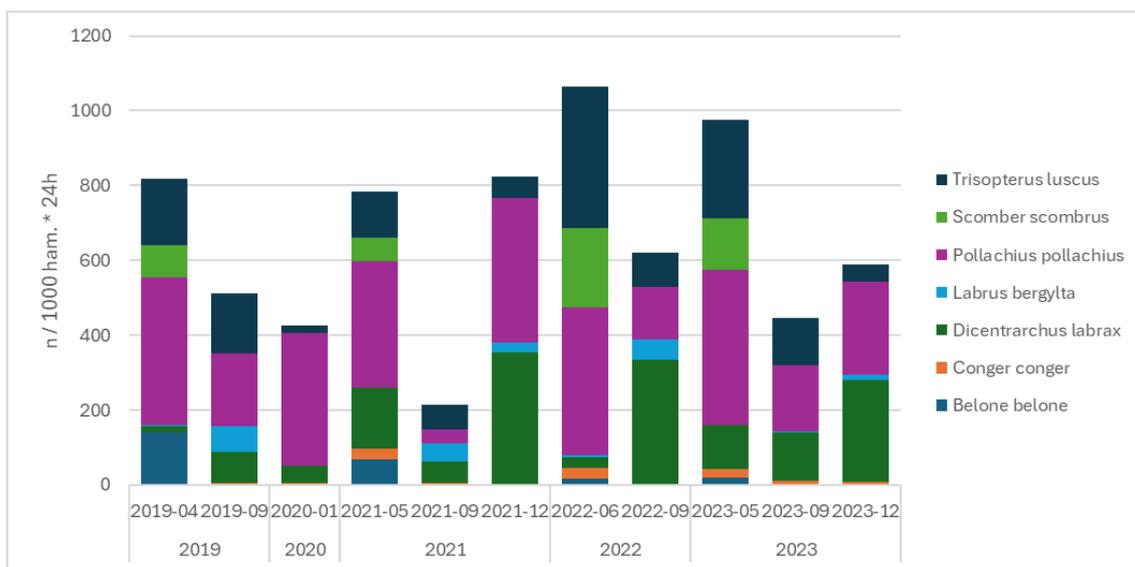


Figure 121 : CPUE des 7 espèces principales par mission (en n/1000 hameçons\*24h).

D'un point de vue général le Lieu Jaune (41,51 %), le Tacaud Commun (19,78 %) et le Bar européen (19,62 %) représentent 80,91 % des abondances de capture par espèce. Le Maquereau commun,

l'Orphie commune, la Vieille commune et le Congre d'Europe montrent des valeurs comprises entre 1 et 7 %. Les dix autres espèces affichent des valeurs inférieures à 0,75 %.

Le Bar semble être plus abondant pour une partie des suivis par rapport à l'état de référence. Pour cette espèce, le facteur « mission » est effectivement significatif ( $p = 0,0003$ ), cependant les différences inter-missions ne permettent pas de montrer de différence entre état de référence et suivi en phase d'exploitation. Une différence significative existe entre 2023-12 et 2019-04.

Les CPUE de Lieu Jaune semblent plus importantes au printemps et en hiver, moins au mois de septembre. Aucune différence n'est observable entre l'état de référence et les suivis en phase de travaux et en phase d'exploitation pour cette espèce ; cette affirmation est confirmée par les tests statistiques, qui indiquent que le facteur « mission » est significatif, mais qu'aucune différence significative entre missions n'est identifiable.

Les captures de Tcaud sont équivalentes pour l'état de référence et le suivi en phase de construction. Un maximum d'abondance est observé en mai 2022. Pour cette espèce, le facteur « mission » est effectivement significatif ( $p = 0,0003$ ), cependant, les différences inter-missions ne permettent pas de montrer de différence entre état de référence et suivi en phase d'exploitation. La significativité existe entre 2023-05 et 2020-01 ( $p = 0,00547$ ) ainsi qu'entre 2023-12 et 2022-06 et 2023-05 ( $p = 0,01035$  et  $0,00017$ ).

### 7.4.6 ÉTUDE MONOSPÉCIFIQUE

- Le Bar

La Figure 122 montre que le Bar est capturé en quantités plus importantes selon les CPUE lors du suivi en phase de travaux que lors de l'état de référence. Des différences significatives entre CPUE par mission sont constatées : la mission 2023-12 est significativement différente de la mission 2019-04 ; les captures de bar en décembre 2023 (phase d'exploitation) sont significativement plus élevées qu'en avril 2019 (état de référence).

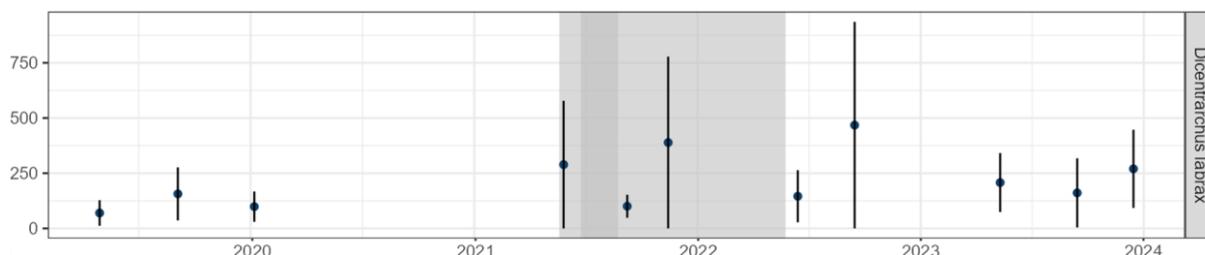


Figure 122 : Évolution des CPUE (n/1000 hameçons \* 24h) des bars au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

Dans le cadre de l'analyse statistique pour l'ensemble des CPUE par phase d'étude, aucune différence significative n'est démontrée entre l'état de référence et le suivi en exploitation pour le bar (two-way ANOVA,  $p = 0,01$  mais Tukey HSD,  $p = 0,34$ ).



Figure 123 : Abondance moyenne du Bar par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

Au cours de l'exploitation du parc, la valeur de l'abondance du Bar est supérieure à l'extérieur et à l'intérieur du parc (Figure 123), comparée à celle de l'état de référence, cependant, l'analyse de variance de l'abondance totale de Bar par étude ne montre pas de différence significative par zone entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation (two-way ANOVA,  $p = 0,03$  mais Tukey HSD-Intérieur,  $p = 0,97$  – Extérieur,  $p = 0,89$ ).

Les tailles moyennes de Bar sont présentées dans le Tableau 34.

Tableau 34 : Synthèse des tailles (mm) relevées du bar au cours des missions.

Dicentrarchus labrax	Taille moy. (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Effectif
2019	491 ± 96			48

2019-04	445 ± 88	360	630	6
2019-09	498 ± 95	370	760	42
<b>2020</b>	<b>483 ± 72</b>			<b>18</b>
2020-01	483 ± 72	390	710	18
<b>2021</b>	<b>504 ± 92</b>			<b>97</b>
2021-05	534 ± 124	310	770	28
2021-09	534 ± 83	430	710	11
2021-12	484 ± 66	390	780	58
<b>2022</b>	<b>490 ± 84</b>			<b>64</b>
2022-06	544 ± 118	360	660	7
2022-09	484 ± 76	350	700	57
<b>2023</b>	<b>476 ± 78</b>			<b>132</b>
2023-05	497 ± 95	370	730	23
2023-09	474 ± 76	390	670	36
2023-12	470 ± 72	340	730	73
<b>2019-2023</b>	<b>488 ± 86</b>			<b>359</b>

La taille moyenne des bars prélevés est de 488 mm (Tableau 34). Aucune différence ne peut être caractérisée entre les résultats des périodes de suivi et ceux de l'état de référence.

La structure de population présentée en Figure 124 indique que la répartition en taille est la même entre l'état de référence (2019) et le suivi en phase d'exploitation (2023). Néanmoins, les effectifs des différentes cohortes sont supérieurs en phase d'exploitation en comparaison avec ceux de l'état de référence.

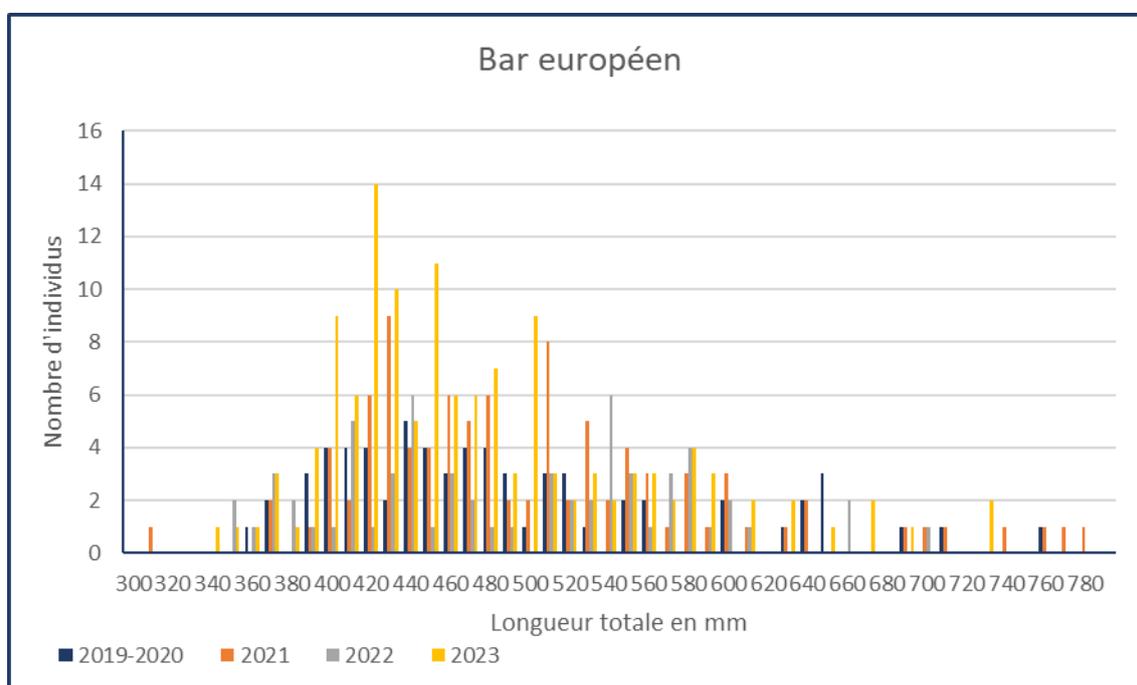


Figure 124: Structure de population des bars prélevés pendant la période 2019-2023.



- Le Lieu Jaune

La Figure 125 montre que le Lieu est présent en quantités équivalentes tout au long des études et qu'aucune différence entre l'état de référence et le suivi en phase de construction n'est détectée. Chaque année étudiée, le mois de septembre montre des CPUE plus faibles que les autres pour cette espèce. On note toutefois des CPUE plus faibles au mois de septembre 2021. Un effet d'effarouchement des Lieus a pu survenir du fait des travaux d'installation.

Il n'y a pas de différence significative entre les CPUE de Lieu jaune de l'état de référence et celles du suivi en exploitation (two-way ANOVA,  $p = 0,63$ ).

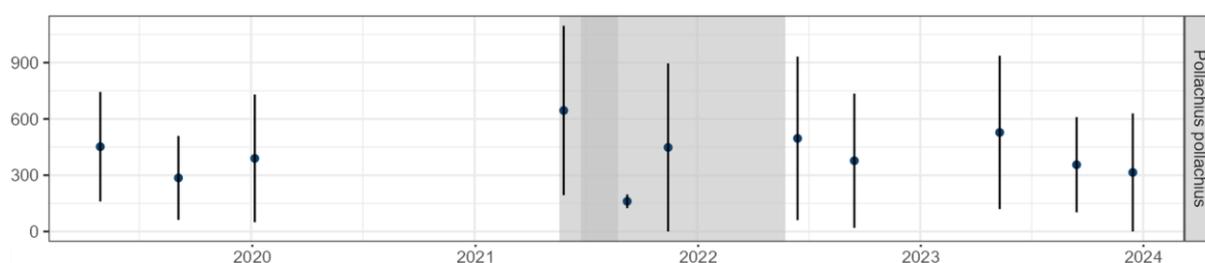


Figure 125 : Évolution des CPUE (n/1000 hameçons \* 24h) des lieux jaunes au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

La Figure 126 ci-dessous indique que globalement, l'abondance moyenne de Lieu jaune diminue en zone extérieure et augmente en zone intérieure, entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation. L'analyse de variance n'indique cependant aucune différence significative entre les deux études sur le plan de l'abondance moyenne par zone (two-way ANOVA,  $p = 0,17$ ).

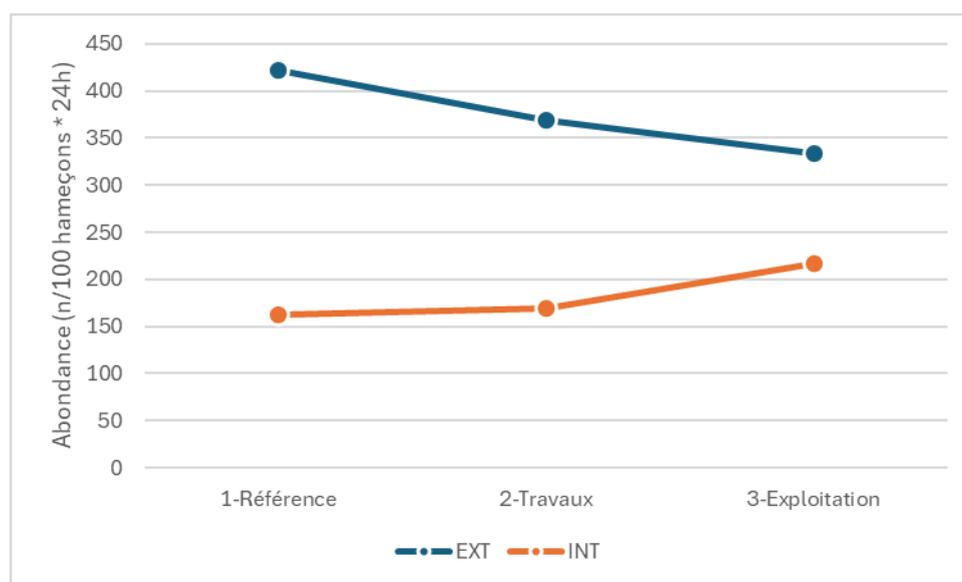


Figure 126 : Abondance moyenne du Lieu jaune par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

Comme indiqué en 7.2.6, l'espèce, dont la ressource diminue à l'échelle de la façade maritime (Figure 71, p.103), est sensible à l'exploitation par la pêche professionnelle et de loisir et aux atteintes du milieu naturel. La ressource disponible et vendue en criée du Croisic est en forte diminution depuis 1994. Bien que les ventes en criée soient affectées par de nombreux facteurs et ne reflètent pas directement l'état d'une population, les faibles prélèvements peuvent être partiellement corrélés à cette faible disponibilité. Entre 1994 et 2023 le poids de Lieu jaune vendu est divisé par 4 en passant de 100 000 kg à 25 000 kg.

Tableau 35 : Synthèse des tailles (mm) relevées du Lieu au cours des missions.

<i>Pollachius pollachius</i>	Taille moy. (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Effectif
2019	414 ± 86			213
2019-04	393 ± 72	210	580	145
2019-09	460 ± 95	320	790	68
2020	461 ± 81			136
2020-01	461 ± 81	330	840	136
2021	467 ± 97			141
2021-05	436 ± 89	260	690	70
2021-09	623 ± 126	470	800	6
2021-12	487 ± 81	360	730	65
2022	348 ± 97			85
2022-06	304 ± 64	220	520	60
2022-09	452 ± 83	330	730	25
2023	449 ± 96			183
2023-05	434 ± 101	260	710	87
2023-09	471 ± 99	340	760	45
2023-12	456 ± 82	250	660	51
2019-2023	433 ± 98			758

La taille moyenne des Lieus jaunes prélevés est de 433,00 mm (Tableau 35).

Les Lieus jaunes prélevés sont généralement plus grands à l'automne qu'au printemps ; le site du Banc de Guérande constitue une zone de nourricerie pour cette espèce, les juvéniles exploitent ce secteur pour assurer leur croissance au cours de l'année.

La taille minimale légale de capture est de 270 mm pour le Lieu jaune. Les individus prélevés à la palangre sont très majoritairement adultes, avec la présence occasionnelle de quelques juvéniles.

La structure de population présentée en Figure 127 indique que la répartition en taille est la même entre l'état de référence (2019) et le suivi en phase d'exploitation (2023). Néanmoins, les effectifs des différentes cohortes sont inférieurs lors du suivi en phase d'exploitation (et pendant les travaux) en comparaison avec ceux de l'état de référence. Cette situation est particulièrement remarquable pour les pics de l'ordre de 25 individus de 380 mm et 500 mm pendant l'état de référence. Ces effectifs restent faibles.

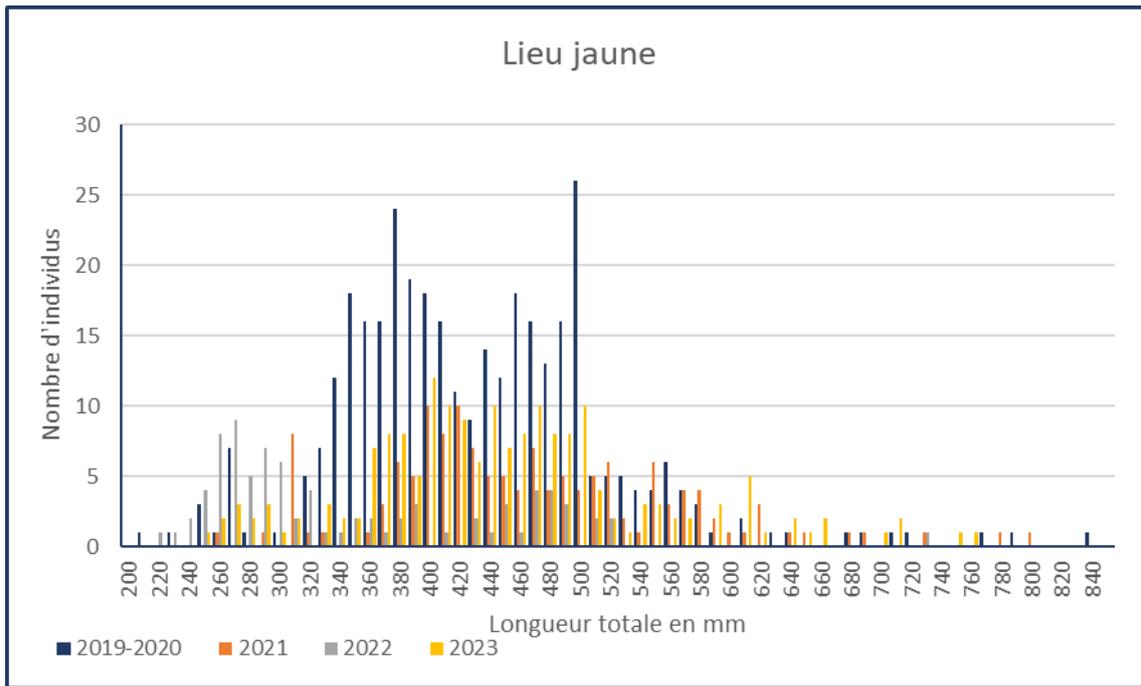


Figure 127: Structure de population des lieux jaunes prélevés sur la période 2019-2023.

- Le Tacaud commun

La Figure 128 montre que le Tacaud est présent en quantités équivalentes tout au long des études et qu'aucune différence entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation n'est détectée (two-way ANOVA,  $p = 0,18$ ).

Les dernières observations de 2023 sont inférieures à la première et du même ordre de grandeur que celles de l'état de référence (250 individus/1000hameçons\*24h). La valeur finale du suivi de l'état de référence semble également inférieure aux précédentes. Il est considéré que les résultats en phase d'exploitation sont similaires à ceux de l'état de référence.

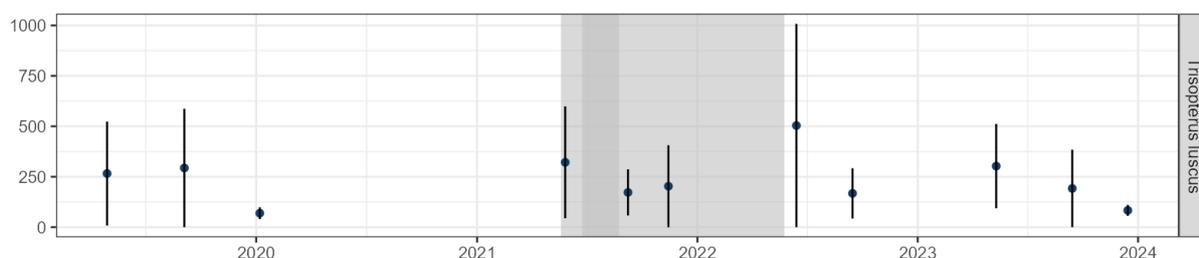


Figure 128 : Évolution des CPUE (n/1000 hameçons \* 24h) des Tacauds au fil des missions. Les périodes de travaux sont présentées en gris (préparation de sol en foncé).

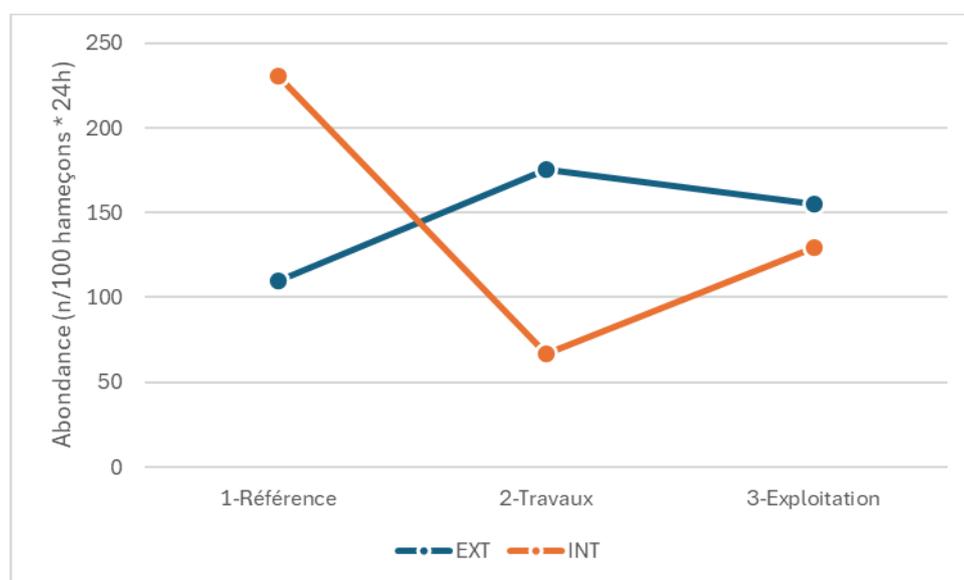


Figure 129 : Abondance moyenne du Tacaud par zone, pour chaque étude réalisée (État de référence, Suivi en travaux, Suivi en exploitation).

Lors du suivi en phase d'exploitation, la valeur de l'abondance du Tacaud est inférieure à l'extérieur et à l'intérieur du parc en comparaison avec l'état de référence (Figure 129). En termes statistiques cependant, aucune différence significative n'est détectée entre les valeurs de CPUE de Tacaud par zone de l'état de référence et du suivi en exploitation (two-way ANOVA,  $p = 1,8.10^{-3}$  mais Tukey HSD - Intérieur,  $p = 0,92$  – Extérieur,  $p = 1$ ).

La taille moyenne des Tacauds prélevés au cours des 11 missions est de 258 mm (Tableau 36).

Tableau 36 : Synthèse des tailles (mm) relevées du Tacaud commun au cours des missions.

Trisopterus luscus	Taille moy. (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Effectif
2019	261 ± 41			86
2019-04	243 ± 30	190	300	50

2019-09	285 ± 42	200	370	36
2020	258 ± 33			8
2020-01	258 ± 33	210	300	8
2021	263 ± 40			39
2021-05	250 ± 37	170	300	17
2021-09	286 ± 24	230	320	14
2021-12	251 ± 49	150	300	8
2022	238 ± 34			71
2022-06	228 ± 31	160	310	51
2022-09	263 ± 28	190	310	20
2023	267 ± 37			98
2023-05	254 ± 33	190	340	54
2023-09	283 ± 39	210	350	30
2023-12	281 ± 32	220	340	14
2019-2023	258 ± 40			302

Les tacauds prélevés sont généralement plus grands à l'automne qu'au printemps ; le site Banc de Guérande constitue une zone de nurserie pour cette espèce, les juvéniles croissent au cours de l'année.

La Figure 130 montre que le Tacaud commun est généralement présent en quantités équivalentes pendant toutes les phases du suivi avec un pic à 14 individus de 240 mm en 2022. Les effectifs capturés sont trop peu importants pour caractériser des différences entre les périodes de suivi.

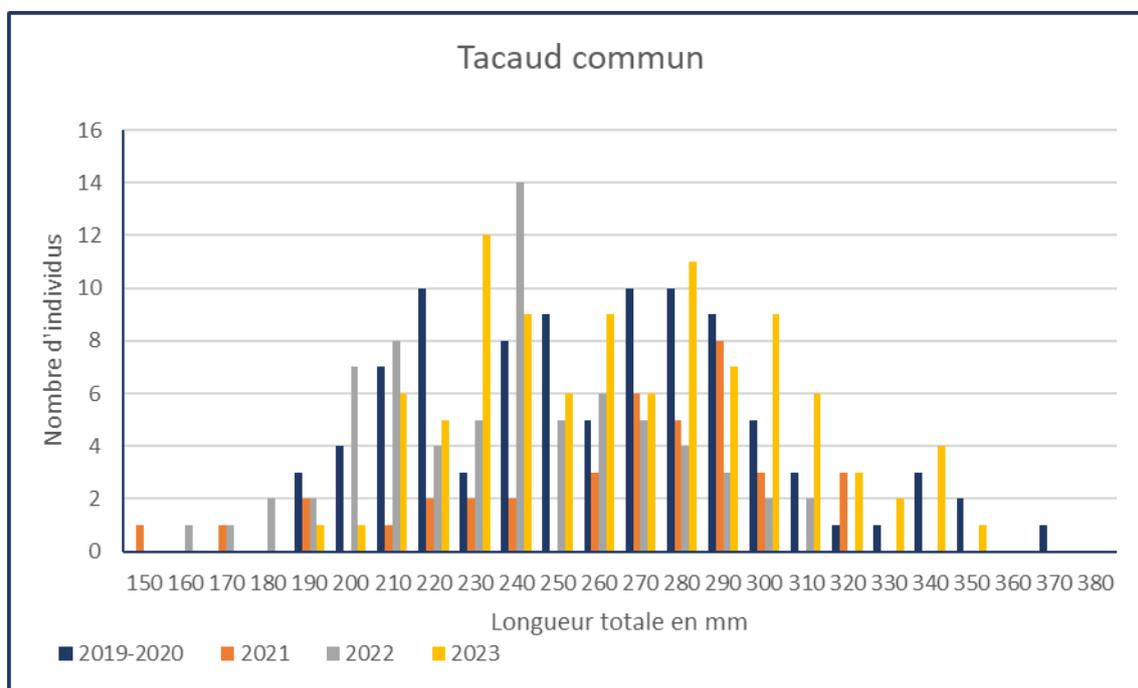


Figure 130 : Structure de population du Tacaud commun observées pendant la période 2019-2023.

### 7.4.7 ANALYSE MULTIVARIÉE

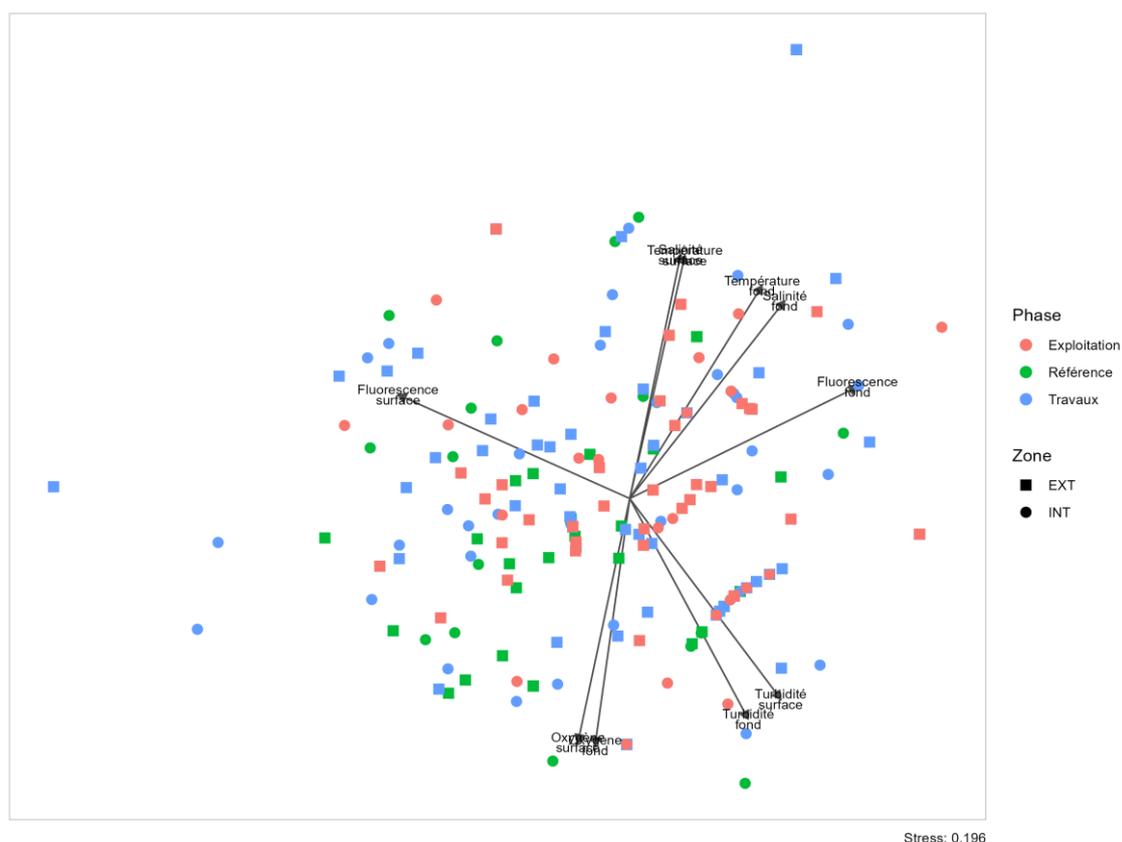


Figure 131 : Résultats de l'analyse multivariée (nMDS) réalisée à partir des données de captures à la palangre entre 2019 et 2023.

Les points correspondent à toutes les stations échantillonnées pendant 11 campagnes à l'intérieur et à l'extérieur du parc entre avril 2019 et septembre 2023. Ils sont répartis de façon homogène dans l'ensemble du plan en fonction des valeurs de température, salinité, turbidité, oxygène, fluorescence en surface et au fond de la colonne d'eau, du type d'habitat (« sédiment », « roche », « roche avec couverture algale »).

Un léger gradient (en diagonale dans le plan) se distingue pour les températures de surface et de fond ainsi que pour les salinités de surface et de fond. Dans le cas des turbidités de surface et de fond, certaines stations montrent un regroupement à droite, au centre avec d'autres stations dont la distribution est plus largement répartie dans le plan. Le type d'habitat n'influence pas les captures et aucun impact ne tend à se distinguer clairement.

**En phase d'exploitation, aucun effet de la présence du parc éolien sur la composition des peuplements halieutiques capturés à la palangre n'est clairement caractérisé.**

### 7.4.8 SYNTHÈSE DES COMPARAISONS DES RÉSULTATS DE SUIVI EN PHASE D'EXPLOITATION AVEC CEUX DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE DES CAMPAGNES « PALANGRE À POISSONS »

Les espèces caractéristiques des captures sont le Lieu Jaune, le Bar européen et le Tacaud présents dans plus de la moitié des peuplements au cours du suivi.

**En résumé, pour les captures à la palangre à poissons :**

- Aucune différence des indices de diversité n'est détectée entre l'état de référence et la phase d'exploitation ;

- Les espèces principales sont aussi abondantes et réparties de la même manière lors de l'état de référence et en phase d'exploitation ;
- Aucune différence particulière n'est remarquée entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation. La répartition des peuplements, faiblement différenciés, semble principalement liée à des paramètres environnementaux.
- Le suivi en phase d'exploitation n'indique pas que la présence du parc éolien en mer modifie la composition des peuplements observés à l'aide de palangres, ni les niveaux de capture totale ou par espèce.

## 8 SYNTHÈSE ET CONCLUSION

### 8.1 QUALITÉ DE L'EAU LORS DES CAMPAGNES

Les valeurs des paramètres physico-chimiques relevées dans la colonne d'eau durant l'état de référence et la phase d'exploitation sont similaires à l'exception de la fluorescence au printemps qui est plus élevée en phase d'exploitation. La zone d'étude ne semble pas avoir été impactée par des variations interannuelles marquées même si de légères variations sont observées. Celles-ci sont essentiellement liées aux apports d'eau de l'estuaire de la Loire et aux variations de température. Certaines stations sont par ailleurs plus impactées en raison de leur proximité avec l'estuaire de la Loire et par conséquent les apports en eau saumâtre.

**Aucune variation interannuelle des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau n'est fortement marquée. Les variations de la température atmosphérique chaque année, ainsi que de la pluviométrie jouent des rôles importants en influençant directement la Loire et indirectement la zone étudiée. Les exceptions (valeurs plus hautes ou plus basses d'un paramètre) pouvant apparaître en lien avec les paramètres de certaines stations (comme la station la plus à l'Est des campagnes de prélèvements de zooplancton) s'expliquent par leur proximité avec l'estuaire de la Loire et par conséquent les apports en eau saumâtre et turbide.**

### 8.2 ICTHYO- ET ZOOPLANCTON – FONCTION FRAYÈRE

#### 8.2.1 ŒUFS DE POISSONS

**Aucune différence majeure en termes de diversité biologique n'a été observée entre les résultats de l'état de référence et ceux du suivi en phase d'exploitation.**

Les différences observées en termes d'assemblage d'espèces entre les campagnes 2019 et 2023 sont fortement liées aux variations d'abondance des œufs d'une seule espèce très largement majoritaire : le Rouquié (*Ctenolabrus rupestris*), elles-mêmes corrélées à la variabilité de paramètres naturels influencés par les conditions climatiques.

#### 8.2.2 LARVES

**Une différence de richesse spécifique moyenne est à noter entre le suivi 2023 (exploitation) et l'état de référence.** Un nombre moins important d'espèces a été prélevé.

**Les différences d'assemblage entre prélèvements ne semblent pas liées à l'absence ou la présence du parc éolien.**

**Les peuplements ne sont pas différents entre eux en raison de leur localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone du parc.**

Une influence saisonnière sur les peuplements est observée.

#### 8.2.3 AUTRE ZOOPLANCTON

Des différences importantes peuvent être observées par rapport à l'état de référence concernant cette partie du zooplancton ; cependant, **les différences observées ne peuvent pas être attribuées à la présence du parc éolien en mer.** Elles sont à la fois saisonnières et très liées à la présence ou absence d'un groupe pouvant être majoritaire et déterminant.

#### 8.2.4 FONCTION FRAYÈRE

À partir des observations formulées ci-dessus, **le suivi en phase d'exploitation ne semble pas mettre en évidence d'impact sur la fonction frayère pour les espèces résidentes du site.**

### 8.3 FILET À POISSONS ET CRUSTACÉS

La comparaison des résultats de l'état de référence et des suivis en phase d'exploitation indique que les abondances spécifiques calculées sont inférieures en 2023 alors qu'elles sont fortes ou moyennes lors de l'état de référence. La diversité et l'équitabilité spécifiques évoluent peu entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation.

Les espèces caractéristiques des captures au filet sont La Vieille commune et le Tacaud Commun omniprésents dans les prélèvements. La Petite roussette est présente dans 42 % de ces derniers.

- Une réduction de la fréquence d'occurrence d'une partie des espèces prélevées est observée, par rapport à l'état de référence.
- Une diminution de l'abondance générale est observée après l'état de référence et les valeurs les plus faibles sont mesurées en 2023 (en phase d'exploitation), avec des différences significatives par rapport à l'état de référence.

Les différences observées ne peuvent en l'état être imputées directement à la présence du parc éolien en fonctionnement. En effet, l'analyse multivariée démontre que les différences de peuplement observées semblent principalement associées à la variation des paramètres environnementaux dans le temps.

#### 8.4 CASIER À CRUSTACÉS

L'analyse des résultats des prélèvements effectués au casier montre :

**Des abondances totales réduites au cours des suivis**, sauf lorsqu'un prélèvement ciblé de Tourteau est effectué (2023-07), auquel cas sa forte abondance dans un prélèvement augmente l'abondance moyenne pour la mission.

- Il n'y a pas de différence dans les indices de diversité calculés entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation ;
- Les peuplements de la phase d'exploitation sont différents de ceux de l'état de référence. L'Araignée de mer domine les peuplements avant les travaux et le Homard et le Tourteau dominent ceux du suivi en phase d'exploitation alors que l'Araignée de mer en a disparu ;
- L'analyse multivariée indique que les peuplements observés seraient propres à chaque étude (état de référence, suivi en phase d'exploitation) et que les différences observées seraient corrélées à plusieurs facteurs d'influence (paramètres physico-chimiques, habitats) ;

Les différences de CPUE totales observées seraient le plus souvent liées à un biais méthodologique associé à un changement de zone. En effet, à plusieurs reprises le plan d'échantillonnage a été adapté aux contraintes rencontrées, notamment entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation. Cela aurait notamment mené à observer de plus fortes abondances de Tourteau en fin de suivi que lors du reste des campagnes, car une zone propice à cette espèce à cette époque de l'année (juillet) a été échantillonnée.

#### 8.5 PALANGRE À POISSONS

Les espèces caractéristiques des captures sont le Lieu Jaune, le Bar européen et le Tacaud présents dans plus de la moitié des peuplements depuis l'état de référence.

En résumé, pour les captures à la palangre à poissons :

- Aucune différence des indices de diversité n'est détectée entre l'état de référence et la phase d'exploitation ;

Les espèces principales sont aussi abondantes et réparties de la même manière en état de référence et lors du suivi en phase d'exploitation ;

- **Aucune différence particulière n'est remarquée entre l'état de référence et le suivi en phase d'exploitation. La répartition des peuplements, faiblement différenciés, semble principalement liée à des paramètres environnementaux.**

## 8.6 CONCLUSION GÉNÉRALE

**Ce suivi n'a pas mis en exergue d'effet distinct de ceux des variations naturelles. Les différences observées peuvent être principalement imputées à des variations interannuelles et saisonnières de paramètres environnementaux liés à la température, la salinité, l'oxygénation et la turbidité de l'eau de mer.**

**Pour l'ensemble des campagnes, l'analyse (notamment analyse multivariée et analyse de variance) ne montre pas de différence notable entre la zone du parc éolien et la zone considérée comme témoin.**

**La période étudiée est étalée sur 4 ans, dont une année d'état de référence et une année de suivi en phase d'exploitation. Les différences observées n'étant pas majeures, il est peu probable qu'elles soient causées par la présence du parc éolien en mer. Ces observations sont appuyées par les conclusions de l'étude de Diverseaty (Dernouny, 2022) : les effets des parcs éoliens sur l'ichtyofaune (et les crustacés) sont limités dans le temps, localisés et principalement associés à la phase de construction.**

**La poursuite du suivi en phase d'exploitation devrait permettre de préciser les observations en lien avec la variabilité naturelle des peuplements et des conditions environnementales locales.**

## 9 BIBLIOGRAPHIE

- Abbès, R. (1991). Atlas des ressource(s) et des pêches françaises dans les mers européennes. (E. Ouest-France, Éd.) 99.
- Arbault, S., & Lacroix-Boutin, N. (1969, Juin). Egg-laying periods and sites of the teleostean fish of the Gulf of Gascony in 1965-1966 (eggs and larvae). *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes (0035-2276) (ISTPM)*, 1969-06, Vol. 33, N. 2, P. 181-202, pp. 181-202.
- Arbault, S., & Lacroix-Boutin, N. (1969). *Epoques et aires de ponte des poissons téléostéens du Golfe de Gascogne en 1965-1966 (oeufs et larves)*. Consulté le 11 21, 2019, sur <https://archimer.ifremer.fr/doc/1969/publication-3166.pdf>
- Auby, I., Lemoine, J., & De Montaudouin, X. (1995). *Schéma de Mise en Valeur de la Mer du Bassin d'Arcachon : ResSource(s) biologiques exploitables (invertébrés) Habitats et espèces présentant un intérêt particulier*.
- Bailey, H., Brookes, K. L., & Thompson, P. M. (2014). Assessing environmental impacts of offshore wind farms: lessons learned and recommendations for the future. *Aquatic Biosystems*, 10(8).
- Battacharya, C. (1967). A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics*(23), 115-135.
- Beck, M., Heck, Jr., K., Able, K., Childers, D., Eggleston, D., Gillanders, B., . . . Weinstein, M. (2001). The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates. *BioScience* 51(Aug 2001), 633-641.
- Benedetti-Cecchi, L. (2001). Beyond BACI: optimization of environmental sampling designs through monitoring and simulation. *Ecological Applications*, 11, 783-799.
- Bertrand, J., Brind'Amour, A., Cochard, m.-L., Coppin, F., Leaute, J.-P., Lorance, P., . . . Verin, Y. (2009). *Grands invertébrés et poissons observés par les campagnes scientifiques. Bilan 2007*.
- Blanchard, M., Heim, M., Rozec, X., & Caisey, X. (2008). Cartographie synthétique et analyse des peuplements benthiques sur deux secteurs du littoral français "Manche-Est" et "Loire-Gironde".
- Bouysson, P., Lesueur, P., & Klingebiel, A. (1986). *Carte des sédiments superficiels de la partie septentrionale du golfe de Gascogne au 1:500000*. Co-éditée par BRGM & IFREMER.
- Brind'Amour, A., Le Bris, H., Delaunau, D., Berthele, O., & Baudrier, J. (s.d.). *Rapport de campagne sur les nourriceries côtières : Campagne Nurse 2018*. Rapport intermédiaire.
- Carl, J., & Nielsen, B. (2014). *Horns Rev 3 offshore wind farm*. Technical report no. 6 - Commercial fisheries, Orbicon A/S.
- Casamajor, M.-N., & Rouyer, A. (2012). *Espèces halieutiques les plus vulnérables aux extractions de granulats marins*. Ifremer.
- Chassé, C., & Glémarec, M. (1976). *Atlas du littoral français : atlas des fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne : cartes biosédimentaires*.

- Chouvelon, T., Strady, E., Harmelin-Vivien, M., Radakovitch, O., Brach-Papa, C., Crochet, S., . . . Tronczynski, J. (2019). Patterns of trace metal bioaccumulation and trophic. *Marine Pollution Bulletin*, 1013-1030.
- CREOCEAN. (2014). *Parc Eolien en Mer de Saint Nazaire. Etude d'impact environnemental - Ressource halieutique. Version finale.*
- CREOCEAN. (2015). *Parc Eolien en Mer de Saint Nazaire. Etude d'impact environnemental - Ressource halieutique : résultats des campagnes en mer 2014.*
- CREOCEAN. (2015). *Parc Eolien en Mer de Saint Nazaire. Etude d'impact environnemental - Ressource halieutique : volet larves ichtyoplanctoniques - Bilan 2014.*
- Dauvin, J.-C. (2007). Paradox of estuarine quality: benthic indicators and indices, consensus or debate for the future. *Marine Pollution Bulletin- Volume 55, Issues 1-6, 2007*, 271-281.
- Delage, N., & Le Pape, O. (2016). *Inventaire des zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française. Première partie : définitions, critères d'importance et méthode pour déterminer des zones d'importance à protéger en priorité.* Rennes: AGROCAMPUS OUEST .
- Delpéch, J.-P., Mahe, K., Mehault, S., Rostiaux, E., Biais, G., Coppin, F., & Vaz, S. (2007). *Evaluation des ressources halieutiques par les campagnes scientifiques françaises - Façade "Manche-Est" et façade "Loire-Gironde".*
- Deniel, C. (1981). *Les Poissons plats (Téléostéens, Pleuronectiformes) en baie de Douarnenez : reproduction, croissance et migration des Bothidae, Scopthalmidae, Pleuronectidae et Soleidae..* Université de Bretagne occidentale, Brest.
- Dernouny, M. (2022). *Effets et impacts des parcs éoliens en mer sur l'ichtyofaune et les populations associées. Synthèse bibliographique des suivis écologiques des parcs éoliens opérationnels et contexte du parc éolien en mer du Calvados.* Eoliennes Offshore du Calvados.
- Desaunay, Y., Perodou, J.-B., & Beillois, P. (1981). Etude des nurseries de poissons du littoral de la Loire-Atlantique. *Science et Pêche*(319), 1-23.
- Doris FFESSM. (s.d.). *Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatiques.* Consulté le Février 2020, sur Doris : <https://doris.ffessm.fr/>
- DREAL Bretagne. (2013). Etat des lieux des poissons migrateurs et proposition de gestion. Dans *Plan de gestion des poissons migrateurs Bretagne 2013-2017.*
- Ebeling, A., & Laur, D. (1985). The influence of plant cover on surfperch abundance at an offshore temperate reef. *Environmental Biology - Fishes* 12, 169-179.
- Ehrenbaum, E. (1905). Eier und Larven von fischen. *Nordisches Plankton (Zool.)*, 1(4), 1-19.
- Elliot, M., & Quintino, V. (2007). The Estuarine Quality Paradox, Environmental Homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Marine Pollution Bulletin* 54 , 640-645.
- FISHBASE . (s.d.). 12/2019. Consulté le Février 2020, sur FISHBASE: <https://www.fishbase.se/search.php>

- FISHBASE : Froese, R.; Pauly, D. (s.d.). 12/2019. Consulté le Février 2020, sur FISHBASE:  
<https://www.fishbase.se/search.php>
- Fonds, M., Tanaka, M., & Van der Veer, H. (1995). Feeding and growth of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in relation to temperature and food supply. *Netherlands Journal of Sea Research - Volume 34, Issues 1-3*, 111-118.
- Forest, A. (2001). *ResSource(s)s halieutiques hors quotas du Nord Est Atlantique : bilan des connaissances et analyse de scénarios d'évolution de la gestion*. IFREMER.
- Fritsch, M. (2005). *Traits biologiques et exploitation du bar commun *Dicentrarchus labrax* (L.) dans les pêcheries françaises de la Manche et du golfe de Gascogne*. PhD Thesis, Université de Bretagne Occidentale.
- Fritsch, M., Morizur, Y., Lambert, E., Bonhomme, F., & Guinand, B. (2007). Assessment of sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) stock delimitation in the Bay of Biscay and the English Channel based on mark-recapture and genetic data. *Fisheries Research*(83 (2-3)), 123-132.
- Gibson, R. (1994). Impact of habitat quality and quantity on the recruitment of juvenile flatfishes.191-206. *Netherlands Journal of Sea Research, Volume 32, Issue 2*, 191-206.
- GIP Loire Estuaire. (2012). L'oxygène de l'eau. Dans G. L. Estuaire, *Cahier 2012 Indicateurs*. Nantes. Récupéré sur [https://www.loire-estuaire.org/upload/iedit/1/pj/43686\\_4081\\_L2A1\\_juil2012.pdf](https://www.loire-estuaire.org/upload/iedit/1/pj/43686_4081_L2A1_juil2012.pdf)
- Gray, M., Stromberg, P.-L., & Rodmell, D. (2016). *Changes to fishing practices around the UK as a result of the development of offshore windfarms - Phase I (revised)*. The Crown Estate.
- Green, R. (1979). *Sampling design and statistical methods for environmental biologists*.
- Groupeement d'Intérêt Public (GIP) Loire Estuaire. (2019). *Les poissons dans l'Estuaire de la Loire*. GIP Loire Estuaire. Récupéré sur <https://www.migrateurs-loire.fr/les-poissons-de-lestuaire-de-la-loire/>
- Guenault, D., Dorel, D., & Desaunau, Y. (1996). *Cartographie des nourriceries littorales de poissons du Golfe de Gascogne*. Rapport d'étude 95-L1-01-02.
- Guéroult, D., Dorel, D., & Desaunau, Y. (1996). *Cartographie des nourriceries littorales de poissons du Golfe de Gascogne*. Rapport d'étude 95-L1-01-02.
- Hamdi, A., Vasquez, M., & Populus, J. (s.d.). Cartographie des habitats physiques Eunis - Côtes de France. *Convention IFREMER/AAMP n° 09/12177764/FY*.
- Heral, M., Woehrling, D., Halgand, D., & Lassus, P. (1979). Utilisation du filet à plancton de type "Bongo". *ICES/EIFAC symposium on Eel Research and Management, Helsinki (Finland), 9 Jun 1976*. CIEM Conseil International pour l'Exploration de la mer.
- Houise, C. (1993). *Etude de la population du merlan (*Merlangius merlangus* L.) du golfe de Gascogne*. L'Houmeau: Ifremer .
- Huret, M., Petitgas, P., & Léger, F. (009). Potential responses of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) larval dispersal to climate change in the Bay of Biscay. *ICES Annual Science Conference. ICES CM 2009/E:08* . Nantes: Ifremer.

- ICES. (2006). *ICES Report of the Working Group on Marine Habitat Mapping (WGMHM), 4-7 April 2006*. Galway, Ireland.
- 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*. Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer.
- Ifremer. (2019). *Données des campagnes de surveillance halieutique de l'Ifremer*. Récupéré sur <http://www.ifremer.fr/SIH-indices-campagnes/>
- IFREMER/BRGM. (2007). Carte des sédiments superficiels de la partie septentrionale du golfe de Gascogne au 1:500000, d'après Bouysse P., Lesueur P. et Klingebiel A., 1986.
- Ifremer-Université-CNRS. (2009). Produit numérique REBENT Ifremer-Université-CNRS, 2009 ; Source Chassé C., Glémarec M., Atlas des fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne : cartes biosédimentaires, 1976.
- Jacoby, D., & Gollock, M. (2014). *Anguilla anguilla*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T60344A45833138* <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T60344A45833138.en>.
- Kacher, M. (2004). *The hake of the bay of Biscay and the celtic sea: Growth, spatial and bathymetric distribution, Ecology of diet and assemblages*. Dunkerque: Université du Littoral Côte d'Opale.
- Kélig, M., Delpech, J.-P., & Carpentier, A. (2006). *Synthèse bibliographique des principales espèces de Manche orientale et du golfe de Gascogne*. Boulogne sur mer: Ifremer.
- Kopp, D., Le Bris, H., Grimaud, L., Nerot, C., & Brind'Amour, A. (2013). Spatial analysis of the trophic interactions between two juvenile fish species and their preys along a coastal-estuarine gradient. *Journal Of Sea Research*, 81, 40-48.
- Krug, H. M. (1990). The Azorean blackspot seabream, *Pagellus bogaraveo* (Brünnich, 1768) (Teleostei: Sparidae): age and growth. *Cybiurn: international journal of ichthyology, Volume 13, Issue 4.*, 347-355.
- Kruskal, J. (1964). Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika*, 29, 1-27. doi:10.1007/BF02289565
- Kubin, L. (1997). *A study of growth in juvenile English sole exposed to sediments amended with aromatic compounds*. Bellingham, WA, USA: Western Washington State University.
- Laurans, M. (2013). *Pêcherie de homard au large du croisic, état du stock et éléments de sa biologie*. IFREMER.
- Le Goff, R., Villanueva, C., Drogou, M., & De Pontual, H. (2017). *Projet Bargip. Action Nourriceries. Rapport final.*.
- Le Pape, O. (2005). *Les habitats halieutiques essentiels en milieu côtier. Les identifier, comprendre leur fonctionnement et suivre leur qualité pour mieux gérer et pérenniser les ressources marines exploitées*. Université Bretagne Occidentale.
- Le Pape, O., & Bonhommeau, S. (2015). The food limitation hypothesis for juvenile marine fish. *Fish and Fisheries, Volume 16, Issue 3*, 373-398.

- Lobry, J., Lepage, M., & Rochard, E. (2006). From seasonal patterns to a reference situation in an estuarine environment: Example of the small fish and shrimp fauna of the Gironde estuary (SW France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70(1-2), 239-250.
- Lobry, J., Mourand, L., Rochard, E., & Elie, P. (2003). Structure of the Gironde Estuarine Fish Assemblages: A Comparison of European Estuaries Perspective. *Aquatic Living Resources*, 16, 47-58.
- Lozano, L., Crec'hriou, R., Garsi, L.-H., Agostini, S., & Lenfant, P. (2015). *Caractérisation de la biodiversité des post-larves de poissons en Méditerranée nord-occidentale et la variabilité de leur recrutement*. Rapport Scientifique du Parc National de Port-Cros n°29.
- Magnuson, S. (2007). Fishery Conservation and Management Reauthorization Act of. U.S Department of Commerce - National Oceanic and Atmospheric Administration - National Marine Fisheries Service, USA.
- Mahe, K., Delpech, J.-P., & Carpentier, A. (2007). *Synthèse bibliographique des principales espèces de Manche orientale et du Golfe de Gascogne*.
- Marchand, J. (1987). Rôles de l'estuaire de la Loire vis-à-vis des espèces d'intérêt halieutique. *Norois - Espaces côtiers et sociétés littorales. Colloque international des 28, 29 et 30 novembre 1986 à Nantes*, 379-390.
- Maréis. (s.d.). 2018. (Centre de découverte de la pêche en mer) Consulté le Février 2020, sur <http://www.mareis.fr/>
- MEDDE. (2017). *Guide d'évaluation des impacts sur l'environnement des parcs éoliens en mer - Edition 2017*.
- Methratta, E. (2020). Monitoring fisheries resources at offshore wind farms: BACI vs. BAG designs. *Ices Journal of Marine Science*, 77, 890-900.
- Michez, N., Aish, A., Hily, C., Sauriau, P.-G., Derrien-Courtel, S., Casamajor, N., . . . Thiébaud, E. (2013). *Typologie des habitats marins benthiques français de Manche, de Mer du Nord et d'Atlantique : Version 1*. Paris: Rapport SPN (Service du Patrimoine Naturel, Direction de la Recherche, de l'Expertise et de la Valorisation), Paris, 2013 - 9. Affiliation: MNHN, Paris.
- Michez, N., Thiébaud, E., Dubois, S., Le Gall, L., Dauvin, J.-C., Andersen, A., . . . Viard, F. (2019). *Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, Version 3*. Paris: UMS PatriNat, Muséum national d'Histoire naturelle.
- MNHN. (2019). Classification des habitats EUNIS. *Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN)*.
- Munk, P., & Nielsen, J. (2005). *Eggs and larvae of North Sea fishes*. Biofolia Edition, Frederiksberg, Denmark.
- Nicola, T., Ingrid, T., & Rob, G. (2004). *Baseline studies wind farm for demersal fish*. Royal Haskoning.
- Palomera, I. O.-N. (2007). Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: An ecological review. *Progress in Oceanography* 74, 377-396.
- Parlier, E. (2006). Approche quantitative de la fonction de nurricerie des systèmes estuaires - vasières. Thèse doctorat. 282.

- Pasquaud, S., Elie, P., Jeantet, C., Billy, I., Martinez, P., & Girardin, M. (2008). A preliminary investigation of the fish food web in the Gironde estuary, France, using dietary and stable isotope analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*(78), 267-279.
- Petitgas, P. (2010). *Life cycle spatial patterns of small pelagic fish in the Northeast Atlantic*. ICES Cooperative Research Report no. 306. 93 pp, ICES.
- Quéro, J.-C., & Vayne, j.-J. (2003). *Les poissons de mer des pêches françaises*. Delachaux & Niestlé.
- Quéro, J.-C., Porché, P., & Vayne, J.-J. (2003). *Guide des poissons de l'Atlantique européen*. Delachaux & Niestlé.
- Quiniou, L. (1986). *Les peuplements de poissons démersaux de la pointe de Bretagne : environnement, biologie, structure démographique, relations trophiques*. Université de Bretagne occidentale, Brest.
- Regimbart, A., Guitton, J., & Le Pape, O. (2018). *Zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française*. Rennes: Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST.
- Russell, F. (1976). *The eggs and planktonic stages of British marine fishes*. Academic Press, London.
- Schlaich, I., Le Mao, P., & Baudrier, J. (2019). *Rapport de campagne de nourriceries côtières: campagne Nourmont 2017*. Rapport pour les Agences de l'Eau Seine-Normandie et Loire-Bretagne.
- Smith, P. E., & Richardson, S. (1977). Standard techniques for pelagic fish eggs and larval stages surveys. *FAO Fisheries Technical Paper*(175), 100p.
- Smokorowski, K., & Randall, R. (2017). Cautions on using the Before-After-Control-Impact design in environmental effects monitoring programs.
- Tableau, A., Brind'Amour, A., Woillez, M., & Le Bris, H. (2016). Influence of food availability on the spatial distribution of juvenile fish within soft sediment nursery habitats. *Sea Research*, 111, 76-87.
- Talidec, C., Augris, C., Rouyer, A., Brind'Amour, A., Pitel-Roudaut, M., Tanguy, N., . . . Simplet, L. (2013). *Observation des ressources halieutiques par les campagnes scientifiques françaises. Façades "Bretagne" et "Sud-Gascogne"*.
- TBM. (2014). *Projet de parc éolien en mer de Saint-Nazaire -Banc de Guérande - Etat initial, effets, impacts et mesures*.
- Tillier, I., & Brivoal, F. (2016). *Etude d'impacts du projet éolien du banc de Guérande - Analyse de l'activité de pêche professionnelle - Complément sur la base des données activité et ventes en halles à marées 2011*. Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins des Pays de la Loire.
- Trenkel, V., Berthele, O., Lorance, P., Bertrand, J., Brind'Amour, A., Cochard, M.-L., . . . Verin, Y. (2009). *Grands invertébrés et poissons observés par les campagnes scientifiques. Atlas de distribution. Bilan 2008*.
- Trimoreau, E., Archambault, B., Brind'Amour, A., Lepage, M., Guitton, J., & Le Pape, O. (2013). A quantitative estimate of the function of soft-bottom sheltered coastal areas as essential flatfish nursery habitat. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 133, 193-205.

- Underwood, A. (1992). Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 161, 145-178.
- Villegas-Ríos, D. (2013). *life history and behaviour of Labrus bergylta in Galicia*. PhD Thesis.
- Vinagre, C., & Cabral, H. (2008). Prey consumption by the juvenile soles, *Solea solea* and *Solea senegalensis*, in the Tagus estuary, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 78, Issue 1, 45-50.
- Whitfield, A., & Pattrick, P. (2015). Habitat type and nursery function for coastal marine fish species, with emphasis on the Eastern Cape region, South Africa. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Volume 160, 49-59.
- ZIEMSKI Frédéric, B. D. (2021, 01 15). *Ctenolabrus rupestris* (Linnaeus, 1758). Récupéré sur DORIS: <https://doris.ffessm.fr/ref/specie/1592>
- ZIEMSKI Frédéric, B. D. (2021, 01 15). *Ctenolabrus rupestris* (Linnaeus, 1758). Récupéré sur DORIS: <https://doris.ffessm.fr/ref/specie/1592>

