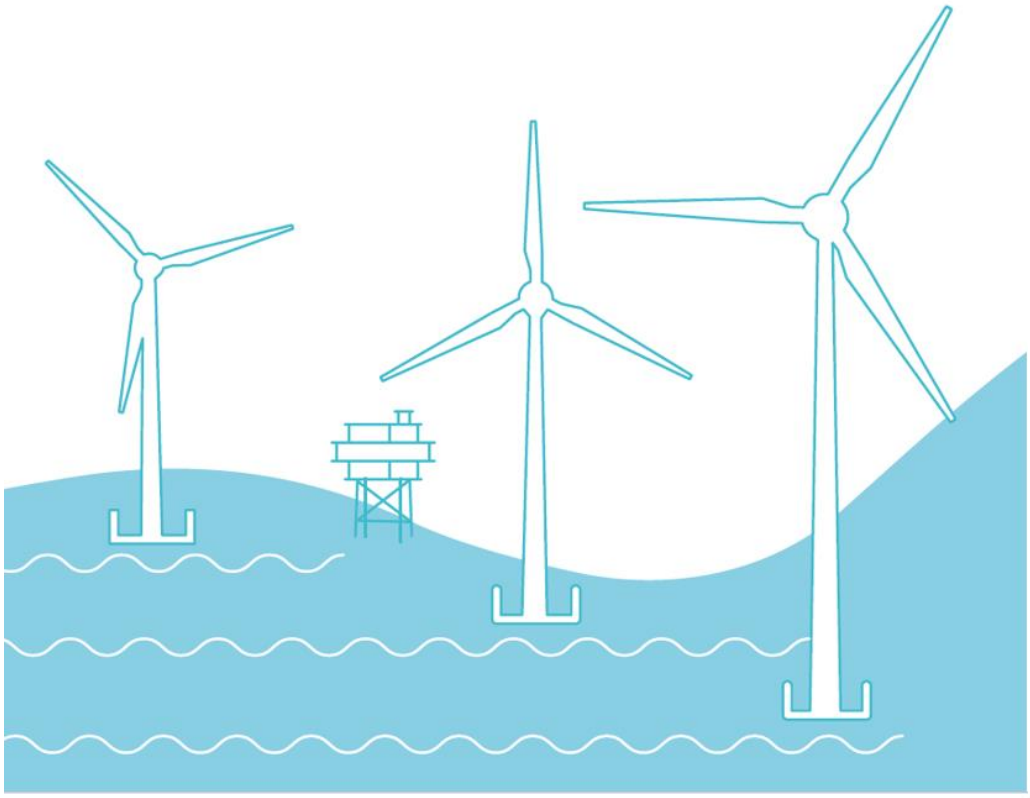
MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
Liberté
Égalité
Fraternité

Parc éolien au large de la Bretagne Sud (AO5) – état actuel de l'environnement

Rapport final relatif au compartiment « Plancton »



Octobre 2024

REVISIONS

Version	Date	Description	Auteurs	Relecteurs
1.0	01/10/2024	Première édition	E. BOCHER R. MARQUES	P. BORNENS F. LEVEQUE Y. PATRY
2.0	**28/03/2025**	**Version finale**	**E. BOCHER** **R. MARQUES**	**Y. PATRY**

COORDONNEES

Siège social	Directeur de projet	Responsable d'affaire
setec énergie environnement	**Philippe BORNENS**	**Françoise LEVEQUE**
Immeuble Central Seine 42 - 52 quai de la Rapée - CS 71230 75583 Paris cedex 12	358 ZA La Grande Halte 29940 La Forêt-Fouesnant	358 ZA La Grande Halte 29940 La Forêt-Fouesnant
Tél +33 1 82 51 55 55 Fax +33 1 82 51 55 56 environnement@setec.fr www.setec.fr	Tél. +33 (0)2 98 51 44 79 Mob. +33 (0)6 07 97 09 14 philippe.bornens@setec.com	Tél +33 (0)2 98 51 47 71 Mob +33 (0)6 31 40 54 07 françoise.leveque@setec.com

Sommaire

1. Introduction 11
2. Matériels et méthodes 11
2.1 Principe 11
2.2 Stratégie d'échantillonnage 12
2.2.1 Localisation des stations et nombre de stations 12
2.2.2 Fréquence d'acquisition et calendrier de réalisation 13
2.3 Moyens nautiques et matériels 15
2.3.1 Moyens nautiques 15
2.3.2 Moyens matériels 16
2.3.2.1 ECO-MARS 3D 16
2.3.2.2 Bouteille Niskin & sonde multiparamètres 16
2.3.2.2.2 Identification du pic de fluorescence 18
2.3.2.3 Filet WP2 19
2.4 Paramètres analysés et mesurés 20
2.4.1 Mesures à la sonde de différentes variables environnementales 20
2.4.2 Échantillons d'eau prélevés à l'aide de la bouteille Niskin 20
2.4.3 Échantillons prélevés à l'aide du filet WP2 20
2.4.3.1 Protocole d'analyse au microscope 21
2.4.3.1 Protocole d'analyse au Zooscan 22
2.5 Analyse de données 24
2.5.1 Variables environnementales 24
2.5.2 Communauté phytoplanctonique 24
2.5.2.1 Evolution de la chlorophylle *a* simulée en surface par ECO-MARS 3D dans la zone d'étude élargie entre janvier 2022 et avril 2024 24
2.5.2.2 Composition de la communauté phytoplanctonique de surface 24
2.5.2.2.1 Abondance 24
2.5.2.2.2 Indices de diversité 25
2.5.2.2.3 Structure de la communauté phytoplanctonique de surface 26
2.5.2.3 Comparaison de la communauté de surface avec celle au niveau du pic de fluorescence 27
2.5.2.4 Focus sur les espèces nuisibles voire toxiques 27
2.5.3 Communauté zooplanctonique 28
2.5.3.1 Comparaison entre la méthodologie Zooscan et la microscopie 28
2.5.3.2 L'état écologique du zooplancton 28
2.5.3.2.1 Description de la communauté 28
2.5.3.2.2 Indicateurs de l'état écologique 28
2.5.3.2.3 Variabilité spatio-temporelle 30
2.5.3.2.4 Focus sur les Copépodes 31
2.5.3.2.5 Focus sur les organismes gélatineux 31

2.5.3.2.6 Structure de la communauté zooplanctonique 32
2.5.3.3 Effets des conditions environnementales sur la communauté zooplanctonique 32
3. Résultats d'avril 2022 à mars 2024 33
3.1 Variables environnementales 33
3.2 Communauté phytoplanctonique 35
3.2.1 Evolution de la chlorophylle a mesurée pendant les campagnes 35
3.2.2 Evolution de la chlorophylle a simulée en surface dans la zone d'étude élargie entre janvier 2022 et avril 2024 40
3.2.3 Composition de la communauté phytoplanctonique de surface 51
3.2.3.1 Abondance 51
3.2.3.1 Indices de diversité 54
3.2.3.1 Structure des communautés phytoplanctoniques 55
3.2.4 Comparaison de la communauté de surface avec celle au niveau du pic de fluorescence 65
3.2.5 Focus sur les espèces nuisibles voire toxiques 78
3.3 Communauté zooplanctonique 86
3.3.1 Comparaison entre la méthodologie Zooscan et la microscopie sur les stations PLA07 et PLA03 86
3.3.2 Description de la communauté 92
3.3.2.1 Abondance totale et abondance relative 92
3.3.3 Indicateurs de l'état écologique 95
3.3.3.1 Indicateurs PH1 96
3.3.3.1 Indicateurs PH2 103
3.3.3.2 Indicateurs PH3 (Indices de diversité) 109
3.3.3.3 Focus sur les copépodes 111
3.3.3.4 Focus sur les organismes gélatineux 113
3.3.4 Structure de la communauté zooplanctonique 120
3.3.5 Effet des conditions environnementales 127
4. Discussion et lien entre les compartiments 132
5. Références bibliographiques 141
6. Annexes 147
6.1 Annexe 1 : Métadonnées associées aux campagnes plancton (source : setec énergie environnement, 2024) 147
6.2 Annexe 2 : Regroupement des taxons phytoplanctoniques en unités taxonomiques (source : setec énergie environnement, 2024) 151
6.3 Annexe 3 : Répartition des taxons dans les groupes fonctionnels (source : setec énergie environnement, 2024) 154
6.4 Annexe 4 : Détail par station de chaque paramètre environnemental mesurée à la sonde pendant les campagnes en mer entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 164
6.5 Annexe 5 : Résultats de l'analyse SIMPER pour les trois unités taxonomiques phytoplanctoniques les plus importantes (source : setec énergie environnement, 2024) 168
6.6 Annexe 6 : Abondance relative (%) des organismes identifiés au niveau taxonomique inférieur pour chaque classe indiquée dans la Figure 46. (source : setec énergie environnement, 2024) 170

Liste des photos

Photo 1 : Le « Minibex » (source : Sylvain Reyt / Faune Océan, 2022) et le « Sterenn Red » (source : setec énergie environnement, 2024) 15

Photo 2 : Bouteille Niskin en cours de chargement lors de la campagne de novembre 2022 & flacons de phytoplancton lugolisés à la station PLA09 lors de la campagne de mai 2022 (source : setec énergie environnement, 2022) 16

Photo 3 : Déploiement de la sonde multiparamètres WiMo Plus de NKE (source : setec énergie environnement, 2023) 17

Photo 4 : À gauche et en haut : filet WP2 et collecteur chargé en zooplancton pendant la campagne de novembre 2022 (source : setec énergie environnement, 2023) et en bas : débitmètre (source : Maritech) 19

Photo 5 : Karlodinium sp. (d'après la publication de Wasmund et al., 2017) & Dactyliosolen fragilissimus (source : Nordic Microalgae) 59

Photo 6 : Haslea vitrea en haut à gauche (source : Culture Collection of algae & protozoa), Mesoporos perforatus (source : PlanktonNET) & représentants de Tripos spp. - T. fusus, horridus & macroceros (source : algae bae & COPEPEDIA) 60

Photo 7 : Leptocylindrus danicus, Chaetoceros decipiens (source : COPEPEDIA) & Pseuno-nitzschia sp. (source : Ifremer) 60

Photo 8 : En haut : Scrippsiella trochoidea (Source : Culture Collection of algae & protozoa), Ensiculifera sp. (UMR MARBEC) & Pentapharsodinium dalei et en bas, de gauche à droite : Katodinium sp. (WoRMS) & Torodinium sp (Ifremer) 61

Photo 9 : De gauche à droite et de haut en bas : Diploneis smithii (source : oamaru diatoms), Thalassionema nitzschioides, Cylindrotheca closterium (COPEPEDIA), Nitzschia longissima (PlanktonNET), Paralia (iNaturalist), Navicula sp. (Diatom Flora of Britain and Ireland) et Pleurosigma-Gyrosigma (Ifremer) 62

Photo 10 : Gymnodinium sp. & Gyrodinium sp. (source : Culture Collection of algea & protozoa & Ifremer) 64

Photo 11 : Prorocentrum cordatum, Heterocapsa triquetra & Protoperidinium crassipes (source : adapté de Terenko et al., 2018) 83

Photo 12 : Gonyaulax spinifera (source : algaebase) & Phalacroma rotundatum (source : PlanktonNET) 84

Photo 13 : Illustrations des taxons très fréquents du zooplancton de l'AO5 avec de gauche à droite et de haut en bas Chatognathe, krill, Oithona nana, famille des Oncaeidae et Calanus helgolandicus (source : COPEPEDIA & Muséum national d'Histoire Naturelle) 92

Photo 14 : Oikopleura sp. (Appendiculaires / source : COPEPEDIA) & nauplius de cirripèdes (larve de Thecostracés / source : Shape of life) 95

Photo 15 : Représentants des organismes gélatineux avec de gauche à droite et de haut en bas Muggiaea atlantica (Cnidaires), Pleurobrachia pileus (Cténophores) et Salpa fusiformis (Chordés) (source : COPEPEDIA, Doris & Club d'Immersio Biologica) 114

Photo 16 : Photographie d'une Pelagie (Pelagia noctiluca) collectée à la station PLA08 en novembre 2023 puis remis à l'eau après photographie (source : setec énergie environnement, 2023) 119

Photo 17 : Représentants de la famille de Copépodes des Metridinidés, du genre Acartia, des familles d'Appendiculaires des Oikopleuridés et de Copépodes des Peltidiidés (source : Artic Ocean Biodiversity & COPEPEDIA) 125

Photo 18 : Evadne sp. et Penilia avirostris (source : COPEPEDIA & PlanktonNET) 130

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des stations d'échantillonnage « Plancton » (source : setec énergie environnement, 2023) 13

Figure 2 : Calendrier des campagnes réalisées entre avril 2022 et mars 2024. Les valeurs colorées indiquent le coefficient de maré (source : setec énergie environnement, 2023) 14

Figure 3 : Identification du pic en fluorescence (source : setec énergie environnement, 2024) 18

Figure 4 : Localisation des stations d'échantillonnage du zooplancton PLA03 et PLA07 (source : setec énergie environnement, 2024) 21

Figure : Les différentes étapes de fractionnement d'un échantillon au laboratoire (source : 22

Figure : Images des scans des deux fractions analysées pour un échantillon (fraction 200-1000 µm à gauche, fraction > 1000 µm à droite) 23

Figure : Extrait de la visualisation des vignettes et classification sous Ecotaxa 23

Figure 8 : Evolution moyenne par campagne et par tranche de profondeur des paramètres physico-chimiques mesurés à la sonde multi-paramètres (source : setec énergie environnement, 2024) 34

Figure 9 : Evolution de la teneur moyenne en chlorophylle a mesurée à la sonde multiparamètre à chaque station et à chaque campagne entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 35

Figure 10 : Évolution de la chlorophylle a (ppb) à chaque station entre avril 2022 et mars 2023 (source : setec énergie environnement, 2023) 37

Figure 11 : Évolution de la chlorophylle a (ppb) à chaque station entre avril 2023 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 38

Figure 12 : Évolution de la chlorophylle a (ppb) à chaque station (un graphique par station) entre mai 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 39

Figure 13 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée en surface le 15 janvier, le 15 février, 15 mars et pendant la campagne d'avril (25/04/22) dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2023) 41

Figure 14 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de mai, juin, juillet et août 2022 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2023) 42

Figure 15 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de septembre, octobre, novembre et décembre 2022 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2023) 43

Figure 16 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de janvier à mars 2023 et le 15 avril 2023 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2023) 44

Figure 17 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de mai 2023 à août 2023 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2024) 46

Figure 18 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de septembre 2023 à décembre 2023 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2024) 47

Figure 19 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de janvier 2024 à avril 2024 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2024) 48

Figure 20 : Évolution de la chlorophylle a simulée en surface à partir du modèle ECOMARS-3D à la station PLA02 entre janvier et décembre 2022 (source : setec énergie environnement, 2023) 49

Figure 21 : Évolution de la chlorophylle a simulée en surface à partir du modèle ECOMARS-3D à la station PLA02 entre janvier et décembre 2023 (source : setec énergie environnement, 2024) 50

Figure 22 : Évolution de la chlorophylle a simulée en surface à partir du modèle ECOMARS-3D à la station PLA02 entre janvier et avril 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 50

Figure 23 : Evolution de l'abondance totale en cellules/l du phytoplancton de surface (unités taxonomiques) par station entre avril 2022 et mars 2024 (* = pas de données / source : setec énergie environnement, 2024) 51

Figure 24 : Evolution de l'abondance totale en cellules/l des principales classes phytoplanctoniques par station entre avril 2022 et mars 2024 (* = pas de données / source : setec énergie environnement, 2024) 52

Figure 25 : Abondance relative (%) des grands taxons phytoplanctoniques de surface entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 53

Figure 26 : Boxplot des indices de diversité des unités taxonomiques du phytoplancton de surface - richesse spécifique, indice de Shannon, de Piélou et de Simpson en avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 54

Figure 27 : NMDS à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance des unités taxonomiques du phytoplancton de surface de chaque station et chaque campagne entre avril 2022 et mars 2024. Les ellipses représentent les groupes identifiés par la classification hiérarchique (source : setec énergie environnement, 2024) 56

Figure 28 : NMDS à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance des unités taxonomiques du phytoplancton de surface de chaque station entre avril 2022 et mars 2024. Les ellipses représentent les groupes identifiés par la classification hiérarchique (source : setec énergie environnement, 2024)..... 57

Figure 29 : Classification hiérarchique à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance des unités taxonomiques phytoplanctoniques de surface à chaque campagne (moyenne des stations par campagne) entre avril et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 58

Figure 30 : Abondance totale en cellules/l en surface et à la profondeur du pic de fluorescence aux campagnes & stations qui ont fait l'objet d'un prélèvement supplémentaire (source : setec énergie environnement, 2024) 66

Figure 31 : Abondance relative en % des UT présentes dans le prélèvement de surface « PLA11 – s » et dans le prélèvement au pic de fluorescence « PLA11 – p » à la station PLA11 en mai 2023 (source : setec énergie environnement, 2024) 67

Figure 32 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx – s » et dans les prélèvements au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations (sauf PLA11) de la campagne de juin 2023 (source : setec énergie environnement, 2024)..... 68

Figure 33 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx- s » et au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations PLA05, PLA08, PLA09 et PLA11 de la campagne de juillet 2023 (source : setec énergie environnement, 2024)..... 69

Figure 34 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx- s » et au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations (sauf PLA01 et PLA03) de la campagne d'août 2023 (source : setec énergie environnement, 2024) ... 71

Figure 35 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx- s » et au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations de la campagne de septembre 2023 (source : setec énergie environnement, 2024) 73

Figure 36 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx- s » et au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations PLA08 et PLA09 de la campagne de décembre 2023 (source : setec énergie environnement, 2024) .. 74

Figure 37 : Abondance relative en % des UT présentes à la station PLA03 en février 2024 dans le prélèvement de surface « PLA03 - s » et au pic de fluorescence « PLA03 - p » (source : setec énergie environnement, 2024) 75

Figure 38 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx - s » et au pic de fluorescence « PLAxx - p » des stations (sauf PLA11) de la campagne de mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 76

Figure 39 : Abondance en nombre de cellules/l des espèces de Dinophysis collectées en surface dans la zone d'étude entre avril 2022 et novembre 2023, chaque point correspond à une station (source de la figure : setec énergie environnement, 2024 et des photos : COPEPEDIA et PlanktonNET) 79

Figure 40 : Abondance en nombre de cellules/l d'Alexandrium collectée dans la zone d'étude entre octobre 2022 et septembre 2023, chaque point correspond à une station (source de la figure : setec énergie environnement, 2024 et de la photo : algaebase) 80

Figure 41 : Abondance en nombre de cellules/l des espèces de Pseudo-nitzschia collectées dans la zone d'étude entre avril 2022 et mars 2024, les points correspondent aux stations (source de la figure : setec énergie environnement, 2024 et des photos : Phyto'pedia, algaebase et iNaturalist NZ) 82

Figure 42 : Abondance en nombre de cellules/l des autres espèces et genres phytoplanctoniques nuisibles voire toxiques collectés dans la zone d'étude entre avril 2022 et mars 2024, les points correspondent aux stations (source de la figure : setec énergie environnement, 2024) 85

Figure 43 : Exemple de la différence de niveau d'identification pour le genre Oithona entre les deux techniques. a) Abondance moyenne (log(x+1)) des station PLA03 et PLA07 d'Oithona sp. identifiée par ZooScan, b) Abondance (log(x+1)) des station PLA03 et PLA07 d'Oithona spp. identifiée par espèce, stade de vie et sexe par microscopie (source : setec énergie environnement, 2023). 89

Figure 44: Comparaison de l'abondance totale obtenue par Zooscan et par Microscopie. La ligne en pointillés représente le ratio 1:1. L'équation de régression entre les abondances totales obtenues par les deux techniques est affichée dans le graphique,

accompagnée de la valeur du R², de la statistique de test (F), des degrés de liberté (DF) et de la signification du test (p-value). (source : setec énergie environnement, 2024)..... 90

Figure 45 : Variabilité temporelle de l'abondance moyenne (± erreur type) du zooplancton par zone, entre avril 2022 et mars 2024. (source : setec énergie environnement, 2024)..... 93

Figure 46 : Composition de la communauté du zooplancton (toutes stations incluses), identifiés au niveau taxonomique de la classe entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 94

Figure 47 : Variabilité temporelle de a) la proportion de carnivores/non-carnivores (moyenne ± erreur type) par zone, et b) la composition des carnivores (toutes stations incluses), identifiés au niveau taxonomique maximum du genre, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024). 97

Figure 48 : Variabilité temporelle de a) la proportion de mero/holoplancton (moyenne ± erreur type) par zone, et b) composition des organismes meroplanctoniques (toutes stations incluses), identifiés au niveau taxonomique maximum de la classe, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024). 99

Figure 49 : Distribution spatiale des larves de cirripèdes dans la zone d'étude en mars 2023 (a) et février 2024 (b) (source : setec énergie environnement, 2024)..... 100

Figure 50 : Variabilité temporelle de a) la proportion de gélatineux/non gélatineux (moyenne ± erreur type) par zone, et b) composition des organismes gélatineux (toutes stations incluses), identifiés au niveau taxonomique maximum de la classe, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)..... 102

Figure 51 : Variabilité temporelle de l'abondance total de copépodes (moyenne ± erreur type) par zone, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024). 104

Figure 52 : Cartographie de la moyenne saisonnière de chaque indicateur dans la zone d'étude, par station, pour l'année 1 (avril 2022 – mars 2023) et l'année 2 (avril 2023 - mars 2024). 106

Figure 53 : Evolution temporelle des indicateurs PH3 (indices de biodiversité : Richesse spécifique, Shannon H', Pielou E' et Simpson D) de la communauté zooplanctonique identifié au microscope (stations PLA03 et PLA07), entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 110

Figure 54 : Evolution de l'abondance (ind.m-3) des taxons représentant plus de 10 % de l'abondance totale des Copépodes à chaque station entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)..... 112

Figure 55 : Variabilité temporelle de l'abondance relative (%) de tous les taxons de Copépodes identifié maximum au niveau du genre, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)..... 113

Figure 56 : Classes présentes sur les photographies prises des organismes gélatineux retirés pendant les campagnes en mer entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)..... 120

Figure 57 : Nombre optimal de groupes à partir de l'analyse CAH selon a) la méthode du coude et b) la méthode de la silhouette (source : setec énergie environnement, 2024)..... 121

Figure 58 : Classification hiérarchique ascendante à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance du zooplancton de chaque station et chaque campagne entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 122

Figure 59 : NMDS à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance du zooplancton de chaque station entre avril 2022 et mars 2024. Les ellipses représentent les échantillons appartenant au même a) CAH groupe, b) zone, c) mois et d) année (source : setec énergie environnement, 2024) 123

Figure 60 : Paramètres environnementaux utilisés pour l'analyse de redondance – RDA (source : setec énergie environnement, 2024)..... 127

Figure 61 : Analyse de redondance – RDA. Les points représentent les échantillons identifiés par groupe CAH. Pour une meilleure visualisation, seules les espèces dont les scores RDA1 et RDA2 sont supérieurs à 0,1 ou inférieurs à -0,1 sont représentées. (source : setec énergie environnement, 2024) 129

Figure 62 : Variabilité temporelle des scores du RDA1 pour les variables environnementales (en haut) et les taxons qui contribuent le plus aux principaux changements de la structure de communauté (en bas). Seul le taxon avec le score RDA1 le plus positif et le plus négatif est présenté (source : setec énergie environnement, 2024) 131

Figure 63 : Variabilité temporelle des scores du RDA2 pour les variables environnementales (en haut) et les taxons qui contribuent le plus aux principaux changements de la structure de communauté (en bas). Seul le taxon avec le score RDA2 le plus positif et le plus négatif est présenté (source : setec énergie environnement, 2024) 131

Figure 64 : Schéma bilan conceptuel représentant la variabilité saisonnière des paramètres environnementaux structurants, du phytoplancton et du zooplancton dans la zone d'étude de l'AO5 sur la durée de l'état initial (source : setec énergie environnement, 2024)..... 140

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des données disponibles depuis le modèle MARC B1 ECOMARS3D (source : Ifremer et al., 2021) 16

Tableau 2 : Indicateurs PH1 sélectionnées relatif aux groupes fonctionnels du plancton (source : DCMM, 2022)..... 28

Tableau 3 : Résultats de la PERMANOVA (source : setec énergie environnement, 2024) 56

Tableau 4 : Caractérisation des groupes identifiés par la CAH en termes de nombre de stations, de campagnes, d'abondance moyenne, de richesse spécifque S moyenne, d'indice de Shannon H moyen, de Simpson D moyen et de Piélou E moyen avec en gras les valeurs les plus fortes et en souligné les plus faibles (source : setec énergie environnement, 2024) 59

Tableau 5 : Composition et abondance des pics d'abondance phytoplanctonique de surface (source : setec énergie environnement, 2024)..... 61

Tableau 6 : Résultats de l'analyse des espèces indicatrices sur les unités taxonomiques du phytoplancton de surface (source : setec énergie environnement, 2024)..... 63

Tableau 7 : Campagnes et stations qui ont fait l'objet d'un prélèvement supplémentaire au pic de fluorescence (source : setec énergie environnement, 2024) 65

Tableau 8 : Comparaison (nombre de taxons identifiés par niveau taxonomique) de l'identification par Zooscan VS identification par microscope des échantillons des stations des campagnes d'avril 2022 à mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024) 86

Tableau 9 : Liste des taxons uniques identifiés par chaque méthode (source : setec énergie environnement, 2023)..... 86

Tableau 10 : Résultats du modèle ART pour l'abondance du zooplancton. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024).. 93

Tableau 11 : Résultats du modèle ART pour l'indice proportion de carnivores/non-carnivores. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024) 98

Tableau 12 : Résultats du modèle ART pour l'indice proportion de mero/holoplancton. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024)..... 100

Tableau 13 : Résultats du modèle ART pour l'indice proportion de gélatineux/non gélatineux. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024) 103

Tableau 14 : Résultats du modèle ART pour l'indice de l'abondance total de copépodes. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024)..... 104

Tableau 15 : Moyenne saisonnière ± erreur type (n) de chaque indicateur de l'état écologique, par zone, pour l'année 1 (avril 2022 – mars 2023) et l'année 2 (avril 2023 - mars 2024). (source : setec énergie environnement, 2024)..... 107

Tableau 16 : Résultats du modèle ART. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. (source : setec énergie environnement, 2024) 108

Tableau 17 : Moyenne saisonnière ± erreur type de chaque indicateurs PH3 (indices de biodiversité), pour l'année 1 (avril 2022 – mars 2023) et l'année 2 (avril 2023 - mars 2024). Les indices ont été calculés à partir des données de microscopie des stations PLA03 et PLA07. (source : setec énergie environnement, 2024)..... 110

Tableau 18 : Résultats du modèle ART. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. (source : setec énergie environnement, 2024) 111

Tableau 19 : Comparaison entre les taxons de gélatineux recensés en mai 2011 dans le Golfe de Gascogne par Zaldua-Mendizabal et al., 2021 et ceux identifiés par le Zooscan et la microscopie (source : setec énergie environnement, 2024) 115

Tableau 20 : Classes utilisées pour l'analyse semi-quantitative des taxons gélatineux photographiés et remis à l'eau pendant les campagnes en mer (source : setec énergie environnement, 2024) 119

Tableau 21 : Résultats des analyses PERMANOVA pour tester les différences de structure de la communauté entre les groupes, les mois, les années (année 1 et année 2) et les stations en tant qu'effets individuels (source : setec énergie environnement, 2024) 124

Tableau 22 : Résultats de l'analyse des espèces indicatrices sur les taxons du zooplancton (source : setec énergie environnement, 2024)..... 125

Tableau 23 : Résultats de l'analyse SIMPER sur les taxons du zooplancton les plus importants qui contribuent ensemble à 50 % de la dissimilarité entre les groupes (source : setec énergie environnement, 2024) 126

Tableau 24 : Résultats de l'analyse RDA (source : setec énergie environnement, 2024) 128

1. INTRODUCTION

Ce document constitue le rapport final de l'état actuel de l'environnement relatif au compartiment « Plancton » de la zone du projet de parc éolien flottant au large de la Bretagne Sud (AO5). Il présente les données obtenues pendant les 2 années d'acquisition de données, d'avril 2022 à mars 2024.

L'objectif est de déterminer l'état initial du compartiment « Plancton » afin de permettre au futur lauréat de la procédure de mise en concurrence d'évaluer l'impact du parc éolien sur ce compartiment durant les phases de vie du projet.

De plus, l'objectif est également de valoriser l'état initial dans l'état de référence ; ainsi l'état initial comporte des stations de référence (zone rapproché) qui sont positionnées, dans les plans d'échantillonnage proposés ci-après, à l'extérieur de la zone d'étude immédiate, en dehors de la zone d'influence présumée du projet. Le protocole s'inscrit dans une analyse de type BACI (Before-After-Control-Impact), avec la définition de stations de référence. L'objectif des acquisitions de données liées au compartiment « plancton » est de décrire les communautés phytoplanctoniques (végétales) et zooplanctoniques (animales) présentes et de caractériser leur état écologique (bon, déjà dégradé, etc.).

Ce protocole porte uniquement sur le plancton permanent, l'ichtyoplancton (œufs & larves de poissons) étant traité dans le protocole relatif au compartiment « Poissons, mollusques et crustacés ».

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 PRINCIPE

Le principe de suivi du compartiment « Plancton » s'appuie sur les méthodes, les outils et les descripteurs énoncés dans le programme de surveillance des habitats pélagiques (Plan d'Action pour le Milieu Marin, PAMM).

L'état écologique de l'environnement pélagique peut être évalué à l'aide d'indicateurs écologiques pour détecter les changements et suivre les progrès vers les objectifs des politiques environnementales (Ndah et al., 2022). Des efforts considérables ont été réalisés pour identifier et standardiser les indicateurs appropriés pour les communautés planctoniques (McQuatters-Gollop et al., 2019; OSPAR, 2023a). Cependant, cela reste un défi en raison de la variabilité des caractéristiques abiotiques et biotiques du milieu pélagique dans le temps et l'espace, ce qui entraîne l'utilisation de différents indicateurs selon les régions et les pays (Magliozzi et al., 2023, 2021). En France, trois groupes d'indicateurs, adaptées à chaque compartiment (phytoplancton ou zooplancton) ont été proposés pour évaluer le bon état écologique pour les habitats pélagiques, dans le cadre de la directive cadre stratégie pour le milieu marin (Goberville et al., 2022) :

1) le **PH1/FW5**, qui porte sur les changements d'abondance des groupes fonctionnels du plancton ;

2) le **PH2**, qui porte sur les changements de biomasse de phytoplankton (concentration en chlorophylle a) et d'abondance des copépodes totaux ;

3) le **PH3**, qui porte sur les changements dans la biodiversité du plancton.

Le suivi de ces indicateurs sont utiles pour détecter et mesurer le changement d'état par rapport à une référence temporelle (McQuatters-Gollop et al., 2019; Rombouts et al., 2013), qui devrait idéalement être supérieure à 5 ans, pour prendre en considération la stochasticité inhérente à la dynamique du plancton (McQuatters-Gollop et al., 2019).

Nous proposons ici une description de ces indicateurs, par mois, saison et par zone (immédiate et rapprochée). Les saisons ont été définies en fonction de la variabilité temporelle de la chlorophylle *a* observé dans un large périmètre autour de la zone d'étude. Les variations de ces indicateurs entre la période de référence (ce rapport) et les périodes suivantes du projet (analyse de type BACI) peuvent ainsi fournir des informations sur les changements potentiels de l'état écologique, malgré la courte période de référence considérée (2 ans).

Les deux communautés planctoniques (végétale et animale) seront aussi décrites via une analyse de leurs compositions taxonomiques. Ces acquisitions visent à restituer une information touchant à la structure de ces populations, base des réseaux trophiques.

2.2 STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

2.2.1 Localisation des stations et nombre de stations

La stratégie d'échantillonnage repose sur le suivi mensuel de 9 stations ponctuelles et se décompose de la manière suivante, comme illustrée sur la figure ci-dessous:

- 5 stations dans la zone d'étude immédiate : 3 stations au sein de la zone A, dont 2 dans la zone d'appel d'offres du premier parc, et 2 stations au sein de la zone B ;
- 4 stations dans la zone d'étude rapprochée (2661 km2 – zone tampon de 20 km autour de la zone d'étude d'immédiate), qui sont des stations de référence.

Dans la zone d'étude, les courants sont globalement orientés Ouest/Nord-Ouest. Ainsi, plusieurs stations ont été positionnées selon l'axe des courants dominants sur le site, en traversant la zone d'étude immédiate de manière à couvrir la zone d'influence du projet de parc. D'autres stations ont été positionnées perpendiculairement à l'axe dominant des courants de manière à se situer hors zone d'influence.

À noter par ailleurs que le plan d'échantillonnage dédié à ce compartiment « Communautés planctoniques » est identique en nombre et positionnement des stations aux compartiments « Qualité de l'eau » et « Poissons, Mollusques et Crustacés » pour la partie ichtyoplancton. Afin de conserver une entière cohérence entre ces trois jeux de données, les campagnes de prélèvements sont, la plupart du temps, synchronisées entres-elles. Le zooplancton étant doué de mobilité et réalisant des migrations verticales entre le jour et la nuit pour s'extraire la journée de la prédation, le protocole prévoit l'échantillonnage de ces espèces en conditions nocturnes (Annex 1 : 6.1). Ces conditions d'échantillonnage permettent de se soustraire de biais potentiels tout en optimisant l'échantillonnage. Les prélèvements sont ainsi normalisés entre les stations et entre les campagnes pendant toute la durée de l'étude.

Pour le phytoplancton, les mesures de fluorescence effectuées à la sonde multiparamètres équipée d'un capteur de fluorimétrie, consistent en l'enregistrement des données le long d'un profil vertical depuis la surface jusqu'au fond. Les prélèvements d'eau sont quant à eux, réalisés systématiquement en subsurface (entre 1 et 5m sous la surface), complétés par un prélèvement supplémentaire au pic de fluorescence à partir de la 2ème année de suivi.

Pour le zooplancton, les prélèvements sont réalisés au filet WP2 de maillage 200 µm, depuis une profondeur d'environ 50 m jusqu'à la surface (cf. Annexe 1- §6.1).

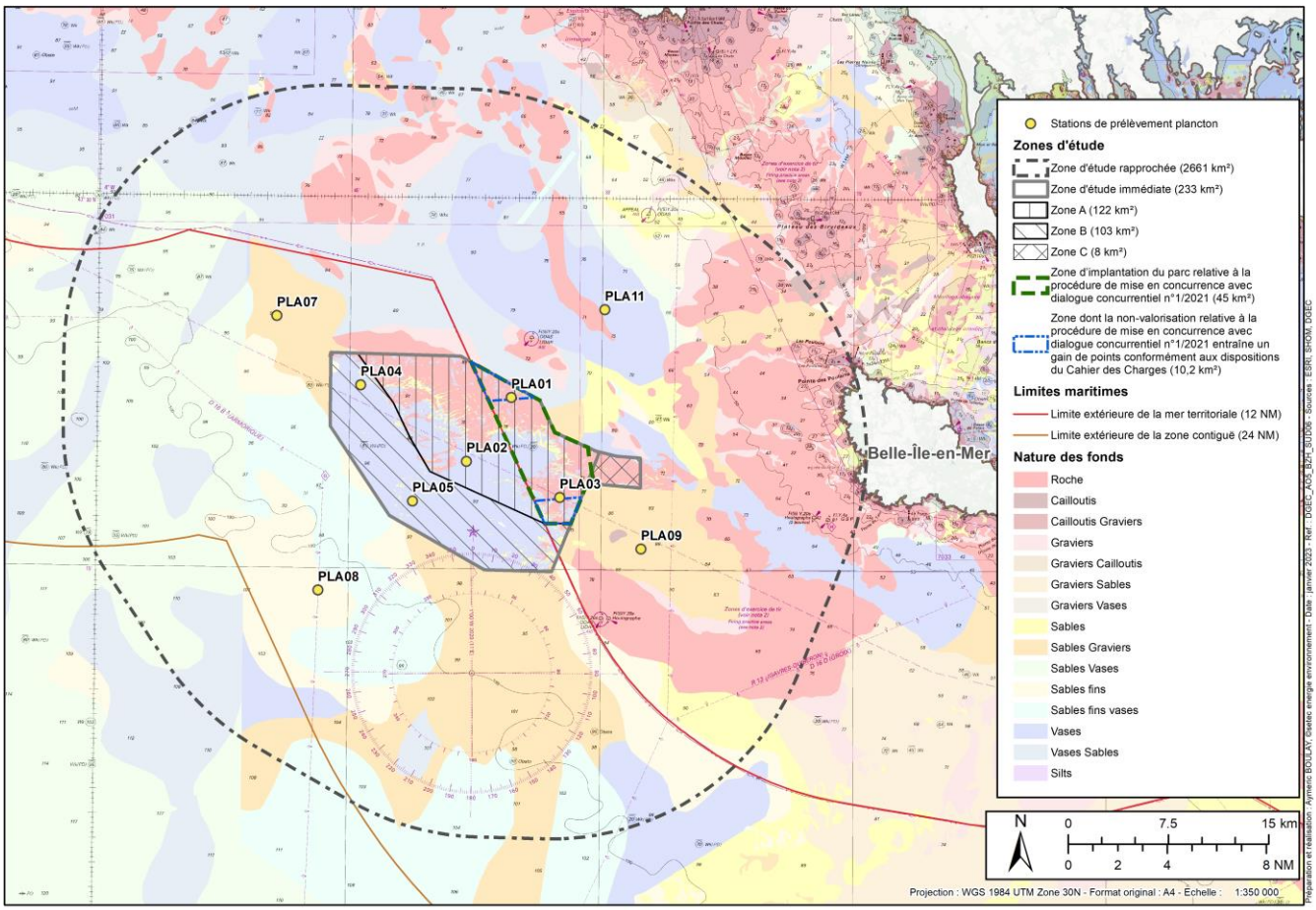


Figure 1 : Localisation des stations d'échantillonnage « Plancton » (source : setec énergie environnement, 2023)

2.2.2 Fréquence d'acquisition et calendrier de réalisation

Le suivi de ce réseau de stations est réalisé tous les mois sur une durée initiale de 2 ans.

Le nombre de stations de suivi ne permet pas de concentrer l'effort d'échantillonnage sur un moment de marée en particulier. En revanche, les interventions lors de coefficients de marée inférieurs à 90 ont, dans la mesure du possible, été privilégiées pour éviter des situations d'échantillonnage atypiques et ainsi permettre des interventions tout au long de la vie du projet dans des conditions de marée similaires et comparables.

La Figure 2 présente le calendrier des campagnes réalisées pendant les 2 années d'acquisition de données. Toutes les campagnes ont pu être réalisés à l'exception de celle d'octobre 2023 en raison de mauvaises conditions météorologiques. À chaque campagne, les neuf stations présentées précédemment ont été échantillonnées. L'Annexe 1 (section 6.1) présente les caractéristiques bathymétriques des stations échantillonnées et le détail des opérations (date, heure, profondeur de prélèvement pour chaque catégorie de plancton, coefficient, type et courant de marée associés).

Echantillonnage du phytoplancton
Echantillonnage du zooplancton
Echantillonnage du phytoplancton & zooplancton

Avril 2022		
01 V Hugues	97	98
02 S Sandrine	98	97
03 D Richard	95	92
04 L Isidore	88	84
05 M Irène	79	73
06 M Marcellin	67	60
07 J Jean-Baptiste..	53	46
08 V Julie	40	33
09 S Gautier	28	24
10 D Fulbert	24	
11 L Stanislas	26	31
12 M Jules	38	45
13 M Ida	52	60
14 J Maxime	67	75
15 V Paterne	81	87
16 S Benoît-Joseph	92	97
17 D Pâques	100	102
18 L L. de Pâques	103	102
19 M Emma	101	97
20 M Odette	93	86
21 J Anselme	80	72
22 V Alexandre	64	57
23 S Georges	50	45
24 D Fidèle	43	
25 L Marc	45	48
26 M Alida	54	60
27 M Zita	66	71
28 J Valérie	76	80
29 V Catherine....	84	86
30 S Robert	87	88

Mai 2022		
01 D Fête du travail	88	87
02 L Boris	86	84
03 M Philippe; Jacqu	81	78
04 M Sylvain	74	70
05 J Judith	65	60
06 V Prudence	54	49
07 S Gisèle	44	39
08 D Armistice 1945	34	31
09 L Pacôme	30	
10 M Solange	31	34
11 M Estelle	39	45
12 J Achille	51	58
13 V Rolande	65	72
14 S Matthias	78	84
15 D Denise	90	94
16 L Honoré	97	99
17 M Pascal	100	100
18 M Eric	98	95
19 J Yves	91	86
20 V Bernardin	80	74
21 S Constantin	68	62
22 D Emile	57	53
23 L Didier	51	
24 M Donatien	51	52
25 M Sophie	54	57
26 J Ascension	61	64
27 V Augustin	67	69
28 S Germain	72	74
29 D Aymar	75	76
30 L Ferdinand	76	76
31 M V. Ste Vierge	76	75

Juin 2022		
01 M Justin	74	72
02 J Blandine	70	67
03 V Kévin	64	61
04 S Clotilde	58	55
05 D Igor	51	48
06 L Norbert	45	43
07 M Gilbert	41	41
08 M Médard	42	
09 J Diane	44	47
10 V Landry	51	56
11 S Barnabé	61	67
12 D Guy	72	78
13 L Antoine de P.	83	87
14 M Elisée	91	93
15 M Germaine	95	96
16 J J-F Régis	96	94
17 V Hervé	92	89
18 S Léonce	85	81
19 D Romuald	76	71
20 L Silvère	66	62
21 M Eté	58	
22 M Alban	55	52
23 J Audrey	51	51
24 V Jean-Baptiste	52	53
25 S Prosper	55	56
26 D Anthelme	59	61
27 L Fernand	63	65
28 M Irénée	66	67
29 M Pierre; Paul	69	69
30 J Martial	70	70

Juillet 2022		
01 V Thierry	70	69
02 S Martinien	68	67
03 D Thomas	66	64
04 L Florent	62	60
05 M Antoine	58	56
06 M Mariette	54	52
07 J Raoul	50	49
08 V Thibault	49	
09 S Amandine	50	52
10 D Ulrich	56	60
11 L Benoît	64	69
12 M Olivier	75	80
13 M Henri; Joël	85	89
14 J Fête Nationale	93	95
15 V Donald	97	98
16 S ND du M. Carm	97	96
17 D Charlotte	93	89
18 L Frédéric	85	79
19 M Arsène	74	67
20 M Marina	62	56
21 J Victor	51	46
22 V Marie-Madelein	43	
23 S Brigitte	41	41
24 D Christine	42	44
25 L Jacques	47	50
26 M Anne; Joachin	54	57
27 M Nathalie	61	64
28 J Samson	67	69
29 V Marthe	72	74
30 S Juliette	75	76
31 D Ignace de L.	77	77

Août 2022		
01 L Alphonse	77	76
02 M Julien E.	75	73
03 M Lydie	70	67
04 J Jean-Marie V.	64	60
05 V Abel	56	53
06 S Transfiguration	50	
07 D Gaétan	48	47
08 L Dominique	48	52
09 M Amour	56	63
10 M Laurent	69	77
11 J Claire	83	90
12 V Clarisse	95	99
13 S Hippolyte	102	103
14 D Evrard	103	102
15 L Assomption	99	95
16 M Armel	90	84
17 M Hyacinthe	77	70
18 J Hélène	63	55
19 V Jean-Eudes	48	41
20 S Bernard	36	
21 D Christophe	32	30
22 L Fabrice	31	34
23 M Rose de L.	39	44
24 M Barthélémy	49	55
25 J Louis	60	65
26 V Natacha	70	74
27 S Monique	78	81
28 D Augustin	84	86
29 L Sabine	87	88
30 M Fiacre	88	87
31 M Aristide	85	83

Septembre 2022		
01 J Gilles	79	75
02 V Ingrid	70	65
03 S Grégoire	59	53
04 D Rosalie	47	43
05 L Raissa	41	
06 M Bertrand	42	47
07 M Reine	53	62
08 J Nativité	70	79
09 V Alain	86	93
10 S Inès	98	102
11 D Adelphe	104	105
12 L Apollinaire	105	103
13 M Aimé	100	95
14 M Croix Glorieuse	90	84
15 J Roland	77	69
16 V Edith	62	54
17 S Renaud	46	39
18 D Nadège	32	27
19 L Emilie	24	
20 M Davy	25	28
21 M Matthieu	34	40
22 J Maurice	47	54
23 V Automne	60	67
24 S Thècle	73	78
25 D Hermann	83	87
26 L Côme; Damien	90	93
27 M Vincent de P.	95	95
28 M Venceslas	95	94
29 J Mich., Gab., Ra	92	88
30 V Jérôme	84	78

Octobre 2022		
01 S Thérèse...	72	65
02 D Léger	58	51
03 L Gérard	44	
04 M François...	40	40
05 M Fleur	42	49
06 J Bruno	56	65
07 V Serge	73	80
08 S Pélagie	87	93
09 D Denis	97	100
10 L Ghislain	101	101
11 M Firmin	100	98
12 M Wilfried	95	91
13 J Géraud	86	80
14 V Juste	74	67
15 S Thérèse...	61	53
16 D Edwige	46	39
17 L Baudoin	33	27
18 M Luc	24	
19 M René	24	26
20 J Adeline	31	37
21 V Céline	45	51
22 S Elodie	59	65
23 D Jean...	72	78
24 L Florentin	83	88
25 M Crépin	92	95
26 M Dimitri	97	98
27 J Emeline	98	97
28 V Jude	94	90
29 S Narcisse	85	80
30 D Bienvenu	73	66
31 L Quentin	59	52

Novembre 2022		
01 M Toussaint	47	45
02 M Défunts	45	
03 J Hubert	48	53
04 V Charles	59	65
05 S Sylvie	71	77
06 D Bertille	82	86
07 L Carine	88	90
08 M Geoffroy	91	91
09 M Théodore	90	89
10 J Léon	87	84
11 V Armistice	80	76
12 S Christian	71	66
13 D Brice	61	55
14 L Sidoine	50	44
15 M Albert	39	35
16 M Marguerite	31	30
17 J Elisabeth	30	
18 V Aude	32	36
19 S Tanguy	42	48
20 D Edmond	54	60
21 L P. de Marie	67	73
22 M Cécile	79	84
23 M Clément	88	92
24 J Flora	94	96
25 V Catherine	97	96
26 S Delphine	94	91
27 D Sévrin	88	83
28 L Jacques...	78	72
29 M Saturnin	66	62
30 M André	57	54

Décembre 2022		
01 J Florence	53	
02 V Viviane	53	55
03 S François-Xav...	57	60
04 D Barbara	63	67
05 L Gérald	70	72
06 M Nicolas	75	76
07 M Ambroise	78	78
08 J Immaculée C.	79	78
09 V Pierre Fourier	78	77
10 S Romaric	75	73
11 D Daniel	71	68
12 L JF de Chantal	65	61
13 M Lucie	58	54
14 M Odile	51	47
15 J Ninon	44	42
16 V Alice	40	40
17 S Gaël	40	
18 D Gatien	42	45
19 L Urbain	49	53
20 M Théophile	59	64
21 M Hiver	70	75
22 J Françoise-Xav.	80	85
23 V Armand	89	92
24 S Adèle	95	96
25 D Noël	97	96
26 L Etienne	95	92
27 M Jean	89	84
28 M Innocents	80	75
29 J David	69	64
30 V Roger	60	56
31 S Sylvestre	53	

Janvier 2023		
01 D Jour de l'an	51	50
02 L Basile	51	52
03 M Geneviève	54	57
04 M Odilon	59	62
05 J Edouard	65	67
06 V Mélaine	69	71
07 S Raymond	73	74
08 D Lucien	74	74
09 L Alix	74	74
10 M Guillaume	73	71
11 M Pauline	69	67
12 J Tatiana	65	62
13 V Yvette	59	56
14 S Nina	53	50
15 D Rémi	47	45
16 L Marcel	44	
17 M Roseline	44	46
18 M Prisca	49	54
19 J Marius	59	66
20 V Sébastien	72	79
21 S Agnès	85	91
22 D Vincent	96	100
23 L Banard	103	105
24 M François de S.	105	103
25 M C. de Paul	101	97
26 J Paule	91	85
27 V Angèle	78	71
28 S Thomas d'A.	64	57
29 D Gildas	50	45
30 L Martine	40	
31 M Marcelle	38	38

Février 2023		
01 M Ella	40	43
02 J Pré. du S.	47	52
03 V Blaise	56	61
04 S Véronique	65	69
05 D Agathe	72	75
06 L Gaston	78	80
07 M Eugénie	81	82
08 M Jacqueline	82	82
09 J Apoline	81	80
10 V Arnaud	78	75
11 S ND de Lourdes	72	68
12 D Félix	63	59
13 L Béatrice	54	49
14 M Valentin	45	41
15 M Claude	40	
16 J Julienne	42	46
17 V Alexis	52	60
18 S Bernadette	69	77
19 D Gabin	86	93
20 L Aimée	100	105
21 M Damien	109	111
22 M Isabelle	112	110
23 J Lazare	107	103
24 V Modeste	97	90
25 S Roméo	82	73
26 D Nestor	65	56
27 L Honorine	47	40
28 M Romain	33	29

Mars 2023		
01 M Aubin	28	
02 J Charles le Bon	30	34
03 V Guénolé	40	46
04 S Casimir	52	58
05 D Olive	64	69
06 L Colette	73	78
07 M Félicité	81	85
08 M Jean de Dieu	87	89
09 J Françoise	90	90
10 V Vivien	90	88
11 S Rosine	86	83
12 D Justine	79	74
13 L Rodrigue	69	63
14 M Mathilde	57	50
15 M Louise	44	39
16 J Bénédicte	37	
17 V Patrice	38	43
18 S Cyrille	51	60
19 D Joseph	70	79
20 L Printemps	88	95
21 M Clémence	102	106
22 M Léa	109	111
23 J Victorien	110	108
24 V Catherine	105	100
25 S Annonciation	94	87
26 D Larissa	79	71
27 L Habib	63	54
28 M Gontran	46	38
29 M Gwladys	31	26
30 J Amédée	24	
31 V Benjamin	26	30

Avril 2023		
01 S Hugues	36	42
02 D Sandrine	49	55
03 L Richard	62	67
04 M Isidore	73	78
05 M Irène	82	86
06 J Marcellin	88	91
07 V Jean-Baptiste..	92	93
08 S Julie	92	91
09 D Pâques	89	85
10 L L. de Pâques	81	76
11 M Stanislas	70	63
12 M Jules	57	50
13 J Ida	44	40
14 V Maxime	39	
15 S Paterne	42	48
16 D Benoît-Joseph	56	64
17 L Anicet	72	80
18 M Parfait	87	92
19 M Emma	97	100
20 J Odette	101	102
21 V Anselme	101	99
22 S Alexandre	95	91
23 D Georges	86	80
24 L Fidèle	74	67
25 M Marc	60	53
26 M Alida	46	40
27 J Zita	34	29
28 V Valérie	27	
29 S Catherine...	27	29
30 D Robert	34	39

Mai 2023		
01 L Fête du travail	45	51
02 M Boris	57	63
03 M Philippe; Jacqu	68	73
04 J Sylvain	78	82
05 V Judith	85	88
06 S Prudence	90	90
07 D Gisèle	90	90
08 L Armistice 1945	88	85
09 M Pacôme	81	76
10 M Solange	71	65
11 J Estelle	60	54
12 V Achille	51	48
13 S Rolande	48	
14 D Matthias	50	54
15 L Denise	59	64
16 M Honoré	70	74
17 M Pascal	79	82
18 J Ascension	85	86
19 V Yves	87	87
20 S Bernardin	87	85
21 D Constantin	83	80
22 L Emile	77	73
23 M Didier	69	65
24 M Donatien	60	55
25 J Sophie	50	46
26 V Bérenger	41	38
27 S Augustin	35	34
28 D Germain	34	
29 L Aymar	35	38
30 M Ferdinand	42	46
31 M V. Ste Vierge	51	56

Juin 2023		
01 J Justin	61	66
02 V Blandine	71	75
03 S Kévin	79	82
04 D Clotilde	84	86
05 L Igor	87	88
06 M Norbert	87	86
07 M Gilbert	84	81
08 J Médard	77	73
09 V Diane	70	66
10 S Landry	63	60
11 D Barnabé	58	
12 L Guy	57	57
13 M Antoine de P.	58	60
14 M Elisée	62	64
15 J Germaine	66	68
16 V J-F Régis	70	71
17 S Hervé	72	73
18 D Léonce	74	74
19 L Romuald	74	73
20 M Silvère	72	70
21 M Été	69	66
22 J Alban	64	61
23 V Audrey	58	56
24 S Jean-Baptiste	53	50
25 D Prosper	47	45
26 L Anthelme	43	42
27 M Fernand	41	
28 M Irénée	42	43
29 J Pierre; Paul	46	49
30 V Martial	53	58

Juillet 2023		
01 S Thierry	62	67
02 D Martinien	72	77
03 L Thomas	81	85
04 M Florent	88	90
05 M Antoine	92	93
06 J Mariette	93	92
07 V Raoul	89	86
08 S Thibault	83	78
09 D Amandine	74	69
10 L Ulrich	64	59
11 M Benoît	56	
12 M Olivier	53	51
13 J Henri; Joël	50	51
14 V Fête Nationale	52	54
15 S Donald	57	60
16 D ND du M. Carm	62	65
17 L Charlotte	67	69
18 M Frédéric	71	72
19 M Arsène	73	73
20 J Marina	73	73
21 V Victor	72	71
22 S Marie-Madelein	69	67
23 D Brigitte	65	62
24 L Christine	59	56
25 M Jacques	52	49
26 M Anne; Joachin	46	44
27 J Nathalie	42	
28 V Samson	42	43
29 S Marthe	45	50
30 D Juliette	55	62
31 L Ignace de L.	68	75

Août 2023		
01 M Alphonse	82	88
02 M Julien E.	93	96
03 J Lydie	102	104
04 V Jean-Marie V.	104	104
05 S Abel	101	97
06 D Transfiguration	92	86
07 L Gaétan	79	72
08 M Dominique	64	57
09 M Amour	50	
10 J Laurent	44	40
11 V Claire	38	39
12 S Clarisse	41	45
13 D Hippolyte	49	54
14 L Evrard	59	63
15 M Assomption	67	70
16 M Armel	74	76
17 J Hyacinthe	78	80
18 V Hélène	81	81
19 S Jean-Eudes	81	80
20 D Bernard	79	77
21 L Christophe	74	71
22 M Fabrice	68	64
23 M Rose de L.	59	54
24 J Barthélémy	49	44
25 V Louis	40	
26 S Natacha	37	37
27 D Monique	40	45
28 L Augustin	52	61
29 M Sabine	70	79
30 M Fiacre	87	95
31 J Aristide	102	107

Septembre 2023		
01 V Gilles	110	112
02 S Ingrid	112	110
03 D Grégoire	107	101
04 L Rosalie	95	87
05 M Raissa	79	70
06 M Bertrand	61	52
07 J Reine	44	37
08 V Nativité	32	
09 S Alain	30	31
10 D Inès	35	41
11 L Adelphe	47	53
12 M Apollinaire	59	64
13 M Aimé	69	73
14 J Croix Glorieuse	77	80
15 V Roland	83	85
16 S Edith	86	87
17 D Renaud	87	87
18 L Nadège	85	83
19 M Emilie	80	77
20 M Davy	72	67
21 J Matthieu	62	56
22 V Maurice	49	43
23 S Automne	38	
24 D Thècle	35	35
25 L Hermann	39	47
26 M Côme; Damien	55	65
27 M Vincent de P.	75	84
28 J Venceslas	92	100
29 V Mich., Gab., Ra	105	110
30 S Jérôme	112	112

Octobre 2023
Pas de campagne

Novembre 2023		
01 M Toussaint	84	78
02 J Défunts	71	63
03 V Hubert	56	49
04 S Charles	42	36
05 D Sylvie	31	29
06 L Bertille	29	
07 M Carine	31	35
08 M Geoffroy	40	45
09 J Théodore	51	56
10 V Léon	62	66
11 S Armistice	71	75
12 D Christian	79	82
13 L Brice	84	86
14 M Sidoine	87	87
15 M Albert	86	84
16 J Marguerite	82	79
17 V Elisabeth	75	71
18 S Aude	66	61
19 D Tanguy	56	52
20 L Edmond	49	48
21 M P. de Marie	49	
22 M Cécile	52	56
23 J Clément	61	67
24 V Flora	72	77
25 S Catherine	81	85
26 D Delphine	88	89
27 L Sévrin	90	90
28 M Jacques...	89	87
29 M Saturnin	85	82
30 J André	78	74

Décembre 2023		
01 V Florence	69	64
02 S Viviane	60	54
03 D François-Xav...	50	45
04 L Barbara	41	38
05 M Gérald	36	35
06 M Nicolas	35	
07 J Ambroise	36	39
08 V Immaculée C.	43	47
09 S Pierre Fourier	51	56
10 D Romaric	61	65
11 L Daniel	70	73
12 M JF de Chantal	77	80
13 M Lucie	82	84
14 J Odile	85	86
15 V Ninon	85	84
16 S Alice	83	80
17 D Gaël	77	74
18 L Gatien	71	67
19 M Urbain	64	61
20 M Théophile	59	57
21 J Hiver	57	
22 V Françoise-Xav.	57	59
23 S Armand	61	63
24 D Adèle	66	69
25 L Noël	71	74
26 M Etienne	75	77
27 M Jean	78	78
28 J Innocents	78	78
29 V David	77	75
30 S Roger	73	71
31 D Sylvestre	68	65

Janvier 2024		
01 L Jour de l'an	61	58
02 M Basile	54	51
03 M Geneviève	47	44
04 J Odilon	41	39
05 V Edouard	38	38
06 S Mélaine	39	
07 D Raymond	41	45
08 L Lucien	49	54
09 M Alix	59	65
10 M Guillaume	70	76
11 J Pauline	80	85
12 V Tatiana	89	92
13 S Yvette	95	96
14 D Nina	97	96
15 L Rémi	94	91
16 M Marcel	87	82
17 M Roseline	76	70
18 J Prisca	64	59
19 V Marius	54	50
20 S Sébastien	48	
21 D Agnès	47	48
22 L Vincent	51	54
23 M Banard	58	62
24 M François de S.	66	70
25 J C. de Paul	73	75
26 V Paule	78	79
27 S Angèle	80	81
28 D Thomas d'A.	80	80
29 L Gildas	78	76
30 M Martine	74	71
31 M Marcelle	67	64

Février 2024		
01 J Ella	59	55
02 V Pré. du S.	50	46
03 S Blaise	42	38
04 D Véronique	35	
05 L Agathe	34	36
06 M Gaston	39	45
07 M Eugénie	52	59
08 J Jacqueline	67	76
09 V Apolline	83	91
10 S Arnaud	97	103
11 D ND de Lourdes	107	109
12 L Félix	110	110
13 M Béatrice	107	103
14 M Valentin	97	90
15 J Claude	83	74
16 V Julienne	65	56
17 S Alexis	48	42
18 D Bernadette	37	
19 L Gabin	35	37
20 M Aimée	41	46
21 M Damien	52	58
22 J Isabelle	63	68
23 V Lazare	73	77
24 S Modeste	80	82
25 D Roméo	84	86
26 L Nestor	86	86
27 M Honorine	86	84
28 M Romain	82	79
29 J Auguste	76	72

Mars 2024		
01 V Aubin	67	62
02 S Charles le Bon	57	51
03 D Guénolé	45	40
04 L Casimir	35	31
05 M Olive	31	
06 M Colette	35	42
07 J Félicité	50	60
08 V Jean de Dieu	70	80
09 S Françoise	89	97
10 D Vivien	104	110
11 L Rosine	114	116
12 M Justine	116	115
13 M Rodrigue	111	106
14 J Mathilde	99	90
15 V Louise	82	72
16 S Bénédicte	62	52
17 D Patrice	44	36
18 L Cyrille	31	
19 M Joseph	30	32
20 M Printemps	37	43
21 J Clémence	50	56
22 V Léa	62	67
23 S Victorien	72	76
24 D Catherine	80	83
25 L Annonciation	85	87
26 M Larissa	88	88
27 M Habib	87	86
28 J Gontran	85	82
29 V Gwladys	79	75
30 S Amédée	70	65
31 D Pâques	59	53

Figure 2 : Calendrier des campagnes réalisées entre avril 2022 et mars 2024. Les valeurs colorées indiquent le coefficient de maré (source : setec énergie environnement, 2023)

2.3 MOYENS NAUTIQUES ET MATERIELS

2.3.1 Moyens nautiques

Le navire Minibex de la société SAAS (Ship As A Service / en haut sur la photo ci-dessous) est utilisé pour les relevés à la sonde multiparamètres, les prélèvements d'eau à la bouteille Niskin et au filet WP2. Ce navire hauturier armé en 1ère catégorie présente l'équipement nécessaire en termes de navigation, de sécurité et d'équipements techniques pour la réalisation de la mission. En raison de l'indisponibilité du Minibex pour quatre campagnes (avril & mai 2022 ainsi que janvier & février 2023), les campagnes d'échantillonnage correspondantes ont été réalisées sur le navire Sterenn Red (en bas ci-dessous).

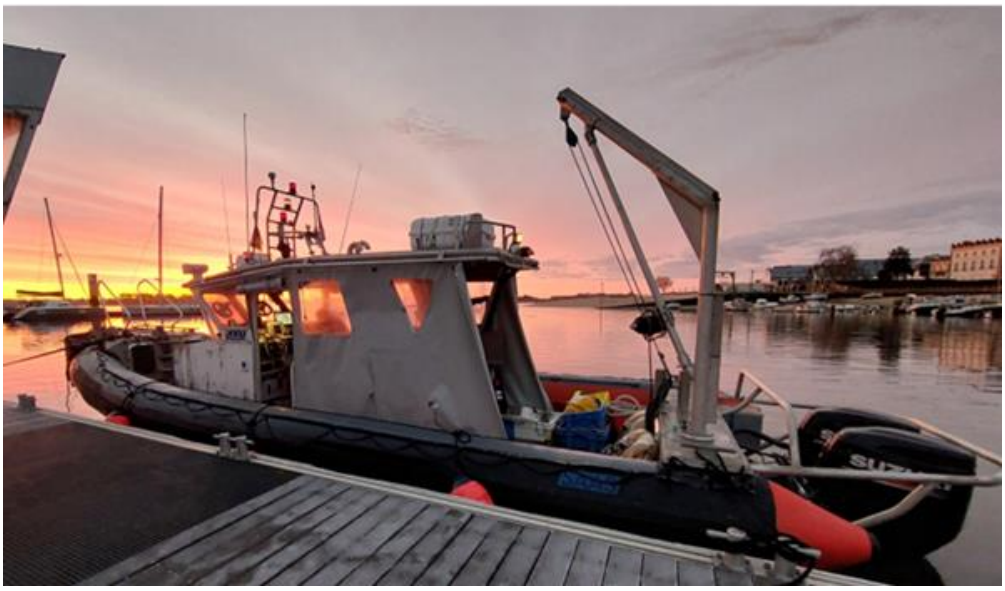


Photo 1 : Le « Minibex » (source : Sylvain Reyt / Faune Océan, 2022) et le « Sterenn Red » (source : setec énergie environnement, 2024)

2.3.2 Moyens matériels

2.3.2.1 ECO-MARS 3D

Afin de disposer d'un moyen de suivi quasi-continu, les sorties du modèle numérique ECO-MARS 3D, développé par l'IFREMER, ont été bancarisées. Les données collectées au sein d'un large périmètre incluant la zone d'étude (maillage de 4 km, devant évoluer vers des zooms de 1 km) apportent à la fois une vision large échelle de la production primaire et un moyen de restituer la dynamique saisonnière de ce compartiment.

Tableau 1 : Caractéristiques des données disponibles depuis le modèle MARC B1 ECOMARS3D (source : Ifremer et al., 2021)

Nom du modèle	Extension	Résolution spatiale	Résolution temporelle	Nombre de niveaux sur la verticale
B1-ECOMARS3D-MANGA4000	Manche Golfe de Gascogne	4 km	24 h	30

2.3.2.2 Bouteille Niskin & sonde multiparamètres

Au niveau de chaque station de suivi, des prélèvements d'eau sont réalisés à l'aide d'une bouteille Niskin téflonée de 5 litres systématiquement en sub-surface (entre -1 et -5 mètres).

Un flacon en plastique de 250 ml est rempli avec une partie de l'eau prélevée à la bouteille Niskin. Afin de fixer les cellules phytoplanctoniques, une solution de lugol est déposée dans le flacon pour stabiliser les cellules.

Photo 2 : Bouteille Niskin en cours de chargement lors de la campagne de novembre 2022 & flacons de phytoplancton lugolisés à la station PLA09 lors de la campagne de mai 2022 (source : setec énergie environnement, 2022)

De plus, toujours au niveau de chaque station, des profils verticaux de mesures physico-chimiques à la sonde WiMo Plus de chez NKE sont également réalisés à la sonde multiparamètres. La sonde est lestée afin d'assurer la plus grande verticalité des mesures puis descendue jusqu'à la proximité du fond avant d'être remontée en surface. Le paramétrage de la sonde permet l'enregistrement de ces paramètres à une fréquence de quelques secondes pendant son déploiement. Ainsi, pour chaque station de prélèvement, la mesure est effectuée sur un profil descendant et un profil ascendant parcourant l'ensemble de la colonne d'eau (surface --> fond --> surface).

L'acquisition d'un profil vertical à l'aide d'une sonde multi paramètres munie de différents capteurs permet de caractériser l'environnement physique au moment des prélèvements de plancton. L'emploi d'un capteur de fluorimétrie permet d'ailleurs de connaître la teneur en chlorophylle *a,* proxy de la production primaire,

notamment dans le but de déterminer la profondeur présentant le maximum de concentration de ce pigment et donc de biomasse phytoplanctonique. Lors de la deuxième année de suivi, un flacon supplémentaire pour l'étude du phytoplancton a été prélevé à la profondeur correspondant au maximum de chlorophylle *a* lorsque celui-ci était identifiable grâce à la mesure de la fluorescence.

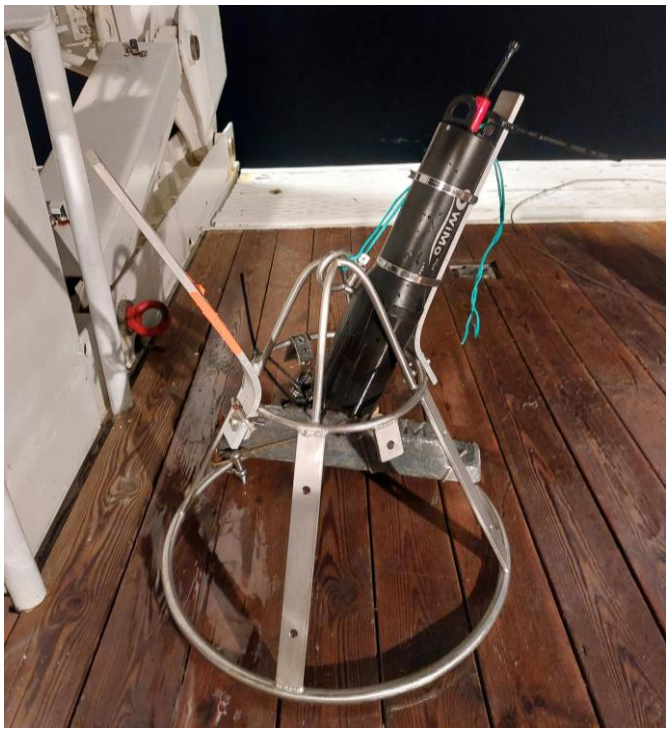


Photo 3 : Déploiement de la sonde multiparamètres WiMo Plus de NKE (source : setec énergie environnement, 2023)

2.3.2.2.2 Identification du pic de fluorescence

À chaque station, le fichier de données mesurées par la sonde est téléchargé puis ouvert avec le logiciel Flow CSV Viewer 1.1.8 qui permet de visualiser facilement le profil de la sonde. L'identification du pic de fluorescence est réalisée en analysant l'allure du profil de fluorescence et les écarts de valeurs entre la surface et plus en profondeur, comme l'illustre la Figure 3.

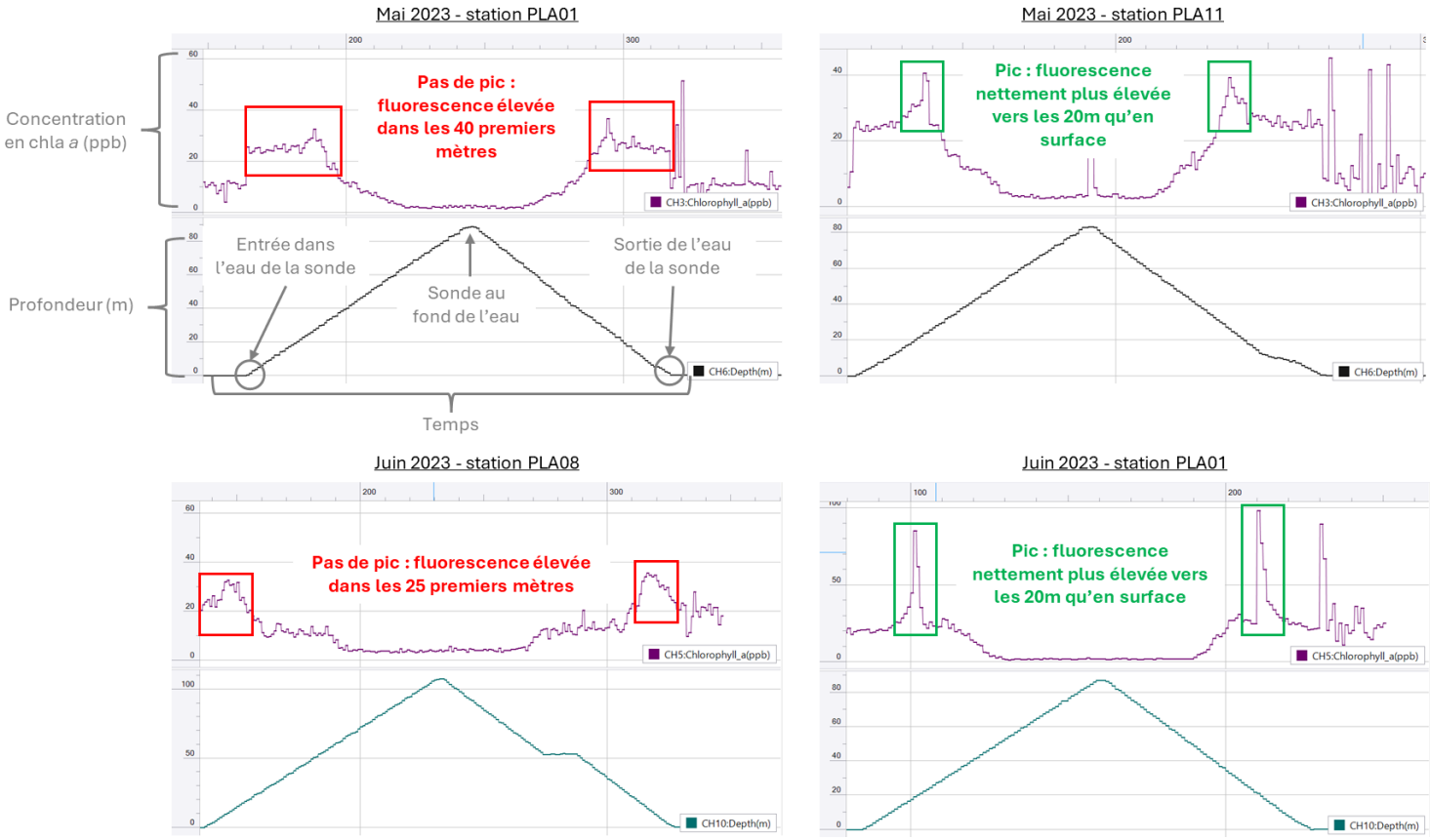


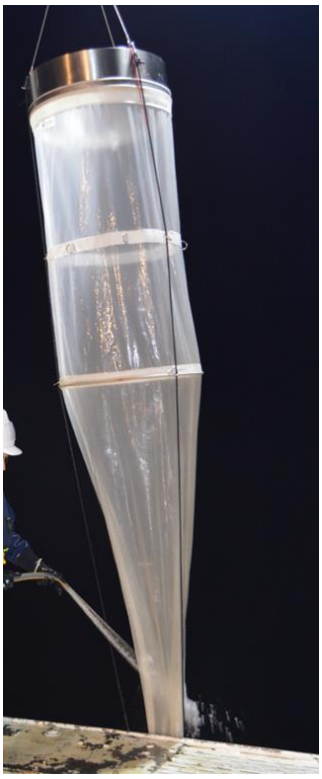
Figure 3 : Identification du pic en fluorescence (source : setec énergie environnement, 2024)

2.3.2.3 Filet WP2

Au niveau de chaque station de suivi, un filet WP2 d'une maille de 200µm est utilisé pour prélever le zooplancton. Ce matériel est spécifique à l'échantillonnage zooplancton et conseillé dans les documents cadres (DCSMM & PAMM). Le filet WP2 est descendu à une profondeur d'environ 50m. L'échantillon se constitue au cours de la remontée du filet. Le zooplancton étant capable de migration verticale, ce mode d'échantillonnage permet de s'extraire de biais potentiels en permettant d'optimiser l'échantillonnage tout en normalisant l'effort de prélèvement entre stations et entre années. Une fois le filet en surface, il est rincé à l'aide de la manche à eau du bateau (à gauche sur la Photo 4) pour concentrer l'échantillon dans le collecteur (en haut à droite sur la Photo 4). Le contenu du collecteur est vidé dans un tamis de 200µm à l'aide d'eau de mer filtrée. La matière biologique est ensuite versée dans un flacon plastique de 500ml avec une solution de formol diluée à 4% pour permettre la bonne conservation de l'échantillon jusqu'au traitement en laboratoire (obtention d'un échantillon biologique fixé à 2% de formol). Un débitmètre mécanique avec butée (impossibilité de marche inversée) est fixé sur le filet WP2 et permet de calculer le volume exact qui a été filtré (en bas à droite sur la Photo 4).

Les métadonnées suivantes sont annotées sur le terrain :

- Heure d'échantillonnage ;
- Nombre de tours effectués par le débitmètre : cette valeur permet par la suite de connaître le volume précis qui a été effectivement filtré par l'engin de prélèvement à chaque station ;
- Toute autre information jugée pertinente, notamment s'il y a un phénomène de colmatage ou bien la présence de gélatineux. Les gros gélatineux sont photographiés avant d'être retirés de l'échantillon et font l'objet d'une analyse semi-quantitative.



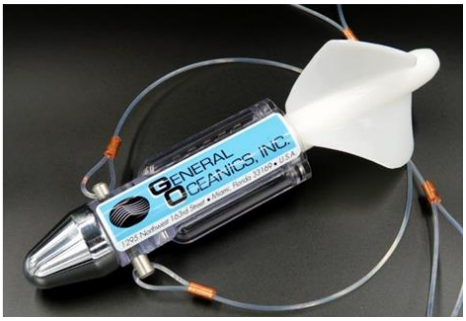


Photo 4 : À gauche et en haut : filet WP2 et collecteur chargé en zooplancton pendant la campagne de novembre 2022 (source : setec énergie environnement, 2023) et en bas : débitmètre (source : Maritech)

2.4 PARAMETRES ANALYSES ET MESURES

2.4.1 Mesures à la sonde de différentes variables environnementales

Les paramètres suivants sont mesurés avec la sonde multiparamètres : Pression (dbar), Conductivité (mS/cm), Température (°C), Concentration (mg/l) et Saturation (%) en oxygène dissous, Turbidité (NTU - *Nephelometric Turbidity Unit*), Chlorophylle *a* (ppb - *parts per billion* soit partie par milliard), Salinité (PSU - Practical Salinity Unit) et Profondeur (m).

2.4.2 Échantillons d'eau prélevés à l'aide de la bouteille Niskin

Les échantillons biologiques fixés au lugol sont transmis à un expert en identification phytoplanctonique qui détermine les cellules au microscope jusqu'à l'espèce si possible en appliquant la stratégie de dénombrement en Flores Totales d'Ifremer (Neaud-Masson, 2020). Cette méthodologie repose sur l'identification et le dénombrement des cellules dont la taille est supérieure à 20 µm (microphytoplancton), et celles dont la taille est inférieure mais qui sont en chaîne ou colonie. Les cellules plus petites sont dénombrées seulement quand elles sont potentiellement toxiques ou qu'elles présentent de fortes abondances (> 100 000 cellules/L). La restitution d'une information qualitative (liste d'espèces) et quantitative (concentration cellulaire en nombre de cellules par litre – ci-après cellules/l) permet alors de caractériser précisément la communauté phytoplanctonique échantillonnée. L'analyse des échantillons de phytoplancton par microscopie a été réalisée par Sylvain Coulon (HYDRECO, 12 rue Gustave Eiffel, ZI de Pariacabo, BP823 - 97388 KOUROU CEDEX).

2.4.3 Échantillons prélevés à l'aide du filet WP2

Les échantillons biologiques ont été traités dans le but de restituer une information qualitative (liste d'espèces) et quantitative (abondance en individu/m^3 – ci-après ind.m-3). Pour cela, ils ont été transmis aux experts taxonomiques et analysés suivant deux procédés complémentaires :

- **Le microscope optique / loupe binoculaire** via l'expertise apportée par un spécialiste en identification zooplanctonique. L'identification des espèces sur la base de la reconnaissance de critères morphologiques permet d'obtenir une grande précision taxonomique, mais cette méthode reste particulièrement chronophage et demande un niveau d'expertise rare. Aussi, cette méthode d'analyse est mise en œuvre sur 2 échantillons pour chaque campagne : 1 échantillon provenant de la station PLA03 dans la zone de l'AO5 et 1 échantillon provenant de la station PLA07 à l'extérieur de la zone de l'AO5, en dehors de la zone d'influence du parc par rapport aux courants (Figure *4*). L'analyse des échantillons par microscopie a été réalisée par Dr. Antoine Nowaczyk (UMR CNRS 5805 EPOC – ECOBIOC, Station Marine d'Arcachon, Université de Bordeaux, antoine.nowaczyk@u-bordeaux.fr). Le protocole d'analyse est détaillé ci-dessous.
- **L'imagerie Zooscan**, via l'analyse semi-automatisée d'images permettant la mesure et la classification d'organismes et de particules (de 150 µm à 5 cm) présents dans un milieu liquide. L'imagerie Zooscan permet de traiter d'importants volumes d'échantillons, mais restitue une information moins précise. Les 2 échantillons ayant fait l'objet d'une double analyse (expert + Zooscan) permettront une comparaison entre les deux méthodes d'analyse. L'analyse des échantillons par Zooscan a été réalisée par Dr. Delphine Thibault (Institut Méditerranéen d'Océanologie, Université de Aix-Marseille, delphine.thibault@univ-amu.fr). Le protocole d'analyse est détaillé ci-dessous (Thibault, 2024).

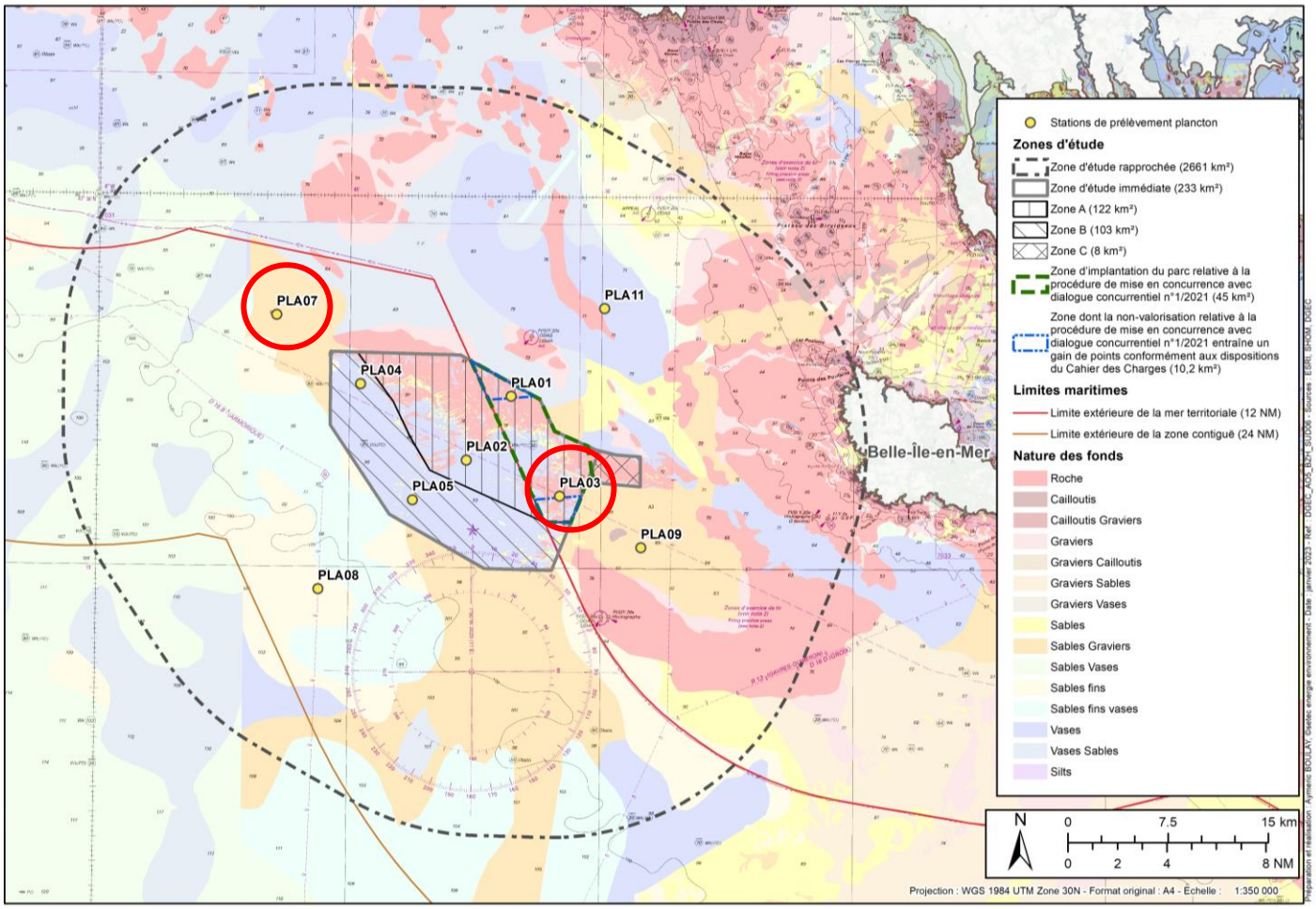


Figure 4 : Localisation des stations d'échantillonnage du zooplancton PLA03 et PLA07 (source : setec énergie environnement, 2024)

2.4.3.1 Protocole d'analyse au microscope

Afin d'estimer le nombre et l'identification de chaque taxon dans chaque échantillon, le comptage est réalisé par sous-échantillonnage. Pour cela, le contenu du flacon contenant les individus stockés dans une solution de formaldéhyde/eau à 4 % est filtré sous une hotte aspirante et rincé abondamment avec de l'eau afin d'éliminer les traces de formol. La totalité du contenu est introduit dans une éprouvette graduée (de 50 à 250 mL) puis le niveau est complété avec de l'eau jusqu'à atteindre le volume souhaité en fonction de la quantité d'organisme. L'ouverture est bouchée à l'aide d'un parafilm.

L'éprouvette est ensuite délicatement homogénéisée par mouvements de va et vient puis, un aliquote est rapidement prélevé à l'aide d'une micropipette de 1 ou 10 ml puis déposé dans une cuve de Dollfus. Cette cuve de comptage contenant 200 cases est adaptées au comptage de petits organismes.

Le comptage est réalisé à l'aide d'une loupe binoculaire NIKON SMZ25. L'ensemble du premier sous échantillon est compté pour tous les organismes. Dans le cas de taxons en faibles abondances, d'autres sous échantillonnages sont nécessaires. La taxinomie est toujours réalisée jusqu'à atteindre la totalité de l'échantillon pour les taxons les plus rares.

Pour terminer, tous les individus sont ensuite tamisés et reconcentrés dans le flacon d'origine et stockés avec la solution de formaldéhyde/eau à 4 % de départ.

2.4.3.1 Protocole d'analyse au Zooscan

Au laboratoire, les échantillons formolés sont remis en suspension dans une solution d'eau douce afin de retirer le formol. L'échantillon est ensuite séparé à l'aide d'un tamis de 1000µm en deux classes de taille : 200-100 µm et >1000 µm (cf. Figure 5 photo 2). Chaque sous-échantillon est ensuite fractionné, si nécessaire, à l'aide d'une boite de Motoda (cf. Figure 5 photo 4).

Il est important de vérifier que les différents organismes ne se touchent pas, il est donc nécessaire de séparer manuellement les organismes à l'aide d'une épine de cactus (cf. Figure 5 photo 6).

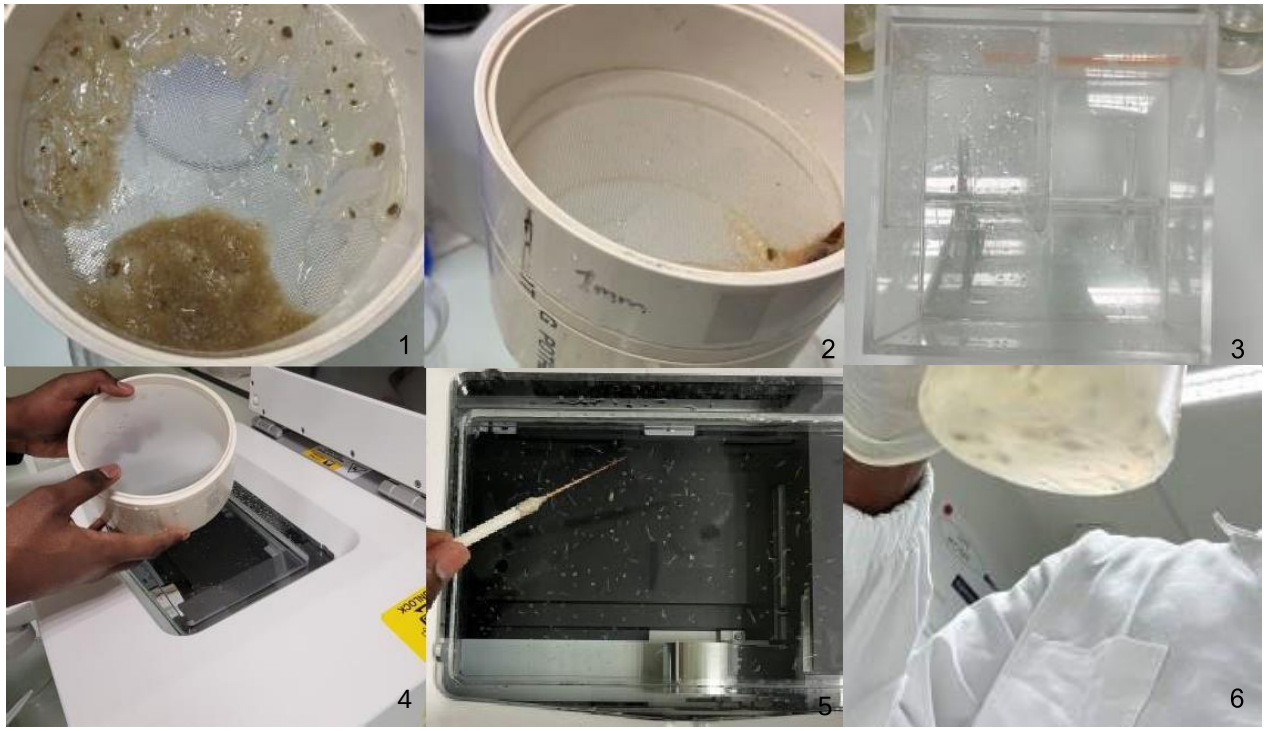


Figure 5 : Les différentes étapes de fractionnement d'un échantillon au laboratoire (source : (Thibault, 2024)

Après avoir scanné les échantillons, chaque scan (cf. Figure 6) est traité, numérisé, normalisé et chaque objet détecté isolé sous forme de vignette. Chaque vignette a été identifiée individuellement à l'aide de l'application en ligne Ecotaxa (Picheral et al., 2017). Ecotaxa est basé sur un algorithme de forêt aléatoire (Breiman, 2001) et une série de réseaux neuronaux convolutifs spatialement clairsemés spécifiques à l'instrument (Graham, 2014) qui ont été utilisés dans une approche combinée pour prédire l'identification d'objets non identifiés. Tout d'abord, une classification automatique des vignettes individuelles non identifiées en catégories de zooplancton et de non-zooplancton a été effectuée. Ecotaxa a hébergé des ensembles de données d'images spécifiques à l'instrument, préalablement organisés et disponibles gratuitement, qui ont été utilisés comme ensembles d'apprentissage initiaux. Cette première classification est ensuite révisée par une visualisation de chaque vignette pour validation manuelle (maintien dans le taxon proposé ou déplacement dans le taxon adéquat). Lorsque les images le permettent, une validation à un niveau taxonomique plus fin est réalisée. Un millier d'images validées dans le projet ont été utilisées comme « set d'apprentissage spécifique » afin d'améliorer les identifications automatiques grossières initiales. Ce processus a été répété jusqu'à ce que toutes les vignettes individuelles soient classées jusqu'à leur niveau maximal de détail taxonomique.

L'ensemble des vignettes est transféré dans un projet créé sous *ecotaxa* (https://ecotaxa.obs-vlfr.fr/) via un protocole ftp et la classification semi-automatisée effectué (cf. Figure 7). Le projet créé sous ecotaxa est intitulé « Eolien offshore AO5 - 2022-2024 complet [476763] Delphine Thibault ». L'ensemble des données du projet est sous copyright dans Ecotaxa.

L'ensemble des données est alors transféré sous excel pour traitement et analyses statistiques.

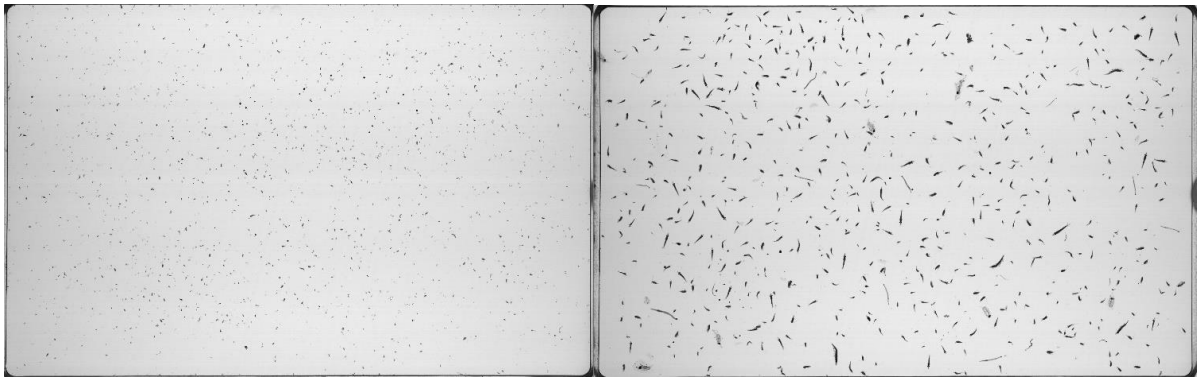


Figure 6 : Images des scans des deux fractions analysées pour un échantillon (fraction 200-1000 µm à gauche, fraction > 1000 µm à droite)

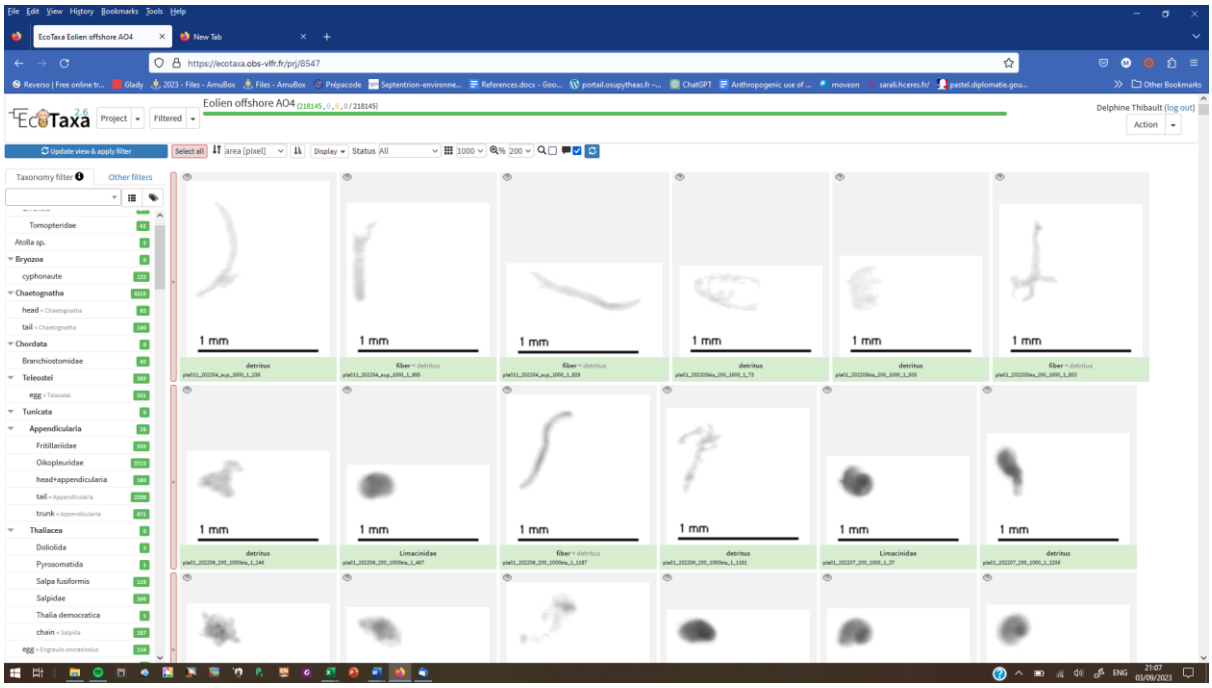


Figure 7 : Extrait de la visualisation des vignettes et classification sous Ecotaxa

2.5 ANALYSE DE DONNEES

2.5.1 Variables environnementales

Afin d'avoir une vision globale de l'évolution mensuelle des paramètres physico-chimiques sur la période d'études, les valeurs des différents paramètres aux différentes stations ont été moyennées par campagne et par tranche de paramètre.

Un focus a été fait dans la partie Communauté phytoplanctonique (cf. §3.2.1) sur les mesures de fluorescence afin de réaliser une analyse comparée entre stations sur la colonne d'eau.

À noter qu'en raison d'une absence de capteur de fluorimétrie lors de la campagne de septembre 2022, aucune mesure n'a pu être enregistrée lors de cette campagne sur ce paramètre. Pour la même raison, seuls 2 profils, ceux à la station PLA08 et PLA05, sur 9 sont disponibles pour la campagne de mars 2023. De plus, en raison d'un défaut du capteur de turbidité lors de la campagne d'août 2022 et de février 2023, aucune mesure n'a pu être enregistrée sur ce paramètre lors de ces campagnes. Pour la même raison, seuls 2 profils sont disponibles en janvier 2023 et 3 en mars 2023. Enfin, la campagne d'octobre 2023 n'a pas eu lieu en raison de trop mauvaises conditions météorologiques comme indiqué ci-dessus.

2.5.2 Communauté phytoplanctonique

2.5.2.1 Evolution de la chlorophylle *a* simulée en surface par ECO-MARS 3D dans la zone d'étude élargie entre janvier 2022 et avril 2024

Les sorties du modèle numérique ECO-MARS 3D d'Ifremer ont été bancarisées. À partir de ces données, des cartes de concentration chlorophyllienne de surface ont été produites pour chacun des mois sur la période [Janvier 2022 – Avril 2024]. Ces éléments cartographiques offrent ainsi un moyen de visualiser la dynamique spatio-temporelle de la chlorophylle *a*, proxy de la production primaire et utilisée comme indicateur de l'état écologique du phytoplancton (indice PH2 – Phytoplancton, DCMM).

2.5.2.2 Composition de la communauté phytoplanctonique de surface

Pour cet état initial de 2 ans, un total de 234 taxons différents (espèces ou groupes d'espèces) a été identifié entre avril 2022 et mars 2024. L'identification a été centrée sur le phytoplancton dont la taille est supérieure à 20µm.

2.5.2.2.1 Abondance

Pour cette étude, certains taxons de taille inférieure n'ont été identifiés et comptés uniquement quand ils étaient présents en fortes abondances comme le préconise la méthodologie d'Ifremer (Neaud-Masson, 2020). Ainsi ces taxons, uniquement comptés lorsqu'abondants et non le reste du temps, ont été écartés du jeu de données, car leurs occurrences ne reflètent qu'un instant particulier et non pas une tendance spatio-temporelle. Les taxons retirés sont le phytoplancton de la classe des Coccolithophycées, les genres de Cyanobactéries *Aphanocapsa* et *Aphanothece* ainsi que le genre de Cryptophytes *Teleaulax*.

De plus, afin de faciliter les analyses de communautés et de réduire les biais dans l'ensemble des données dus à la difficulté de différencier certaines espèces ou certains genres, des **unités taxonomiques** – ci-après « UT » ont été utilisées. Une unité taxonomique est donc composée soit d'une seule espèce (facilement identifiable), soit d'un groupe de plusieurs espèces identifiés qu'au niveau du genre, donc difficiles à différencier (Houliez et al., 2021). Les 230 taxons, après retrait du petit phytoplancton, ont été réunis en 99 UT. Parmi elles, 6 UT ont été retirées de l'analyse car identifiées à un niveau taxonomique trop élevé pour permette une analyse fine des communautés, à savoir les Diatomées pennées araphidées, les Diatomées centriques, les Diatomées pennées, les ordres de Dinoflagellés des Gonyaulacales, Gymnodiniales et Peridiniales.

Le retrait de ces UT entraîne une perte d'abondance mais il est considéré qu'en termes de composition, cela est identique à ce qui a pu être identifié. L'Annexe 1 présente les 93 UT utilisées pour les analyses suivantes et les taxons contenus dans ces UT.

Une attention particulière est également portée sur la détection d'espèces phytoplanctoniques responsables d'efflorescences toxiques, telles que les Dinoflagellés des genres *Alexandrium* et *Dinophysis*, et les Diatomées du genre *Pseudo-nitzschia.*

2.5.2.2.2 Indices de diversité

À chaque station, la diversité alpha ou diversité locale, c'est à dire la diversité au niveau d'une station (Whittaker, 1960), a été caractérisée grâce au calcul de différents indices de diversité. Le calcul des indices a donc été réalisé sur les 93 UT et utilisée comme indices de l'état écologique du phytoplancton (PH3, DCMM).

Tout en constituant un élément essentiel de la description de la structure d'un peuplement, la richesse spécifique ne suffit pas toujours à la caractériser de manière optimale. En effet, l'abondance relative des espèces intervient aussi, car seule une faible proportion des espèces est réellement dominante.

Il s'avère nécessaire de combiner la richesse spécifique et l'équitabilité des abondances relatives des espèces afin de résumer l'information de diversité alpha dans un indice. De nombreux indices qui dérivent de « la théorie de l'information » et de « l'entropie du système » ont été proposés et nous présentons ci-après ceux utilisés dans cette étude.

- Indice de Shannon-Weaver (H')

L'indice de Shannon-Weaver (H') représente la quantité moyenne d'information fournie par les espèces et renseigne sur l'hétérogénéité de la structure d'une communauté (Shannon and Weaver, 1963). Son calcul a été réalisé à partir de la formule suivante :

$$\mathrm{H}' = -\sum_{i=1}^{i=S} p_i log_2\,(p_i)$$

où $\boldsymbol{p_i}$ *représente l'abondance proportionnelle de l'espèce de rang i et est compris entre 0 et 1 :* $pi = \frac{n_i}{N}$ *;* ***S*** *la richesse spécifique ;* $\boldsymbol{n_i}$ *le nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ;* ***N*** *le nombre total d'individus*

H' est toujours positif ou égal à 0 lorsqu'il n'y a qu'une seule espèce présente dans l'échantillon. Il est maximal lorsque toutes les espèces sont également distribuées ($H'max=log_2(S)$). Bien que H' augmente lorsque le nombre d'espèces augmente, il est sensible aux espèces rares. Il est donc particulièrement sensible à l'effort d'échantillonnage et doit donc être comparé entre études avec le même plan d'échantillonnage et les mêmes peuplements.

- Indice d'équitabilité de Pielou (E')

L'équitabilité de Pielou (E') permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces (Pielou, 1966). Son calcul a été réalisé à partir de la formule suivante :

$$E' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{log_2(S)}$$

où $\boldsymbol{H'}$ représente l'indice de Shannon-Weaver ; $\boldsymbol{H'_{\max}}$ la valeur maximale de l'indice de Shannon-Weaver ; **S** la richesse spécifique

E' varie entre 0 et 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par le même nombre d'individus. Il est considéré que l'équitabilité du peuplement d'un milieu non-perturbé tend vers 1.

- Indice de Simpson (D)

L'indice de Simpson (D) ou indice de dominance est basé sur la probabilité que deux individus provenant d'un échantillon tiré au hasard appartiennent à la même espèce (Simpson, 1949). Son calcul a été réalisé à partir de la formule suivante :

$$D = 1 - \lambda = 1 - \sum_{i=1}^{i=S} p_i^2$$

où p_i représente l'abondance proportionnelle de l'espèce de rang i et est compris entre 0 et 1 *:* $p_i = \frac{n_i}{N}$; **S** la richesse spécifique *;* n_i *le nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon* ; **N** le nombre total d'individus

D varie entre 0 et 1. Il donne plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares, l'ajout d'une espèce rare à un échantillon ne modifiera pratiquement pas sa valeur. Il permet de se focaliser sur les espèces dominantes et se prête mieux à la comparaison entre habitats que l'indice de Shannon-Weaver.

2.5.2.2.3 Structure de la communauté phytoplanctonique de surface

Pour les analyses multivariées, les UT rares, c'est-à-dire les UT présentes dans moins de 10% des échantillons et qui représentent moins de 30% de l'abondance relative dans les échantillons, ont été retirées (28 UT).

Pour analyser la diversité beta, c'est-à-dire le degré de changement dans la composition spécifique entre stations (Whittaker, 1960), différentes analyses de regroupement ou d'ordination peuvent être réalisées. Ces analyses ont été effectuées à partir d'une matrice de distances construite avec l'indice de similarité de Bray-Curtis communément utilisé pour des données d'abondances d'espèces (Field et al., 1982). Les données ont tout d'abord été transformées en $\log_{10}(x+1)$ afin de réduire la contribution des espèces les plus abondantes.

- Analyses de regroupement

Les analyses de regroupement permettent de mettre en évidence les regroupements naturels des échantillons et de visualiser la structure de la communauté à l'aide d'un dendrogramme. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisée permettant le regroupement des stations et des campagnes selon leur composition faunistique (richesse spécifique et abondance). Les stations au sein d'un même groupe/assemblage sont considérées plus similaires entre elles d'un point de vue faunistique que les stations entre groupes/assemblages différents. Deux méthodes ont été utilisées pour déterminer le nombre optimal d'assemblages issu de l'analyse de regroupement : la méthode classique du coude et selon indices multiples. La méthode du coude consiste à tracer la somme totale des carrés intra-groupes (WSS) en fonction du nombre de groupes. Lorsque la courbe prend la forme d'un coude, cela indique que l'ajout de nouveaux groupes contribue peu à la réduction de la WSS (Kassambara and Mundt, 2020). Le package "factoextra" a été utilisée (v 1.0.7, Kassambara and Mundt, 2020). Pour la méthode utilisant plusieurs indices, la fonction NbClust du package « NbClust » a été utilisée (Charrad et al., 2014), en calculant trente indices de partitionnement. Le meilleur nombre de clusters est défini comme celui recommandé par le plus grand nombre d'indices.

- Analyses d'ordination

Les analyses d'ordination permettent de construire une « carte » des stations dans un nombre réduit de dimensions à partir de leur composition faunistique (richesse spécifique et abondance). Une analyse de positionnement multidimensionnel non métrique (nMDS) a été réalisée sur les stations et campagnes. Plus 2 stations sont proches, plus elles sont semblables.

Une analyse PERMANOVA a été réalisée pour tester si les assemblages identifiés par CAH et nMDS étaient statistiquement différents (Anderson, 2001) en utilisant le package *adonis2* sur R.

- Espèces caractéristiques

La méthode IndVal, proposée par Dufrêne and Legendre, 1997, peut être utilisée pour les assemblages identifiés et ainsi définir les espèces caractéristiques de ces derniers. L'indice IndVal, repose sur la définition du caractère indicateur d'une espèce : une espèce est considérée comme caractéristique si elle est typique d'un groupe de relevés (elle est absente des autres groupes) et si elle est présente dans tous les relevés de ce groupe. Enfin, l'analyse SIMPER a permis de décrire le pourcentage de similarité entre les différents assemblages et de déterminer quelles UT contribuent la plus à la dissimilarité entre les groupes (Clarke, 1993).

Les assemblages identifiés grâce à la CAH et au nMDS ont été caractérisés par la moyenne de leur abondance, leur richesse spécifique, leur diversité (H') et leur équitabilité (E') ainsi que par leur composition spécifique.

Les variations spatio-temporelles de la communauté phytoplanctonique ont été caractérisées en utilisant le logiciel R, avec également les packages *vegan* (Oksanen et al., 2022) et *labdsv* (Roberts, 2023).

2.5.2.3 Comparaison de la communauté de surface avec celle au niveau du pic de fluorescence

Comme indiqué dans la partie 2.3.2.2.2, certaines stations, pour la deuxième année de suivi, ont fait l'objet d'un prélèvement de phytoplancton supplémentaire au niveau du maximum de fluorescence lorsque celui-ci était présent. Pour chaque station, une analyse comparée de la structure de communautés a été réalisé entre la surface et le pic de fluorescence.

2.5.2.4 Focus sur les espèces nuisibles voire toxiques

Les abondances des espèces nuisibles voire toxiques ont été comparées au seuil d'alerte pour les genres *Dinophysis*, *Alexandrium* et *Pseudo-Nitschia*. Des éléments de bibliographie ont été recherchés pour voir s'il existe sur les côtes françaises d'autres espèces pouvant être nuisibles à la faune marine. Les abondances des espèces nuisibles peuvent être aussi considéré comme indicateurs de l'état écologique du phytoplancton (Goberville et al., 2022).

2.5.3 Communauté zooplanctonique

Le jeu de données du Zooscan était composé d'organismes zooplanctoniques entiers, mais également de parties d'organismes, d'organismes morts, de particules non identifiées et d'organismes n'appartenant pas à la communauté du zooplancton (Insecta). Ces particules ont été retirées de l'ensemble de données afin d'estimer correctement l'abondance du zooplancton.

2.5.3.1 Comparaison entre la méthodologie Zooscan et la microscopie

La comparaison des deux techniques a été réalisée de manière descriptive en comparant le nombre de taxons identifiés à chaque niveau taxonomique (espèce, genre, famille, infra-ordre, sous-ordre, ordre, sous-classe, classe, super-classe, sous-embranchement et embranchement) ainsi qu'en comparant l'abondance totale par campagne estimée pour les mêmes échantillons dans chaque technique.

2.5.3.2 L'état écologique du zooplancton

2.5.3.2.1 Description de la communauté

Pour décrire la composition de la communauté zooplanctonique, seuls les données issues des analyses Zooscan ont été prises en compte. La description de la communauté dans l'espace et le temps a été réalisée sur la base de l'abondance du zooplancton et de leur abondance relative au sein de la communauté.

2.5.3.2.2 Indicateurs de l'état écologique

Les indicateurs proposés pour évaluer l'état écologique pour les habitats pélagiques dans le cadre de la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) sont les suivants (Goberville et al., 2022) :

PH1/FW5 : Cet indicateur porte sur les changements des **groupes fonctionnels du plancton**. Le calcul de ces indices est fondé sur une comparaison de l'abondance d'un groupe fonctionnel en fonction de l'abondance de l'autre groupe fonctionnel, à l'aide d'une analyse graphique (McQuatters-Gollop et al., 2019). Ici, une version simplifiée de ces indicateurs sera utilisée, basée sur la proportion de l'abondance totale de chaque groupe fonctionnel. Plusieurs groupes fonctionnels sont définis dans l'annexe 1 de la DCSMM (Goberville et al., 2022). Parmi ceux-ci, nous avons sélectionné ceux qui sont considérés comme les plus importants et aussi souvent utilisés comme indicateurs au niveau international. (Gorokhova et al., 2016; Magliozzi et al., 2023, 2021; McQuatters-Gollop et al., 2019, Tableau 2). La répartition de chaque espèce dans chaque groupe fonctionnel est présentée à l'Annexe 3 (section 6.3).

Tableau 2 : Indicateurs PH1 sélectionnées relatif aux groupes fonctionnels du plancton (source : DCMM, 2022)

Indicateur	Signification	Reference
Abondance totale de zooplancton	Une biomasse élevée de zooplancton peut indiquer une grande disponibilité alimentaire pour les poissons zooplanctivores.	(Gorokhova et al., 2016)
Proportion carnivores/non-carnivore	Indicateur de flux d'énergie et de l'équilibre entre les consommateurs primaires et secondaires.	(Goberville et al., 2022)
Proportion Mero/Holoplancton	Le méroplancton ne passe qu'une partie de son cycle de vie dans le domaine pélagique, et est, pour la plupart, constitué des larves d'organismes benthiques. Un changement dans la proportion de méroplancton et d'holo plancton (plancton passant l'intégralité de son cycle de vie dans le domaine pélagique) peut indiquer une modification	(McQuatters-Gollop et al., 2019)

	de la production benthique et/ou pélagique, avec des conséquences pour le couplage pélagique-benthique (Kirby et al., 2008)	
Proportion gélatineux/non-gélatineux	Les organismes gélatineux dans le plancton peuvent avoir un effet prédateur important sur d'autres crustacés planctoniques et les larves de poissons lorsqu'ils sont abondants, exerçant ainsi une pression sur les populations de poissons. Un changement dans l'abondance relative des crustacés et du zooplancton gélatineux peut donc indiquer une transition d'un écosystème riche en poissons d'intérêt commercial à un écosystème dominé par des organismes gélatineux de faible intérêt commercial (Kirby et al., 2009; Purcell and Arai, 2001; Richardson et al., 2009)	(McQuatters-Gollop et al., 2019)

PH2 – Zooplancton : Cet indicateur porte sur les changements **d'abondance des copépodes** totaux (ind.m-3), parce que les copépodes dominants très souvent le zooplancton total et ils représentent une source alimentaire très importante pour les niveaux trophiques supérieurs, y compris les poissons d'importance commerciale. Cet indice, basée sur des anomalies d'abondance par rapport au cycle saisonnier, est généralement calculé à partir de séries chronologiques longues et repose sur la comparaison entre une période de référence et une période d'évaluation. La période de référence correspond généralement aux cinq ou six dernières années d'observations avant la période d'évaluation. Ici, nous présenterons simplement l'abondance des copépodes par mois/saison.

PH3 : Cet indicateur porte sur les changements dans **la biodiversité du plancton**. Ici, les mêmes indices de diversité que pour le phytoplancton ont été choisis et employés de la même façon que vu dans la partie 2.5.2.2.2 (Richesse spécifique, Indice d'équitabilité de Pielou (E') et Indice de Shannon-Weaver (H') et Indice de Simpson (D)). Pour calculer les indices de diversité, nous avons utilisé les données issues de l'analyse microscopique, car elle offre une meilleure résolution taxonomique et permet des estimations plus précises des indices de diversité. Cependant, étant donné que seules deux stations ont été analysées à l'aide de cette technique (PLA03 et PLA07), une analyse spatiale de ces indices n'est pas possible.

Liste finale des indicateurs pour le zooplancton :

- Abondance totale de zooplancton (PH1)
- Proportion carnivores/non-carnivore (PH1)
- Proportion Mero/Holoplancton (PH1)
- Proportion gélatineux/non-gélatineux (PH1)
- Abondance totale de copépodes (PH2)
- Richesse spécifique (PH3)
- Indice d'équitabilité de Pielou (E') (PH3)
- Indice de Shannon-Weaver (H') (PH3)
- Indice de Simpson (D) (PH3)

2.5.3.2.3 Variabilité spatio-temporelle

Pour tester s'il existe des différences significatives de l'abondances totale du zooplancton entre les zones (immédiate et rapproché), les mois et les saisons, nous avons utilisé des modèles à effets mixtes. Les modèles à effets mixtes permettent de tester l'effet de facteurs fixes (zone et mois ou saison) en tenant compte de la variabilité au sein de chaque groupe en incluant un effet aléatoire (stations). Inclure un facteur aléatoire dans le modèle tient compte du fait que les observations au sein d'un même groupe peuvent être plus similaires entre elles qu'avec les observations d'autres groupes (Zuur et al., 2009). Par exemple, les observations dans la zone immédiate au cours d'un même mois pourraient être plus similaires entre elles qu'avec celles de la zone rapprochée. De plus, l'effet aléatoire prend également en compte le nombre différent de stations par zone (5 stations dans la zone immédiate et 4 stations dans la zone rapprochée). L'effet de la zone, du mois (ou de la saison) et de leur interaction sur chaque indicateur a d'abord été testé à l'aide de modèles linéaires à effets mixtes, en utilisant la fonction *lme* du package *nlme* (v3.1-166, Pinheiro, Bates and R Core Team, 2024). Cependant, ce type de modèles repose sur des hypothèses paramétriques (les résidus du modèle doivent suivre une distribution normale, avoir une variance constante et être indépendants les uns des autres). Les hypothèses paramétriques ont été évaluées à l'aide de l'analyse des graphiques des résidus (QQ plot, résidus vs. valeurs ajustées, et résidus contre les facteurs de regroupement). Pour les données écologiques, et en particulier les données de plancton, qui présentent beaucoup de variabilité aléatoire, les hypothèses paramétriques sont souvent violées. Dans ce cas, une alternative non paramétrique permettant d'ajuster des modèles mixtes a été utilisée : la méthode *Aligned Rank Transform* (ART). L'ART commence par l'alignement des données : pour chaque effet principal (zone et mois ou saison) ou interaction, les données de réponse (les indicateurs) sont « alignées » afin de supprimer tous les autres effets. Les données alignées sont ensuite classées par rang. Une ANOVA standard est ensuite effectuée sur les données alignées et classées, ce qui permet de maintenir des taux d'erreur de Type I corrects ainsi qu'une puissance statistique adéquate (Wobbrock et al., 2011). Les modèles non paramétriques ont été réalisés en utilisant la fonction *art* du package *ARTTool* (v0.11.1, Kay *et al.*, 2021), selon le modèle suivante, où la zone et le mois (ou la saison) sont des effets fixes et la station est un effet aléatoire : Indicateur ~ Zone * Mois + (1|Station). Les indicateurs basés sur les abondances ont été transformés en logarithme (log(x+1)). Si l'interaction est significative, les différences d'abondance entre les zones pour chaque mois (ou saison) ont été testées par le test non paramétrique de Wilcoxon par paires, en utilisant la fonction *wilcox.test* du package *stats* (Bolar, 2019). Des valeurs de p-value inférieures à 0,05 indiquent des différences significatives.

2.5.3.2.4 Focus sur les Copépodes

Étant donné que les Copépodes constituent le groupe dominant de la communauté locale de zooplancton, une analyse descriptive ciblée a été réalisée sur cette communauté.

2.5.3.2.5 Focus sur les organismes gélatineux

Les organismes gélatineux sont des organismes zooplanctoniques qui ne font l'objet que de très peu d'études, l'essentiel de la recherche étant axé sur les Crustacés zooplanctoniques, notamment les Copépodes. Ainsi les engins de prélèvement généralement utilisés, comme le WP2 employé pour cette étude, ont tendance à sous-estimer les différents taxons gélatineux. Pourtant, ils peuvent être très abondants pendant les périodes de blooms et ils ont une grande importance écologique, notamment pour leur rôle de prédateurs d'une très large d'organismes (phytoplancton, zooplancton, œufs et larves de poissons voire des organismes gélatineux).

Plusieurs taxons d'organismes gélatineux ont été collectés sur la zone d'étude de l'AO5 pendant les deux années de suivi :

- Ils ont soit été analysés à l'image du reste du zooplancton (par Zooscan et par microscopie pour les stations concernés). Les taxons identifiés et leur abondance ont été comparé à des informations tirées de bibliographie.

- Soit, en raison de leur taille ou de leur nombre trop important, ils ont été photographiés sur le terrain avant d'être remis à l'eau. Ces photos ont fait l'objet d'une identification par les experts taxonomiques réalisant les analyses Zooscan et microscopie. Ces organismes ont été rangés en différentes classes afin de réaliser une analyse semi-quantitative de ces données.

2.5.3.2.6 Structure de la communauté zooplanctonique

Les mêmes analyses multivariées avec la même préparation de données que pour l'étude de la communauté phytoplanctonique ont été performées sur les données issues du Zooscan, à savoir :

- Classification Hiérarchique Ascendante (CAH)
- Analyse de positionnement multidimensionnel non métrique (nMDS)
- PERMANOVA
- Analyse des espèces indicatrices (IndVal)
- SIMPER

Comme pour le phytoplancton, les taxons très rares, c'est-à-dire ceux qui apparaissent dans moins de 10 % de tous les échantillons, ont également été exclus.

2.5.3.3 Effets des conditions environnementales sur la communauté zooplanctonique

La relation entre les variables environnementales et la structure de la communauté de zooplancton a été évaluée par une analyse de redondance (RDA). La RDA est une analyse d'ordination contrainte qui extrait la structure principale d'un ensemble de données multivariées (communauté) et la relation avec un autre ensemble de données (variables environnementales). Pour cela, la RDA combine des modèles de régression linéaire avec une analyse en composantes principales (PCA). Dans cette analyse, une hypothèse globale (H0) d'absence de relation linéaire entre Y (variables de réponse) et X (variables explicatives) est formellement testé.

L'analyse RDA commence par la constitution de deux matrices : les variables explicatives (X), ici la moyenne du profil vertical des variables environnementales (Température, Salinité, Chlorophylle *a*, Turbidité et Concentration en oxygène dissous O_2) pour chaque observation (c'est-à-dire pour chaque station à chaque campagne), tandis que la seconde matrice contient les variables dépendantes (Y), qui correspondent à l'abondance des taxons dans la communauté, aussi pour chaque observation. Ensuite, pour chaque variable dépendante (taxon), une régression linéaire multiple est réalisée en utilisant les variables environnementales. Cela permet de modéliser l'abondance de chaque taxon en fonction des variables environnementales. Les abondances de la communauté ont été transformées selon la méthode de Hellinger afin de réduire l'influence des nombreux zéros dans les données (Borcard et al., 2018; Legendre and Legendre, 2012). De plus, l'absence de colinéarité entre les variables explicatives a été confirmée par la corrélation de Pearson (maximum de 0,56), et donc toutes les variables environnementales ont été incluses dans l'analyse. Les résidus de ces régressions représentent la part de la variation de Y non expliquée par X, et ils permettent de réduire la dimensionnalité tout en maximisant la variance expliquée. La quantité de variance dans les données d'abondance expliquée par les variables environnementales a été quantifiée par le R^2 ajusté. Par la suite, on applique une Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les valeurs prédites par les régressions pour identifier les principales directions de variation dans les variables dépendantes. Les résultats de la RDA sont visualisés dans des diagrammes de biplots, où les observations sont représentées par des points et les variables Y et X par des flèches, ce qui permet d'interpréter visuellement les relations entre variables et observations. Enfin, des tests de permutation avec 1000 itérations ont été réalisés pour évaluer la significativité statistique des résultats, en vérifiant si la proportion de variance expliquée par les variables explicatives est supérieure à ce qui pourrait être obtenu par hasard. Cela permet de tester si le modèle global (H0), les axes individuels de la RDA, ainsi que les variables explicatives ont été significatives. Ainsi, cette technique permet de trouver les relations significatives les plus fortes entre les ensembles de données multivariées, en identifiant non seulement les principales variables environnementales qui expliquent significativement les variations d'abondance au sein de la communauté, mais aussi les taxons qui ont le plus contribué aux changements observés dans la structure de la communauté.

Toutes les analyses ont suivi les indications de Borcard et al., (2018) et ont été réalisées avec R.

3. RESULTATS D'AVRIL 2022 A MARS 2024

3.1 VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

La Figure 8 (en page suivante) présente l'évolution temporelle moyenne par campagne par tranche de profondeur de chaque paramètre mesuré à la sonde multi paramètres ; la température (°C), la salinité (PSU), la turbidité (NTU), la chlorophylle *a* (ppb) et la concentration en oxygène dissous (mg/l). Les représentations graphiques de chaque paramètre à chaque station sont présentées en Annexe 4.

Sur le premier graphique, la dynamique saisonnière de la température est bien visible en 2022 comme en 2023 : la thermocline saisonnière s'est installée de la fin du printemps à l'automne avec une forte stratification séparant les eaux de surface chaudes des eaux plus froides plus profondes : aux alentours de 17°C dans les premiers mètres sous la surface et en dessous de 13°C passé les 30 mètres de profondeur. La thermocline s'est estompée et la colonne d'eau s'homogénéise à l'automne/hiver avec des températures proches de 14°C entre décembre et février. Juste avant le printemps, la colonne d'eau a commencé à s'homogénéiser avec une température d'environ 11°C.

Le deuxième graphique présente l'évolution de la salinité sur toute la période d'étude. Les valeurs maximales de salinité ont été enregistrées à la fin d'été ; septembre-octobre 2022 et août 2023. Le reste du temps, la salinité a été plus faible, notamment à la fin de l'hiver.

La turbidité de la zone d'étude a été en moyenne très faible, entre 0 et 1,6 NTU. Elle a été plus importante les mois d'hiver (novembre 2022 à mars 2023 ainsi que de janvier à mars 2024), et en profondeur. De plus importantes valeurs de turbidité ont été enregistrés d'octobre 2022 à février 2023 ainsi qu'en février et mars 2024. Ces valeurs plus importantes peuvent s'expliquer par un travail sur le fond d'engins de pêche plus important à cette période, en raison de la remise en suspension de sédiments fin dû au contact de la sonde sur le fond ou encore par une forte agitation de la masse d'eau. À l'image de la température, la turbidité a été plus homogène pendant les mois d'automne-hiver que le reste de l'année sur toute la période du suivi.

En ce qui concerne la fluorescence, proxy de la chlorophylle *a* et donc indicateur de la biomasse phytoplanctonique, elle est la plus forte entre 30 et 40m de profondeur au printemps 2022 et 2023 (respectivement maximum de 47 et 37 pbb). En 2024, ce maximum de fluorescence a été plus précoce, en mars 2024. Au printemps et à l'été, la fluorescence a été hétérogène dans la colonne d'eau avec des valeurs plus importantes au niveau de la thermocline et plus faibles de part et d'autre. En hiver, la fluorescence s'est maintenue à de faibles concentrations, autour de 20 ppb. Une étude plus approfondie de la chlorophylle *a* est présentée dans la partie 3.2.1 sur l'étude de la communauté phytoplanctonique.

Enfin, la concentration en oxygène dissous a varié également selon les saisons : elle a été maximale au printemps 2022 (12 mg/l en juin 2022), à la fin de l'hiver 2023 (11 mg/l en mars 2023) et 2024 (11 mg/l en mars 2024), principalement dans les 40 premiers mètres. À la fin de l'été – automne, la concentration a été plus faible, notamment sous 30 m de profondeur avec des valeurs entre 7 et 8 mg/l.

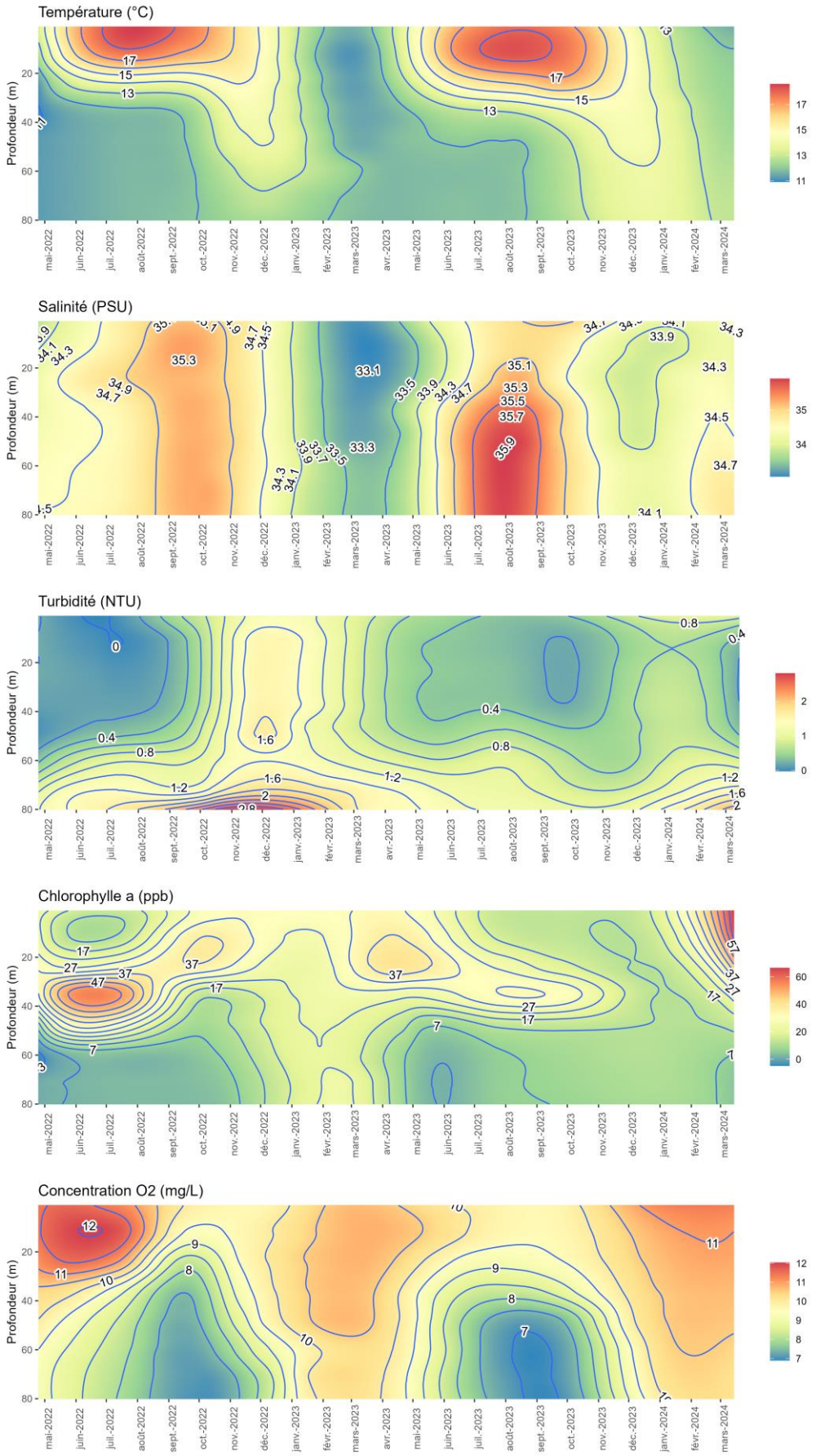


Figure 8 : Evolution moyenne par campagne et par tranche de profondeur des paramètres physico-chimiques mesurés à la sonde multi-paramètres (source : setec énergie environnement, 2024)

3.2 COMMUNAUTE PHYTOPLANCTONIQUE

3.2.1 Evolution de la chlorophylle a mesurée pendant les campagnes

Les figures ci-dessus ont permis de montrer l'évolution temporelle de la chlorophylle *a* mesurée à la sonde multiparamètre à chaque campagne au niveau de la zone d'étude immédiate et rapprochée ainsi que celle simulée par le modèle ECOMARS-3D dans la zone d'étude élargie. L'exploitation des mesures de fluorescence réalisés à chaque station de chaque campagne permet d'aller plus loin dans la caractérisation de la teneur en chlorophylle a et donc d'étudier son évolution dans la colonne d'eau.

La Figure 9 montre la variabilité temporelle de la concentration moyenne de chlorophylle *a* à chaque station, en considérant l'ensemble de la colonne d'eau, entre avril 2022 et mars 2024. Globalement, la variabilité temporelle a été similaire entre les stations, avec 4 pics principaux de chlorophylle *a*, présentant des valeurs supérieures à 30 ppb à certaines stations : **en juin 2022, novembre 2022, mars 2023 et mars 2024**. Les pics de chlorophylle *a* mesurés sur l'ensemble de la colonne d'eau ne correspondent pas exactement à ceux estimés par ECO-MARS 3D (avril 2022, octobre 2022, avril 2023, août 2023 et octobre 2023). Cela souligne l'importance d'évaluer le profil vertical de la chlorophylle *a* à travers la colonne d'eau, puisque le pic de chlorophylle *a* peut se produire à des couches plus profondes et, par conséquent, ne pas être détecté par les données ECO-MARS 3D utilisées, qui n'évaluent que la chlorophylle *a* dans les couches les plus superficielles.

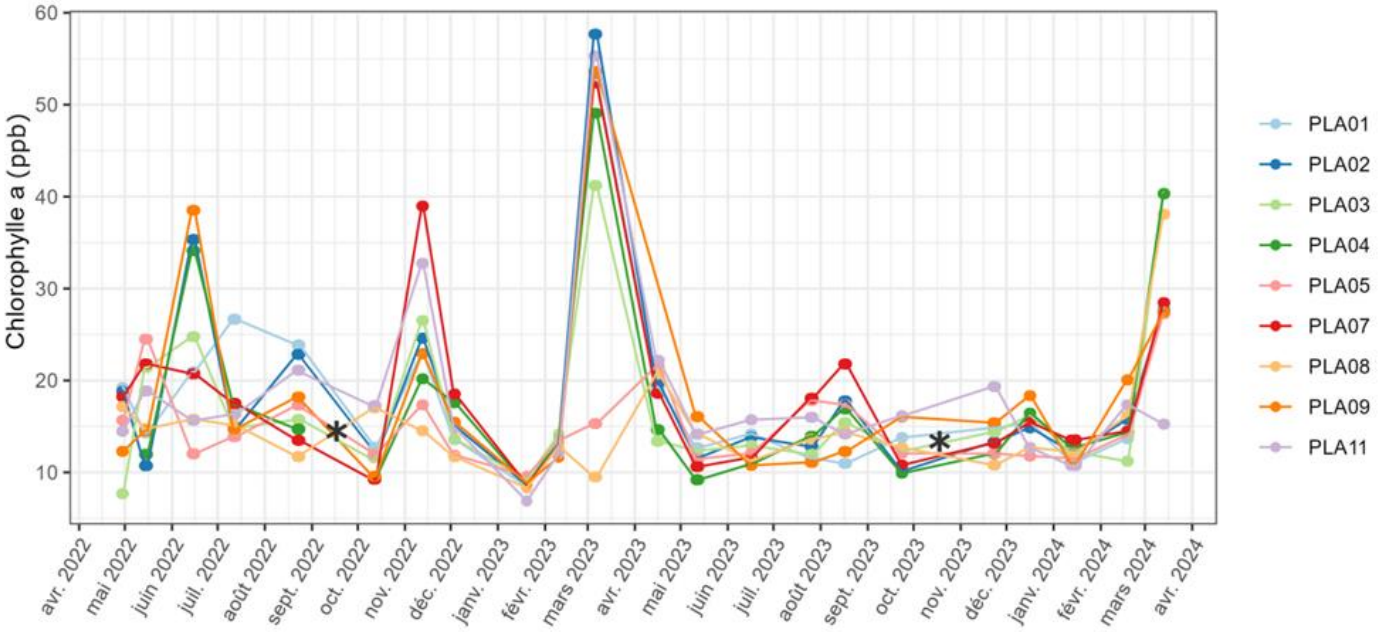


Figure 9 : Evolution de la teneur moyenne en chlorophylle a mesurée à la sonde multiparamètre à chaque station et à chaque campagne entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

La Figure 10 ci-après présente le profil de fluorescence mesuré à la sonde de chaque station entre avril 2022 et mars 2023 (une couleur par station). L'unité de la fluorescence mesurée à la sonde est le ppb : il n'est donc pas possible de comparer les valeurs obtenues en valeur absolue avec le modèle ECOMARS-3D cependant la comparaison des variations et de leur cinétique reste pertinente.

Le maximum de fluorescence et donc de chlorophylle *a* varie entre avril 2022 et mars 2023 : ce maximum est nettement marqué autour des 30m de profondeur en avril, mai et août 2022, en-dessus des 30m en juin et juillet 2022. L'intensité de la chlorophylle *a* est la plus importante entre mai et août, avec des valeurs au maximum de chlorophylle a au-delà de 100 ppb. En octobre et novembre 2022, les valeurs de fluorescence les plus fortes se concentrent en surface. De décembre 2022 à mars 2023, les valeurs sont homogènes sur la colonne d'eau et ne dépassent pas 25ppb.

La Figure 11ci-dessous présente la même donnée entre avril 2023 et mars 2024. Comme pour la période précédente, la fluorescence varie entre les campagnes : elle est hétérogène sur la colonne d'eau au

printemps-été 2023 et s'homogénéise en automne-hiver. Les teneurs les plus importantes sont, comme en 2022, mesurées entre avril et septembre 2023, entre 20 et 40 mètres de profondeur. En novembre et décembre 2023, la fluorescence est moins importante et les plus fortes valeurs sont mesurées dans les premiers mètres de la colonne d'eau. En janvier 2024, la fluorescence est homogène sur la colonne d'eau autour de 10-15ppb. En février 2024, les valeurs de fluorescence augmentent dans les 30 premiers mètres jusqu'à presque 50ppb en surface à la station PLA09. Cette tendance se poursuit en mars 2024 avec des valeurs de fluorescence d'environ 100ppb à la station PLA08, ce qui montre donc une forte productivité primaire et donc de fortes abondances.

Sur toute la période d'étude, la fluorescence suit la même tendance à chaque station. En utilisant une autre représentation graphique pour étudier la variabilité spatiale de la fluorescence (Figure 12), on voit qu'à chaque station, sont retrouvés les mêmes moments de forte productivité primaire, c'est-à-dire au printemps et à l'été. On remarque des petites différences entre les stations avec des plus forts pics de fluorescence à l'été 2022 pour les stations PLA01, PLA02, PLA05, PLA07, PLA09 et PLA11.

Ces résultats montrent que, de manière générale, les niveaux plus élevés de chlorophylle a au printemps et en automne se produisent dans les couches d'eau plus superficielles, tandis que les pics de chlorophylle a en été apparaissent dans des couches plus profondes, alors qu'en hiver, la colonne d'eau semble être bien homogénéisée.

L'utilisation de données complémentaires d'ECOMARS_3D (à grande échelle spatiale en surface) et de la sonde multiparamètres (profil vertical de la colonne d'eau) permet une compréhension complète de la variabilité spatio-temporelle de la production primaire dans la zone d'étude.

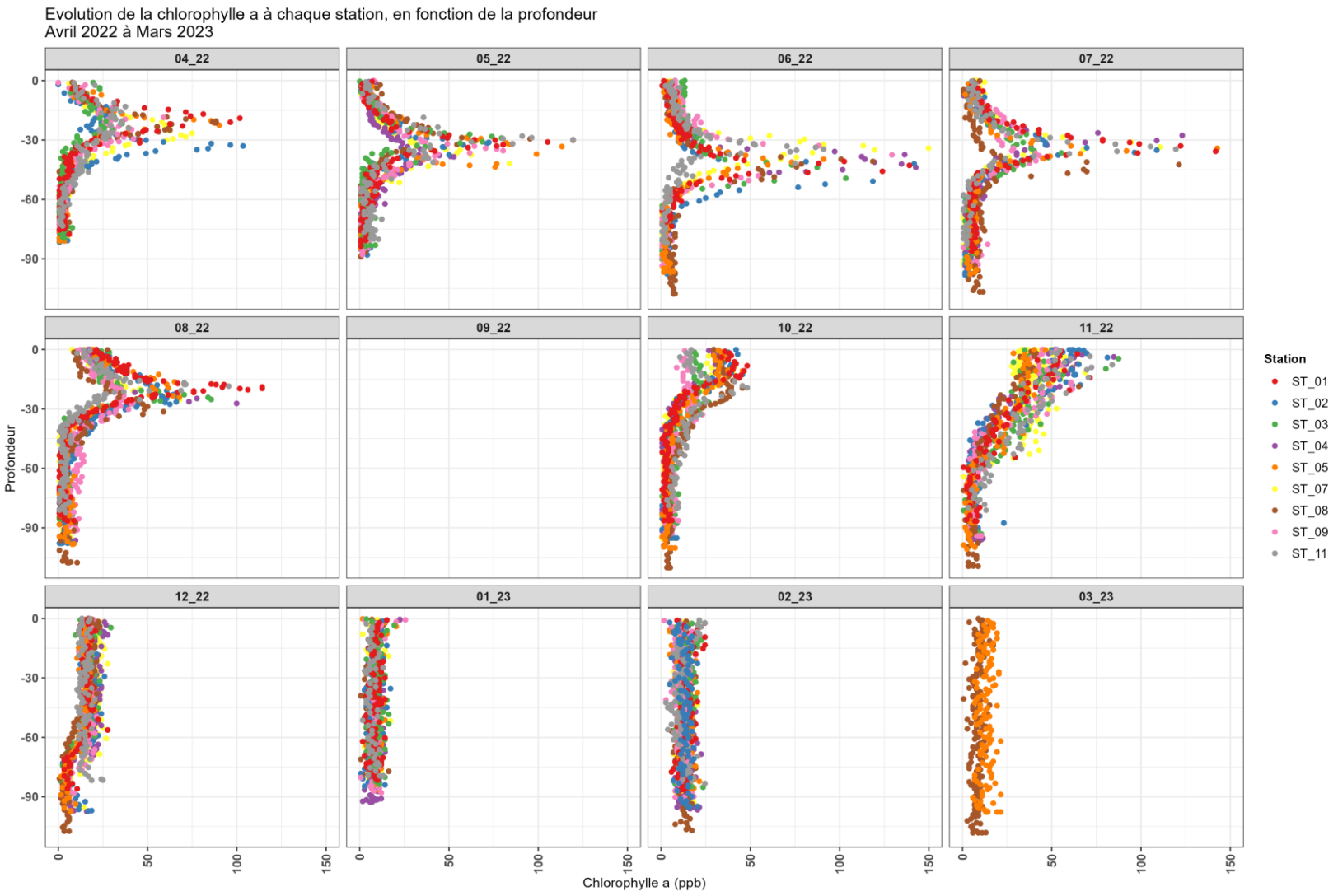


Figure 10 : Évolution de la chlorophylle a (ppb) à chaque station entre avril 2022 et mars 2023 (source : setec énergie environnement, 2023)

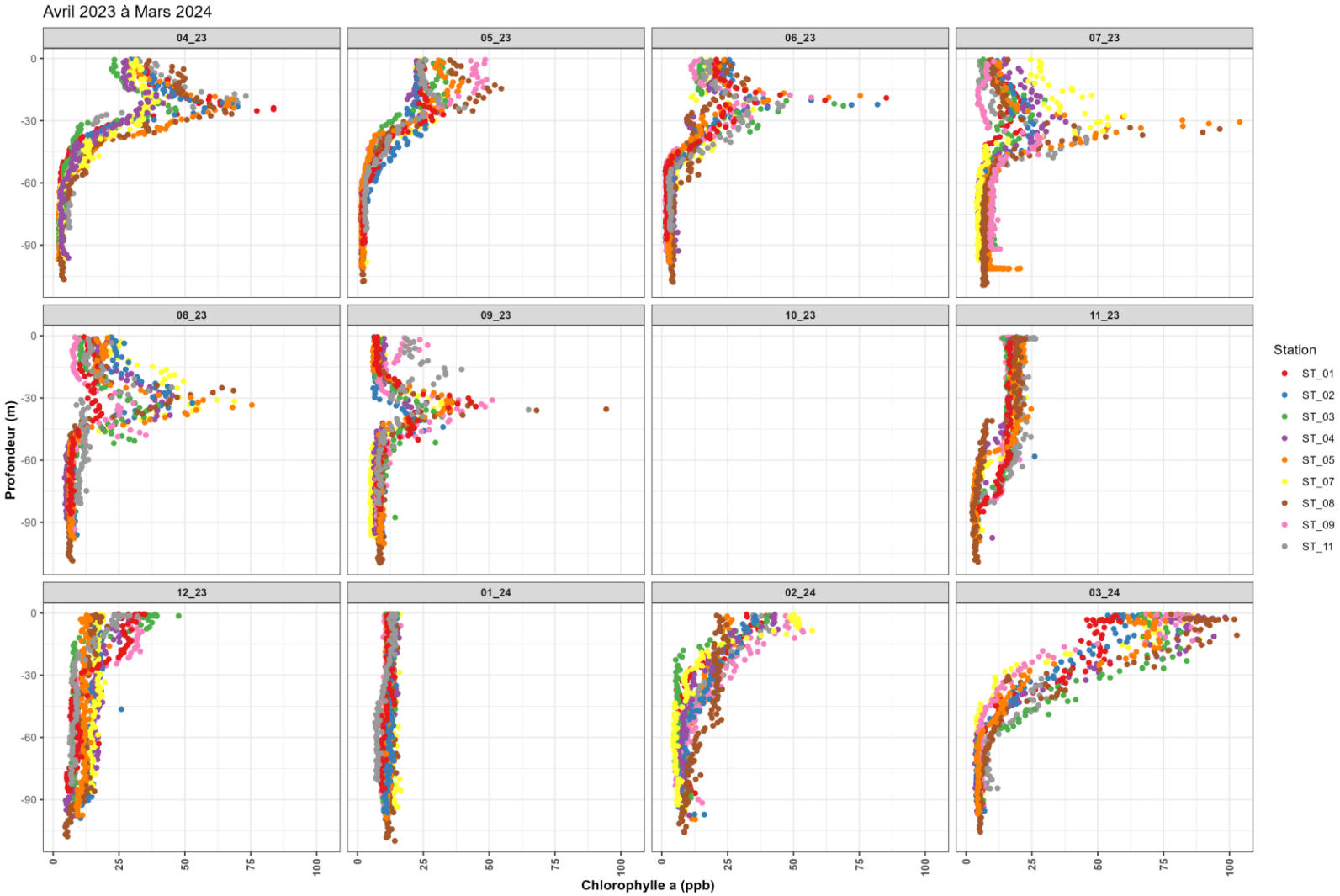


Figure 11 : Évolution de la chlorophylle a (ppb) à chaque station entre avril 2023 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

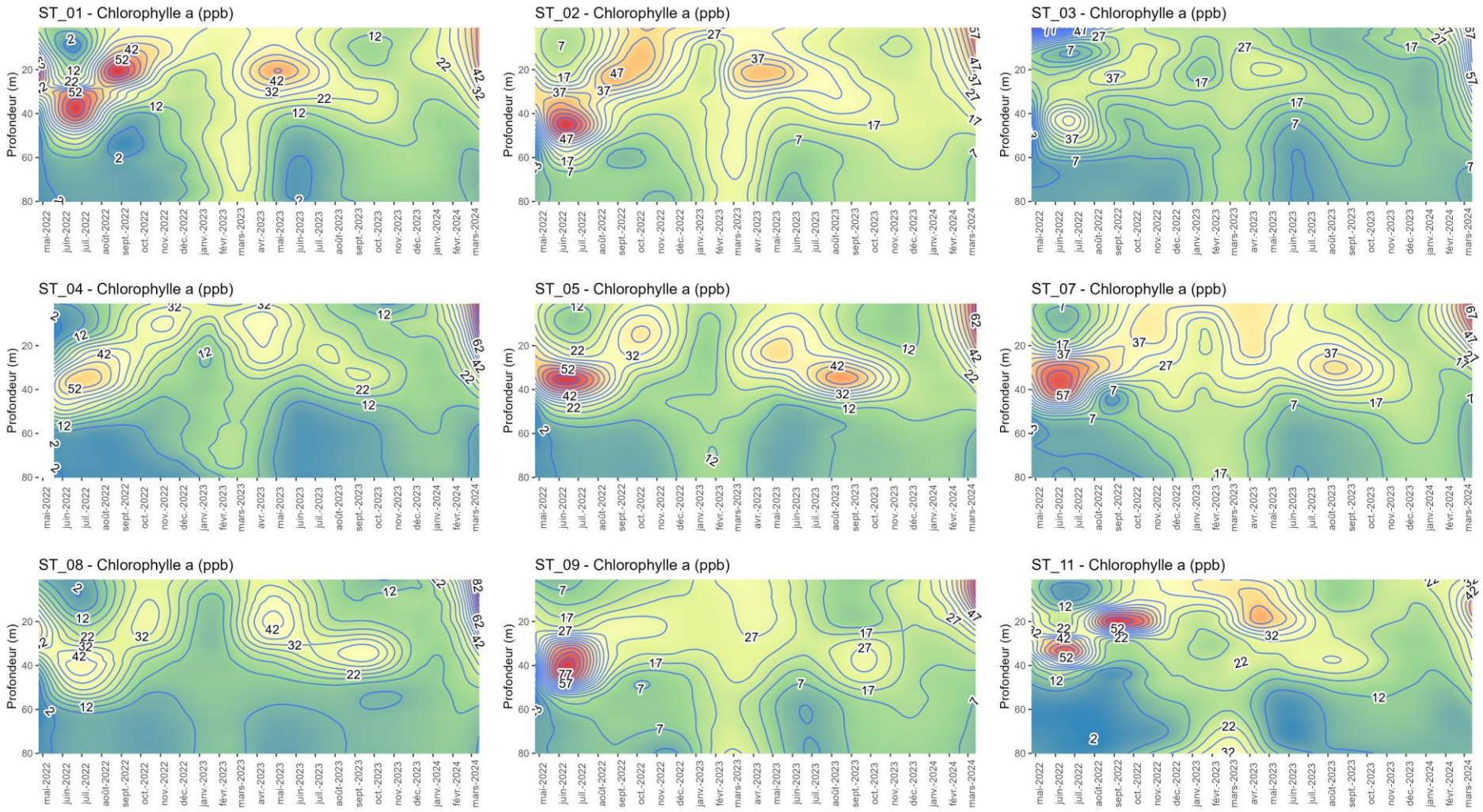


Figure 12 : Évolution de la chlorophylle a (ppb) à chaque station (un graphique par station) entre mai 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

3.2.2 Evolution de la chlorophylle *a* simulée en surface dans la zone d'étude élargie entre janvier 2022 et avril 2024

Les données issues du modèle ECO-MARS 3D permettent d'étudier la dynamique saisonnière de la chlorophylle a, proxy de la biomasse phytoplanctonique, à l'échelle de la zone d'étude élargie. Les figures ci-après montrent l'évolution de la chlorophylle *a* en surface simulée par le modèle, pour chaque campagne ainsi que pour les mois de janvier à mars 2022 et avril 2024 (15 du mois) afin d'avoir une vision d'ensemble de la dynamique.

Ces figures ainsi que le défilement du modèle sur l'interface web d'ECO-MARS 3D nous apportent les éléments suivants :

En janvier et février 2022 (cf. Figure 13), la concentration simulée en chlorophylle *a* a varié entre 0,3 µg/l (au large dans la partie Ouest de la zone d'étude élargie) et 0,6 µg/l (à la côte dans la partie Est). À partir de la mi-février, la concentration simulée augmente uniformément dans toute la zone d'étude, à l'exception de la partie la plus au large. Le maximum de chlorophylle *a* est enregistré principalement autour de Noirmoutier et entre Quiberon et Belle-Île. En mars, la chlorophylle *a* simulée est maximale (autour de 0,7-0,8 µg/l) au large derrière Belle-Île, à la côte dans la partie Ouest de la zone d'étude élargie. À la fin mars 2022, toute la zone d'étude élargie présente une concentration qui atteint presque les 1µg/l en surface. Cette concentration augmente de plus en plus au fil des jours. En avril 2022, la concentration en chlorophylle *a* est la plus importante dans la partie Ouest de la zone d'étude élargie. Au moment de la première campagne, la concentration simulée est de l'ordre de 2 à 3 µg/l. La concentration est maximale autour de Quiberon, Houat et Hoëdic.

En mai 2022 (cf. Figure 14), la concentration en chlorophylle *a* simulée décroit à l'Ouest et augmente dans la partie Est de la zone d'étude élargie, notamment au niveau des estuaires de la Vilaine et de la Loire. Lors de la deuxième campagne de suivi, la concentration simulée ne dépasse pas les 1 µg/l dans la zone d'étude rapprochée. La tendance observée en mai se poursuit en juin. À partir de la mi-juin, la concentration en chlorophylle a au large décroit et la production primaire simulée se concentre à la côte. En juillet et août, la tendance s'accentue : la concentration simulée est maximale au niveau de l'estuaire de la Loire et la Vilaine (plus de 7 µg/l vers le 20 juillet et le 10 août), à l'Est de Quiberon et au niveau de la baie de Lorient et de Concarneau.

En septembre 2022 (cf. Figure 15), les teneurs simulées en chlorophylle *a* sont proches de celles observées en août. La concentration simulée augmente à l'embouchure de la Loire à hauteur de 5 µg/l. La concentration simulée en chlorophylle *a* est légèrement plus importante que le mois d'août 2022 (autour de 0.5 µg/l). En octobre, les concentrations diminuent au niveau des principaux estuaires et au niveau de la zone d'étude rapprochée, les concentrations augmentent en atteignant 1 µg/l par endroits, notamment dans la partie Sud-Est. En novembre, la concentration simulée en chlorophylle *a* est globalement inférieure à 1 µg/l sauf dans la partie Est de la zone d'étude élargie où elle atteint par endroit 2 µg/l (globalement de Quiberon à Noirmoutier). Enfin, en décembre, la concentration diminue progressivement. Elle reste la plus importante à l'Est autour de Belle-Île, Houat, Hoëdic et entre Yeu et Noirmoutier.

Lors des campagnes de janvier et février 2023 (cf. Figure 16), la concentration simulée en chlorophylle *a* reste faible à moins de 0.5 µg/l dans la zone d'étude rapprochée. Autour de Belle-Île et à la côte, la concentration simulée en chlorophylle *a* est un peu plus élevée. Lors de la campagne de mars 2023, comme en 2022, la chlorophylle *a* simulée augmente, en restant inférieure à 1 µg/l. Elle semble également plus forte qu'en février dans la partie nord de la zone d'étude rapprochée. De janvier à mars, les concentrations sont les plus fiables au large. Au 15 avril 2023, la concentration simulée en chlorophylle *a* atteint plus de 1 µg/l dans la zone d'étude rapprochée et de la baie de Concarneau à l'embouchure de la Loire. Au large, les concentrations restent basses mais apparaissent plus élevées que pour les mois précédents. La concentration simulée en chlorophylle *a* le jour de la campagne d'avril 2023 est plus faible que pendant la campagne d'avril 2022.

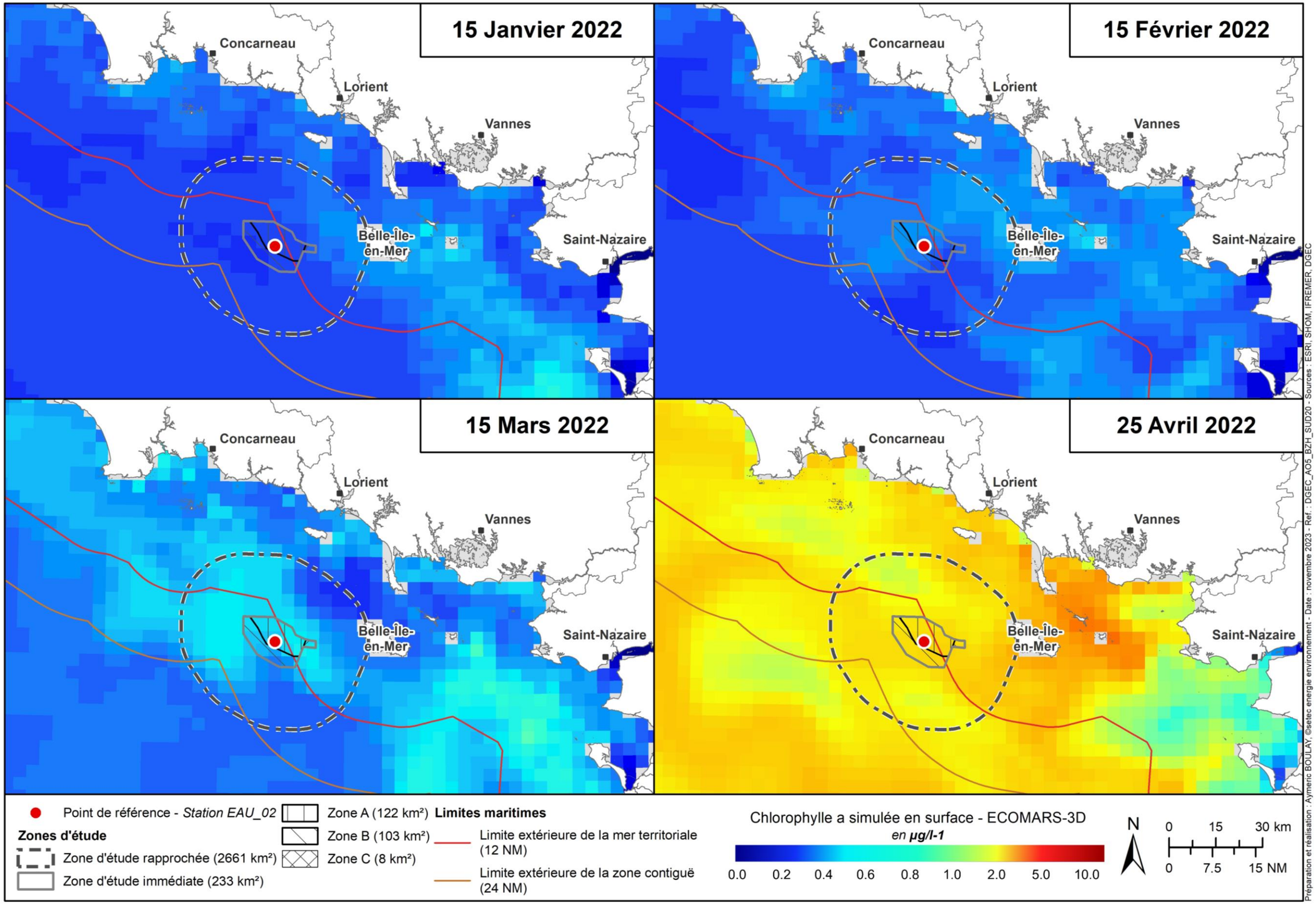


Figure 13 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée en surface le 15 janvier, le 15 février, 15 mars et pendant la campagne d'avril (25/04/22) dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2023)

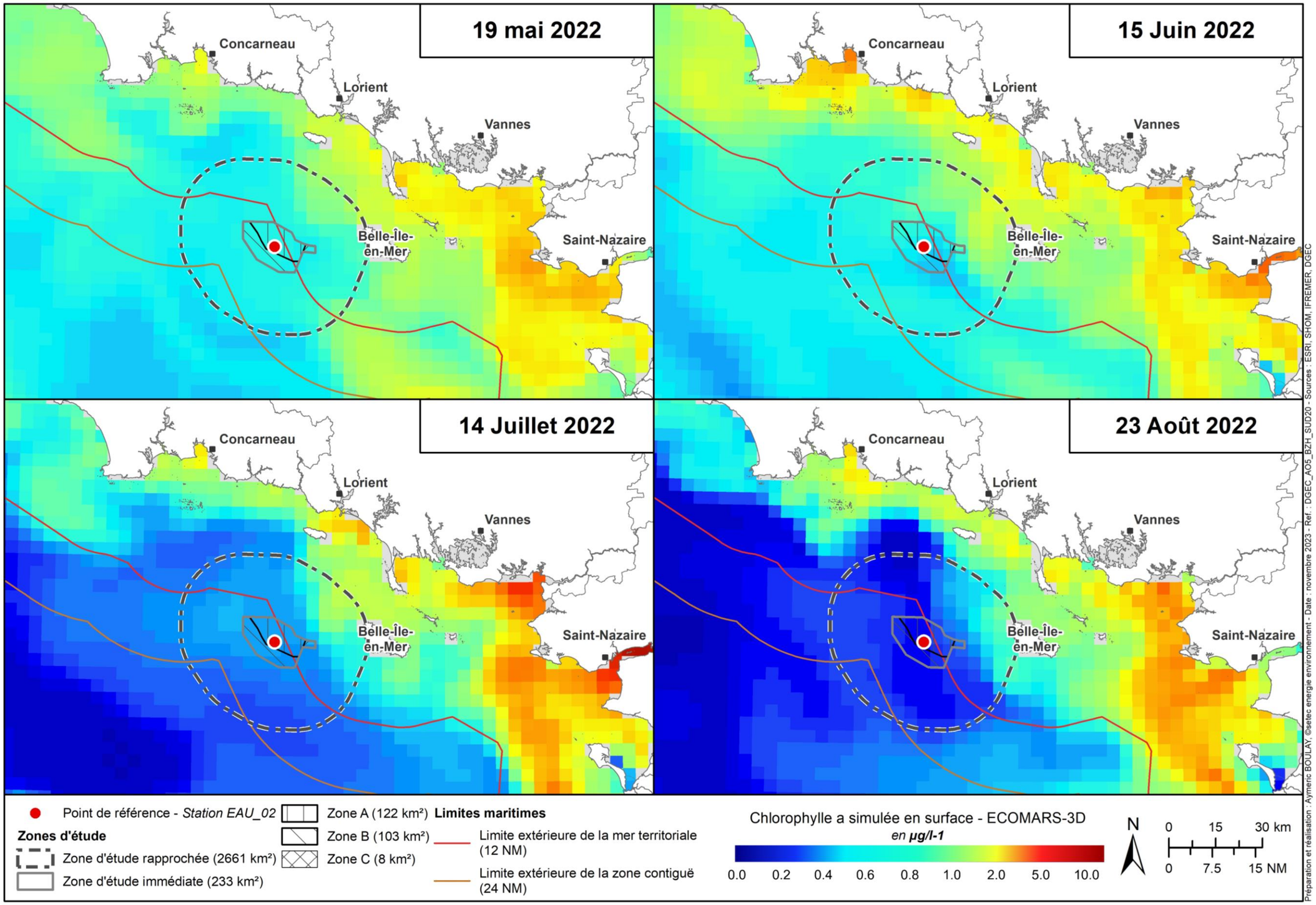


Figure 14 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de mai, juin, juillet et août 2022 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2023)

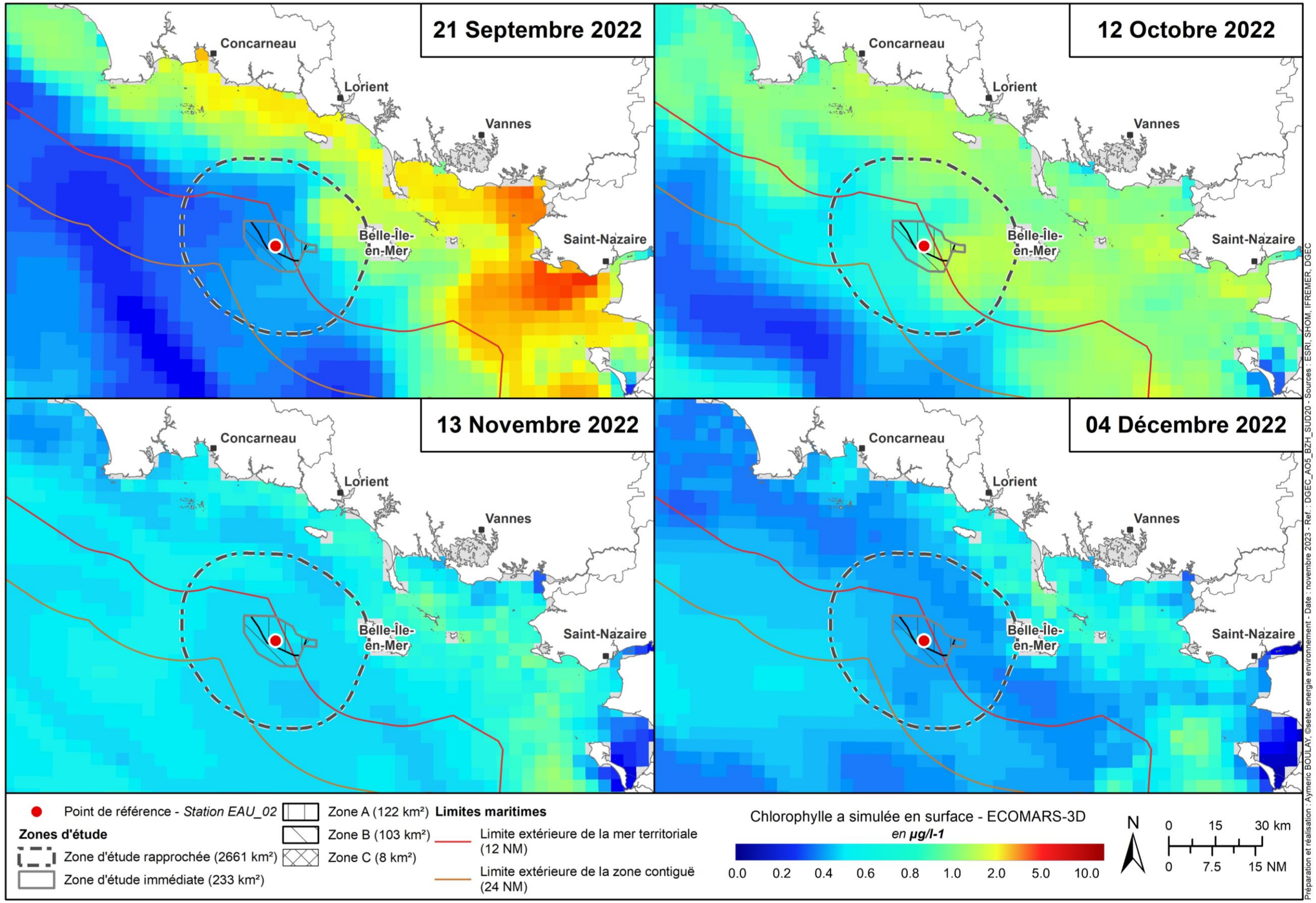


Figure 15 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de septembre, octobre, novembre et décembre 2022 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2023)

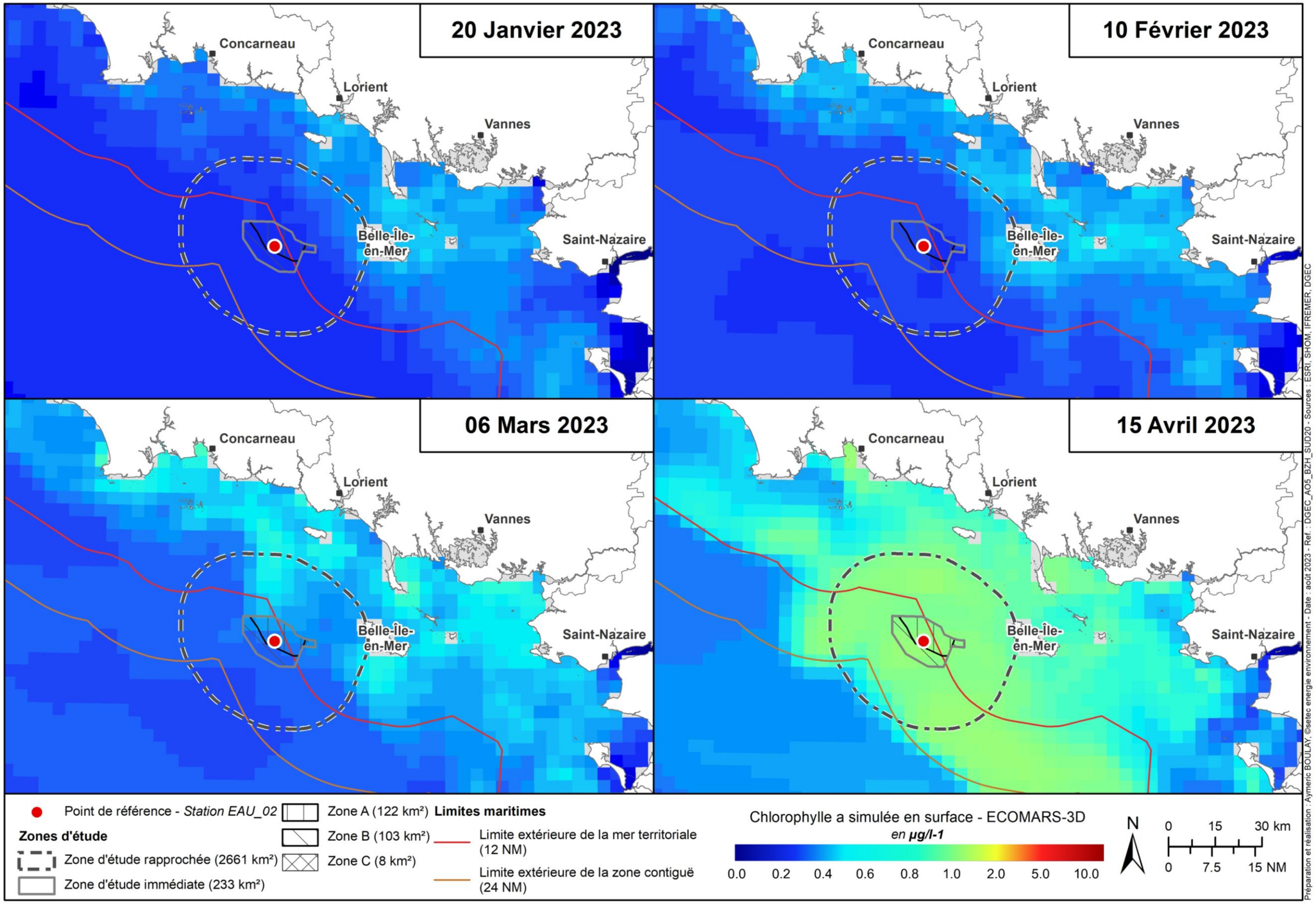


Figure 16 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de janvier à mars 2023 et le 15 avril 2023 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2023)

En mai 2023 (cf. Figure 17), les concentrations de surface simulées en chlorophylle *a* augmentent dans toute la zone d'étude élargie. La concentration est la plus importante à l'Est de la zone d'étude rapprochée. Au sein de la zone d'étude rapprochée, les concentrations sont entre 1.5 et 2 µg/l, soit plus élevées que lors de la campagne de mai 2022. De juin à août 2023, les concentrations sont plus faibles dans la zone d'étude rapprochée, l'endroit où la chlorophylle est la plus élevée étant à l'Ouest de Belle-Île. Pendant cette période estivale, les plus fortes concentrations sont mesurées à la côte et à la sortie des principaux estuaires et les plus faibles au large, à l'image de la période estivale 2022.

La même tendance est observable à la date de la campagne de septembre 2023 (cf. Figure 18) avec des concentrations plus fortes à la côte et une zone d'étude rapprochée présentant des valeurs faibles de chlorophylle avec des valeurs plus importantes près de Belle-Île. De septembre à décembre 2023, les concentrations en chlorophylle *a* diminuent progressivement. La concentration dans la zone d'étude rapprochée oscille entre 0,2 et 0,4 µg/l.

Comme en 2022 et 2023, la période hivernale de janvier à mars 2024 (cf. Figure 19) est marquée par de faibles valeurs de chlorophylle *a* dans toute la zone d'étude (moins de 0,3 µg/l). Les concentrations simulées en mars augmentent légèrement par rapport aux mois précédents, bien que le mois de mars 2024 présente globalement des concentrations en chlorophylle a plus basses que les années précédentes. Enfin, le 15 avril 2024, la production primaire se développe et les concentrations simulées en chlorophylle *a* apparaissent donc plus élevées qu'en mars, avec plus de 1 µg/l dans la zone d'étude rapprochée. Les concentrations d'avril 2023 et 2024 restent bien en-deçà de ce qui a été simulé pour la même période en avril 2022, avec pas loin de 1 µg/l d'écart.

L'étude des données issues du modèle ECO-MARS 3D met bien en évidence les dynamiques saisonnières de la chlorophylle *a*, proxy de la biomasse phytoplanctonique pendant les deux années d'état initial. Les valeurs de chlorophylle *a* simulées sont les plus faibles à l'hiver puis augmentent au printemps, notamment en avril. Comme l'étude des variables environnementales le montrait, cette période est caractérisée par un réchauffement des eaux de surface et une thermocline qui se met en place. Les valeurs d'oxygène témoignent d'une activité primaire qui se développe. La période estivale, marquée par une thermocline bien installée est marquée par des concentrations en chlorophylle *a* qui diminuent au large et notamment dans la zone d'étude rapprochée et des concentrations plus importantes près des côtes. L'automne, période à laquelle la colonne d'eau commence à s'homogénéiser en raison d'une baisse de température et de l'augmentation de la turbulence, est caractérisé par une diminution progressive des concentrations en chlorophylle *a*.

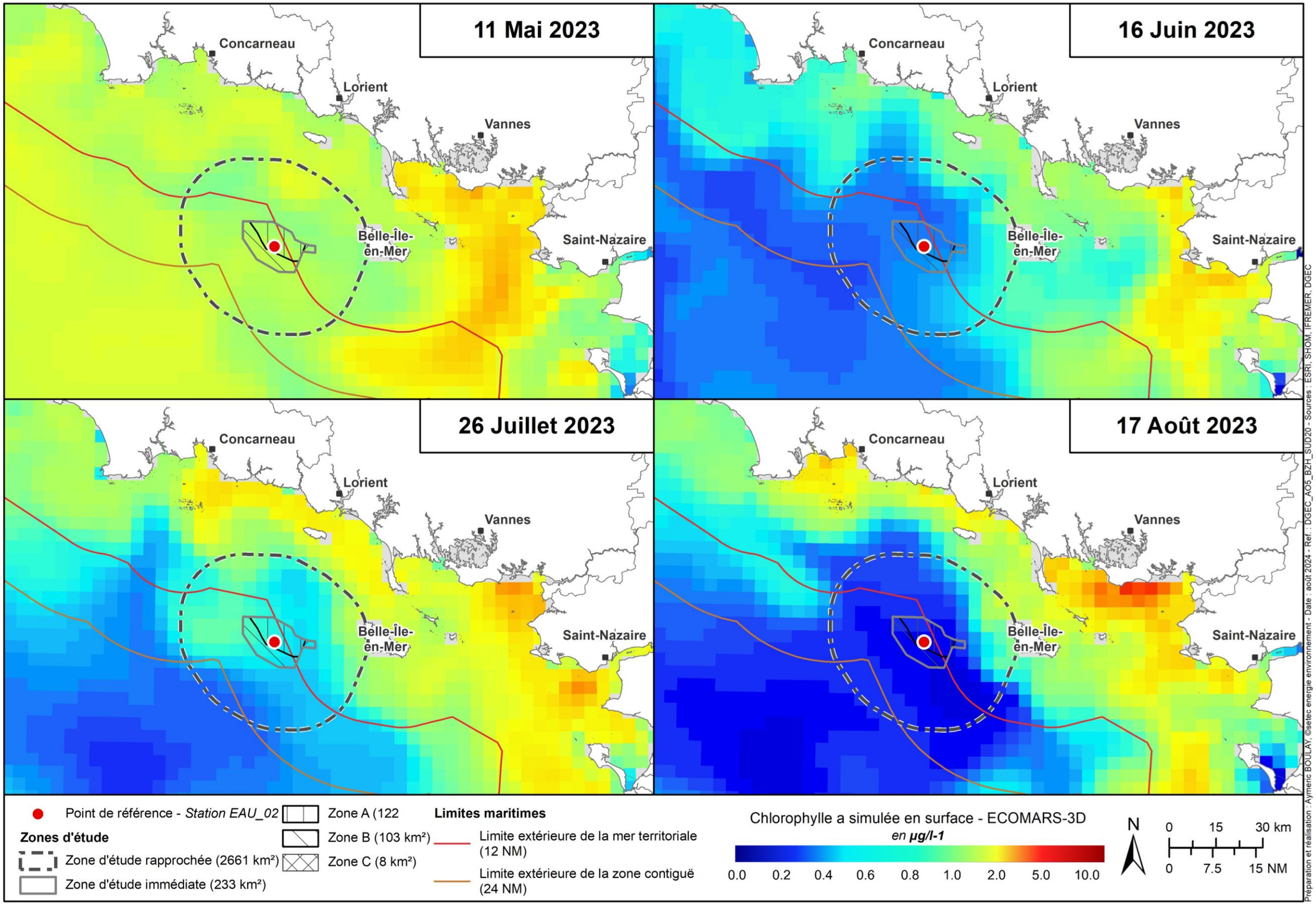


Figure 17 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de mai 2023 à août 2023 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2024)

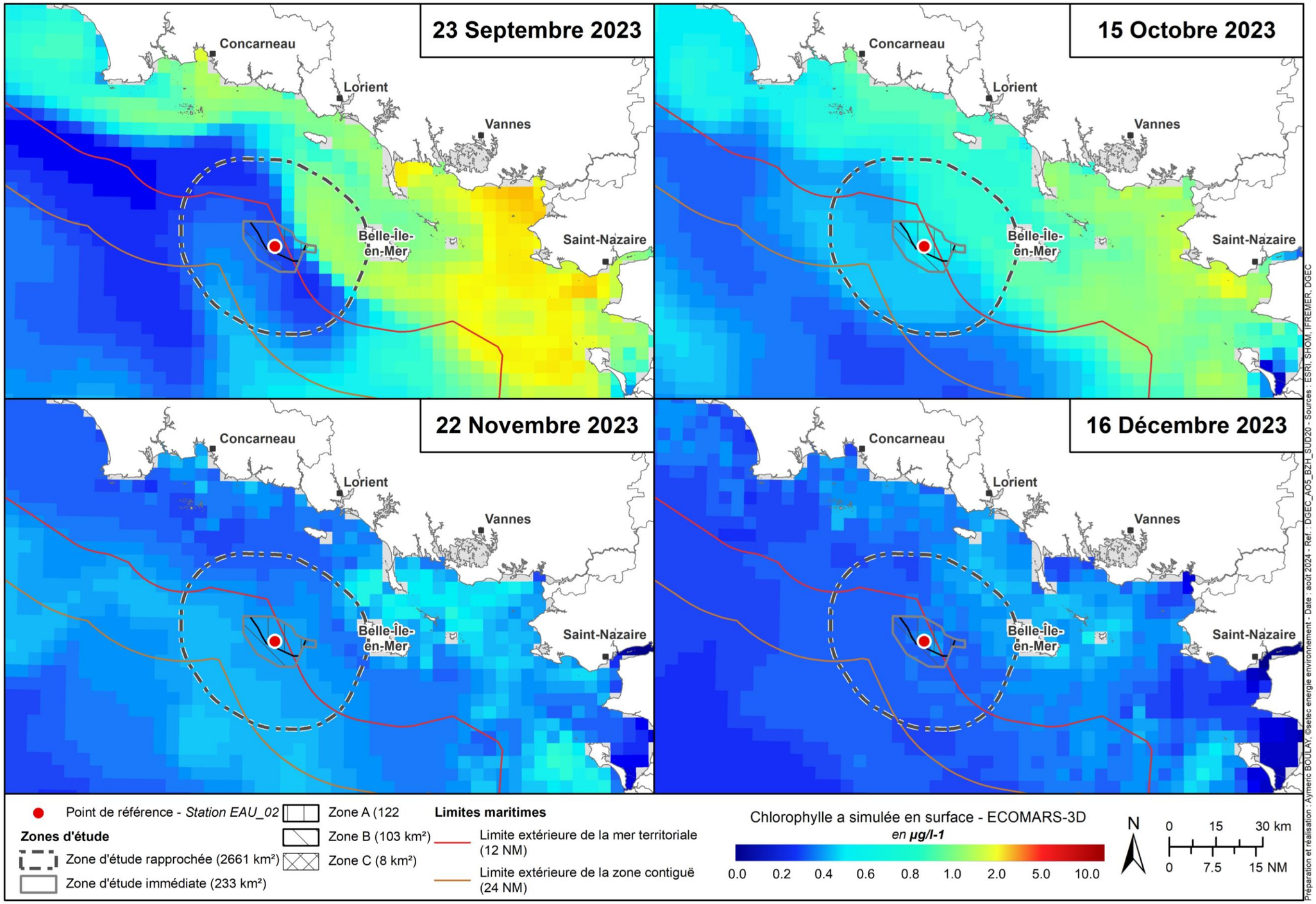


Figure 18 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de septembre 2023 à décembre 2023 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2024)

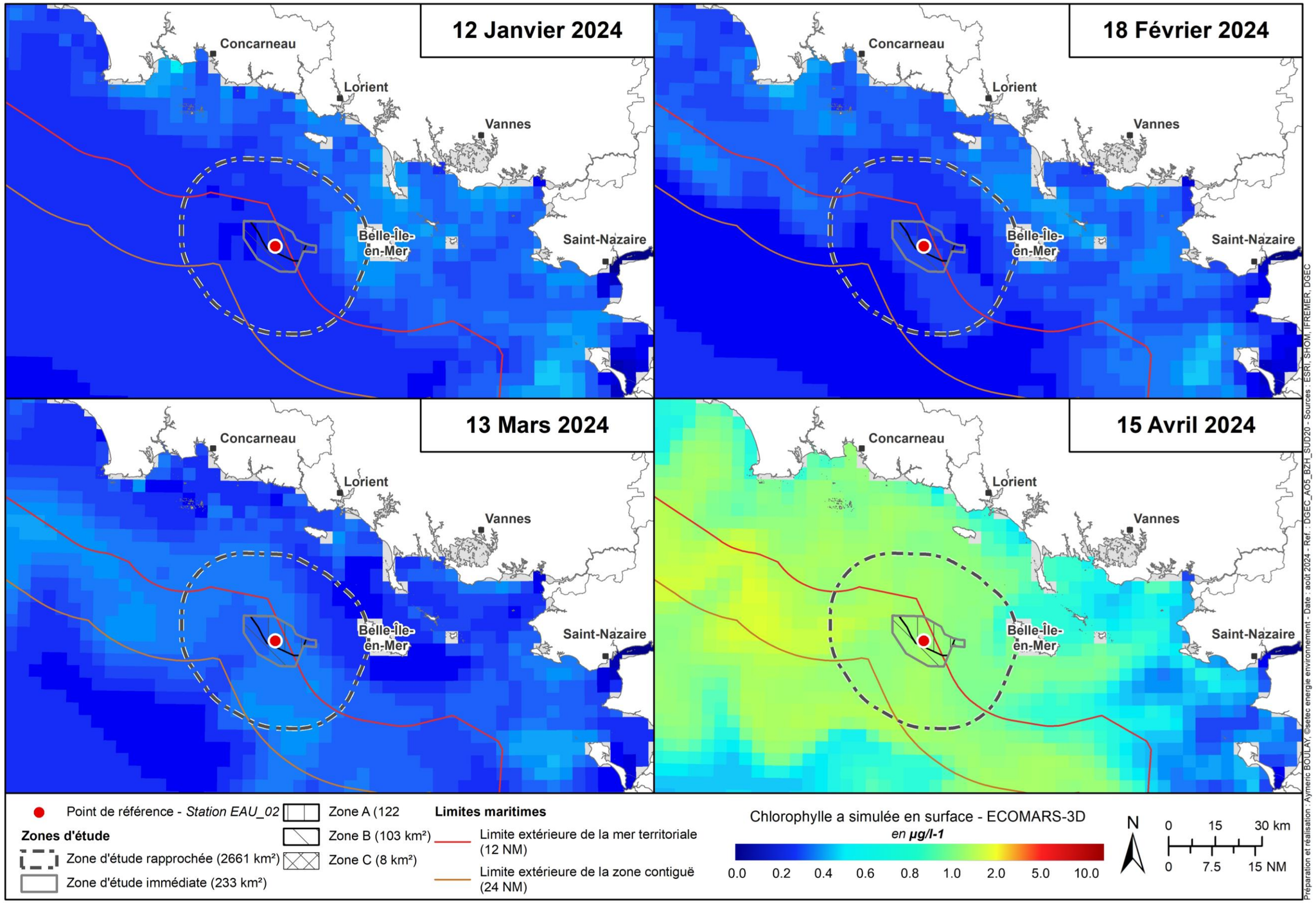


Figure 19 : Évolution de la chlorophylle a (µg/l) simulée pendant les campagnes de janvier 2024 à avril 2024 dans la zone d'étude élargie (source : setec énergie environnement, 2024)

Sur ces précédentes figures sont représentées les zones d'étude rapprochée et immédiate du projet éolien ainsi qu'un point rouge qui représente la station PLA02 localisée au centre du réseau de stations suivies mensuellement. Les graphiques ci-dessous présentent quant à eux l'évolution de la concentration simulée en chlorophylle *a* en surface au niveau de cette station entre début janvier et fin décembre 2022, entre début janvier et fin décembre 2023 ainsi qu'entre début janvier et fin avril 2024.

De manière générale, la concentration simulée ne dépasse pas les 3 µg/l, à l'exception de la deuxième partie d'avril 2024 marquée par plusieurs pics à plus de 3 µg/l. Elle est la plus importante entre avril et la mi-mai. Comme cela est visible sur la Figure 20, la teneur en chlorophylle *a* augmente progressivement de janvier à la mi-mars 2022 (atteint 0,6 µg/l) puis augmente de façon importante jusqu'à mi-avril 2022 jusqu'à 3 µg/l. La concentration diminue à nouveau entre la fin du mois d'avril et la mi-septembre (moins de 0,5 µg/l en septembre). De mi-août à mi-octobre, la concentration augmente (pic secondaire à 0,9 µg/l à la mi-octobre) puis diminue jusqu'au 31 décembre 2022 (environ 0,3 µg/l).

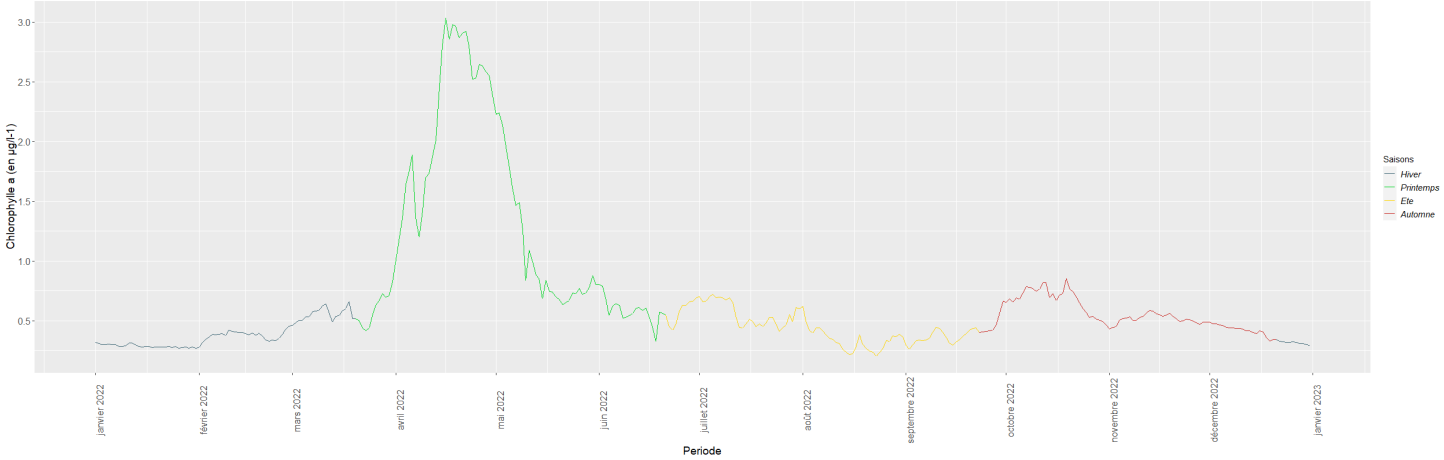


Figure 20 : Évolution de la chlorophylle a simulée en surface à partir du modèle ECOMARS-3D à la station PLA02 entre janvier et décembre 2022 (source : setec énergie environnement, 2023)

De début janvier à la mi-février 2023 (cf. Figure 21), la concentration simulée se maintient à moins de 0.5 µg/l, comme en 2022 pour la même période. Elle augmente progressivement de la mi-février à la mi-mars puis fortement jusqu'à atteindre un pic autour de 2,7 µg/l dans la deuxième partie du mois d'avril 2023. Ce pic apparaît légèrement moins fort et un peu plus tardif qu'en 2022. De la fin du mois d'avril au début juillet 2023, la concentration en chlorophylle *a* diminuent avec par moments des pics légers de production primaire (2,7 à 0,2 µg/l). Puis la concentration en chlorophylle *a* simulée augmente jusqu'à atteindre un pic à 1,25 µg/l dans la première quinzaine d'août 2023. La concentration diminue à nouveau par la suite, jusqu'à un niveau très bas en septembre 2023. La production primaire réapparaît importante en octobre 2023 avec plus de 0,5 µg/l puis diminue progressivement jusqu'à presque 0,25 µg/l à la fin décembre 2023, comme en 2022.

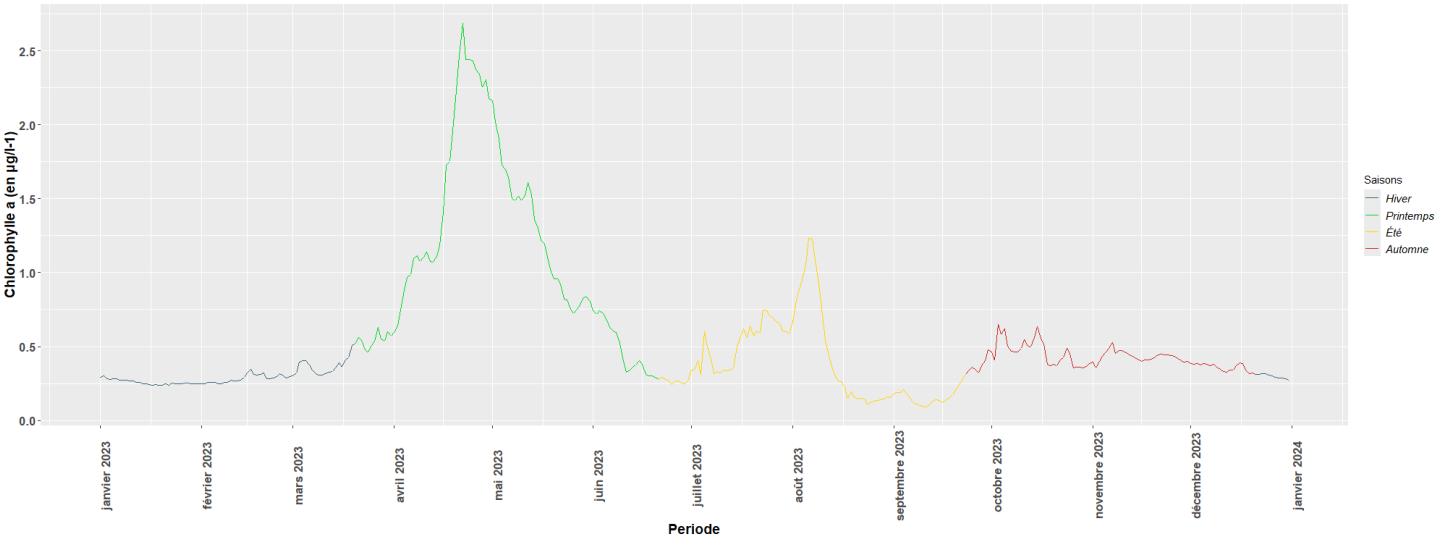


Figure 21 : Évolution de la chlorophylle a simulée en surface à partir du modèle ECOMARS-3D à la station PLA02 entre janvier et décembre 2023 (source : setec énergie environnement, 2024)

Enfin, pour la période janvier – fin-avril 2024 (cf. Figure 22), la concentration simulée en surface en chlorophylle a se maintient à nouveau à moins de 0.5 µg/l de janvier à mars 2024. Ensuite, elle augmente de la mi-mars jusqu'à un pic à la fin-mars 2024 à plus de 1 µg/l puis jusqu'à atteindre des pics nettement plus importants à plus de 4 µg/l après la mi-avril.

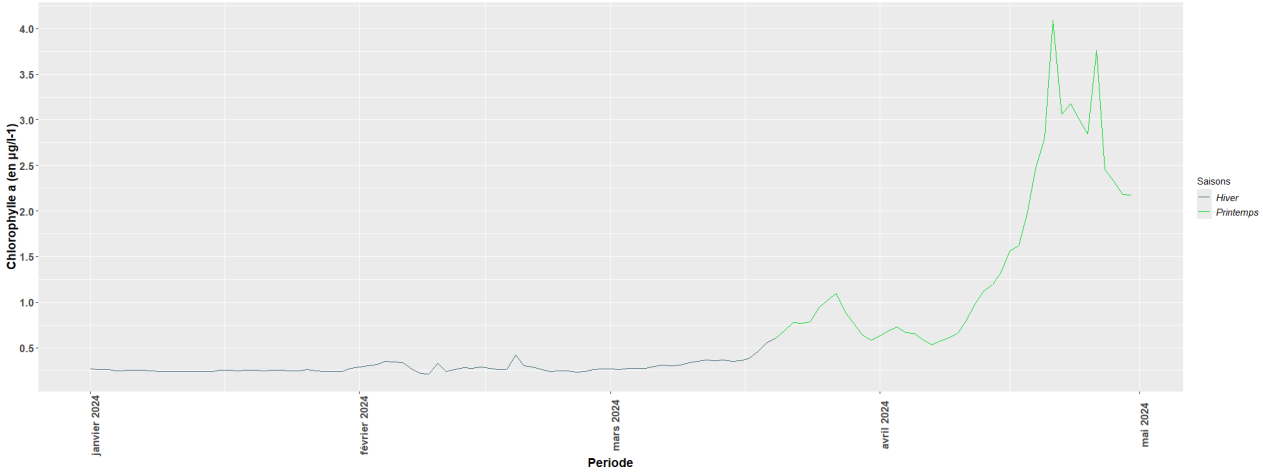


Figure 22 : Évolution de la chlorophylle a simulée en surface à partir du modèle ECOMARS-3D à la station PLA02 entre janvier et avril 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

Le suivi stationnel permet de mettre également en avant les dynamiques saisonnières de la production primaire au sein de la zone d'étude rapprochée pendant toute la période de caractérisation de l'état initial du compartiment plancton.

3.2.3 Composition de la communauté phytoplanctonique de surface

3.2.3.1 Abondance

La Figure 23 présente l'évolution de l'abondance du phytoplancton (en nombre de cellules/l) à chaque campagne et pour chaque station. Comme cela été attendu au regard des données de chlorophylle *a* acquises à la sonde multi paramètres, l'abondance phytoplanctonique varie selon les campagnes. Elle est **minimale** pour les campagnes d'**avril 2022** (20 300 cellules/l), **mai 2022** (35 860), **juin 2022** (34 560), **août 2022** (18 840), **février 2023** (34 660), **avril 2023** (23 740) **mai 2023** (16 360). À l'inverse, elle est **maximale** en **juillet 2022** (376 930), **août 2023** (406 220), **octobre 2022** (446 210), **novembre 2022** (1 325 950), **mars 2023** (1 443 970), **juillet 2023** (2 829 460) et **mars 2024** (3 405 400).

Globalement, toutes les stations suivent la même tendance, mais des abondances plus faibles sont remarquables pour les stations les plus au large, **PLA05 et PLA08**, notamment en **novembre 2022** et en **mars 2023**.

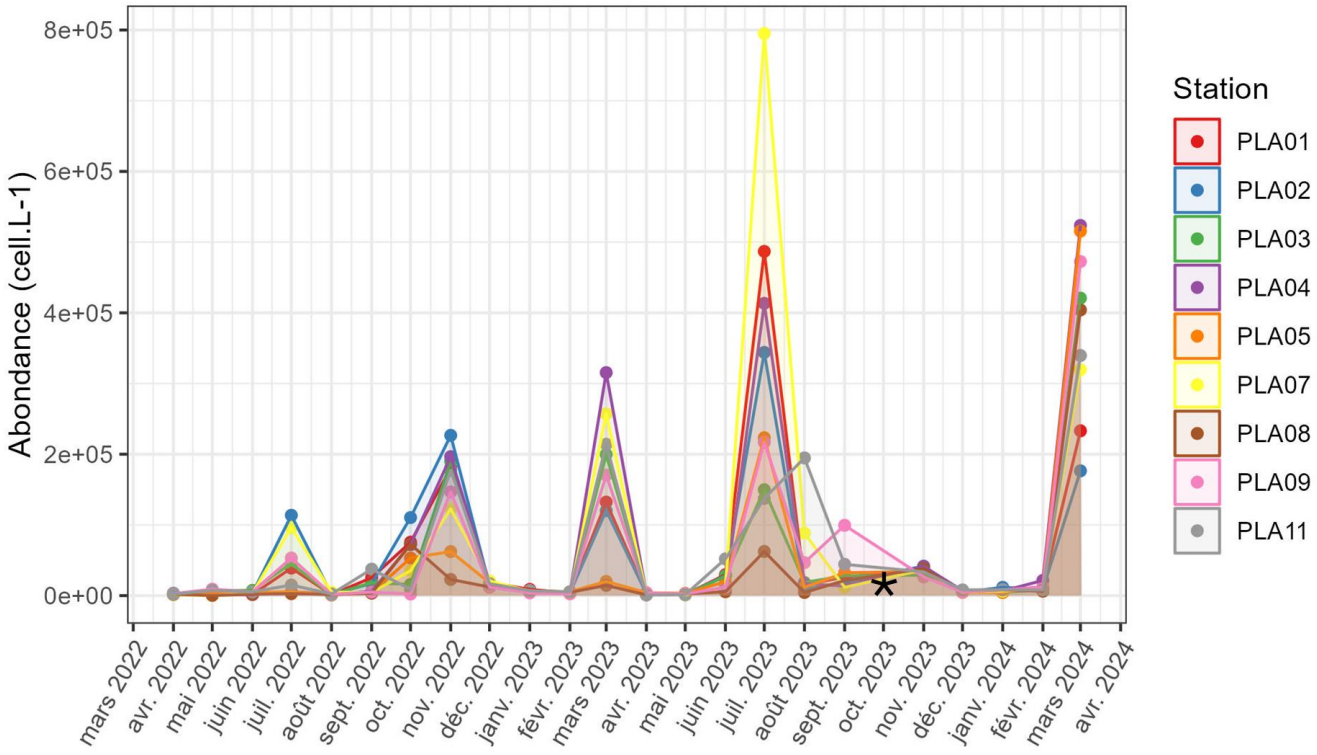


Figure 23 : Evolution de l'abondance totale en cellules/l du phytoplancton de surface (unités taxonomiques) par station entre avril 2022 et mars 2024 (= pas de données / source : setec énergie environnement, 2024)*

En considérant l'abondance par classes phytoplanctoniques (cf. Figure 24), ce sont les **Diatomées** (« BACI » sur la figure pour Bacillariophycées, autre nom de cette classe) qui dominent la communauté phytoplanctonique au niveau de la zone d'étude et pendant la période de l'état initial avec un total de **11 089 880 cellules/l** (à l'exception des campagnes d'avril et mai 2023). La Figure 24 montre que les pics d'abondance observables à la Figure 23 sont du même ordre que les pics observés pour les Diatomées.

Les Diatomées sont suivies en termes d'abondance par les **Dinoflagellés** (« DINO » : 537 830 cellules/l) puis par d'autres groupes phytoplanctoniques : les **Heterokontophytes** (« HETE » : 133 130), les **Euglénophytes** (« EUGL » : 1 680), les **Chlorophytes** (« CHLO » : 130) et les **Ebriophytes** (« EBRI » : 60).

Deux autres classes, celles des Cyanobactéries (genres *Aphanocapsa & Aphanothece,* total de 97 300 cellules/l) et des Cryptophytes (genre *Teleaulax,* total de 798 500 cellules/l), ont été recensés car en état de bloom en novembre et décembre 2022. Ce sont du nanophytoplancton (taille inférieure à 20µm), habituellement dénombré qu'en état de bloom. Leur présence a été notifiée par l'expert taxonomique mais c'est seulement une information ponctuelle. Ces genres n'ont pas été dénombrés aux autres campagnes ainsi il a été choisi de ne pas les considérer dans les représentations graphiques et analyses.

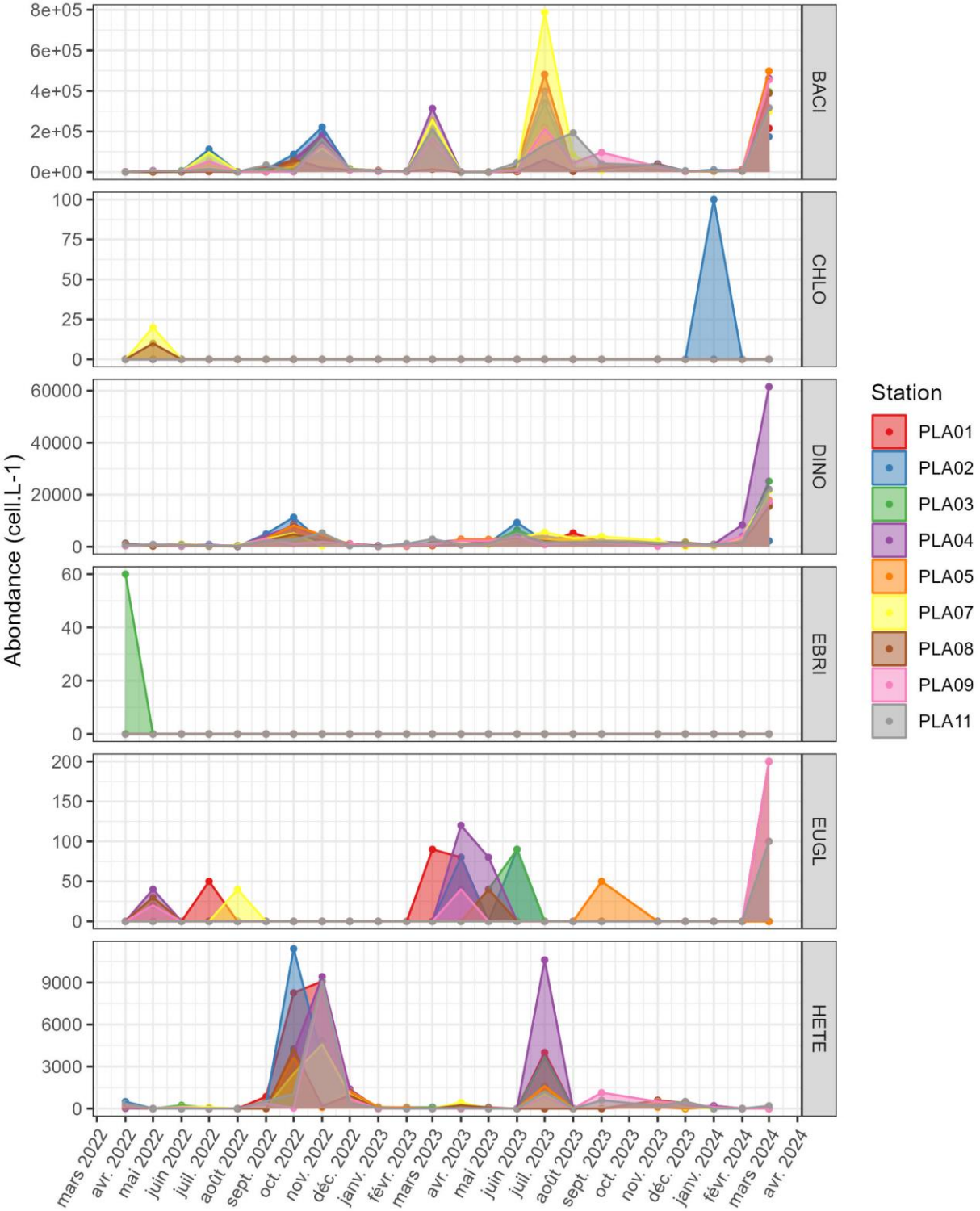


Figure 24 : Evolution de l'abondance totale en cellules/l des principales classes phytoplanctoniques par station entre avril 2022 et mars 2024 (= pas de données / source : setec énergie environnement, 2024)*

La Figure 25 présente l'abondance relative en % des grands taxons phytoplanctoniques composant la communauté phytoplanctonique de la zone d'étude de l'AO5 présentés ci-dessus entre avril 2022 et mars 2024. Comme attendu, la classe des Diatomées constitue la part la plus importante, avec plus de 50% de l'abondance relative à chaque campagne, à l'exception des campagnes d'avril et mai 2023. À ces campagnes, ce sont les Dinoflagellés qui composent à plus de 70% la communauté phytoplanctonique.

Les Diatomées constituent l'un des groupes phytoplanctoniques les plus diversifiés. Les organismes appartenant aux diatomées ont une taille comprise entre 5 et 500 µm et ont la particularité d'être enveloppées dans un squelette de silice, aussi appelé frustule. Les Diatomées se divisent en deux groupes : les Centriques et les Pennées. Les Centriques sont caractérisées par une symétrie centrale de leur frustule et les Pennées, par une symétrie bilatérale. Les Dinoflagellés comprennent des organismes aux formes et modes de vie variés. Ils ont la particularité de présenter un ou deux flagelles, ce qui les rend plus mobiles que les Diatomées qui ne sont pas capables de nager.

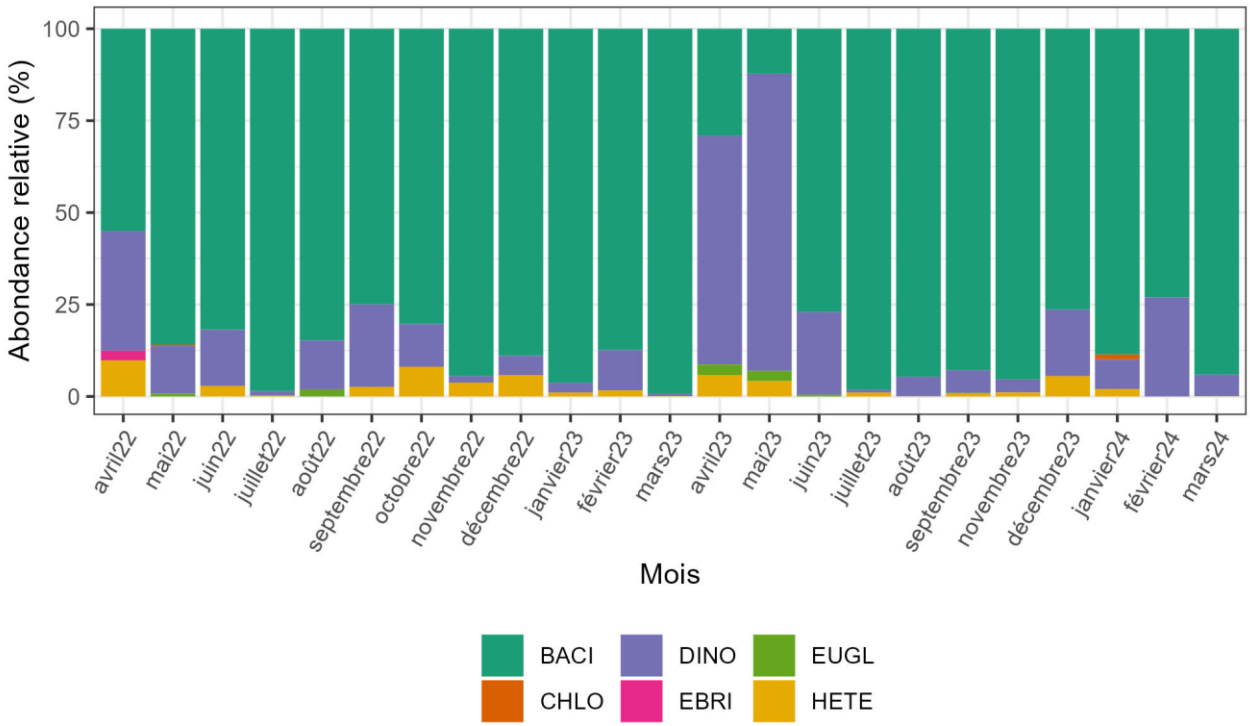


Figure 25 : Abondance relative (%) des grands taxons phytoplanctoniques de surface entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

3.2.3.1 Indices de diversité

La Figure 26 présente sous forme de boxplot la richesse spécifique et les indices de diversité de Shannon (H), Piélou (E') et Simpson (D) sur les 93 unités taxonomiques considérées du phytoplancton entre avril 2022 et mars 2024.

La richesse spécifique est maximale à l'automne 2022 (en moyenne entre 18 unités taxonomiques - UT en septembre et 30 UT en moyenne en décembre), en été-automne 2023 (en moyenne entre 19 UT en juillet et 24 UT en août). En mars 2023 et mars 2024, la richesse spécifique est également importante avec respectivement 19 et 23 UT en moyenne identifiés. Sur le reste de la période – hiver et printemps -, le nombre d'UT oscille autour d'une moyenne de 15 UT.

L'indice de Shannon (H) a varié entre 0.5 et 2.7 et ceux de Piélou (E') et de Simpson (D) ont varié entre 0.2 et 0.9. La plus faible valeur des indices est mesurée en juillet 2022, mars 2023, juillet 2023 & mars 2024, campagnes pour lesquelles des pics d'abondance ont été observés à la Figure 23. Ces valeurs faibles indiquent que toutes les UT ne sont pas également distribuées, qu'un ou plusieurs UT ont dominé en termes de nombre d'individus, et que donc la communauté phytoplanctonique n'était pas homogène. Au regard de la lecture des indices et des abondances fortes, il y a vraisemblablement eu des blooms phytoplanctoniques.

Pour le reste des campagnes, H prend des valeurs en moyenne supérieures à 1 et E' des valeurs moyennes au-dessous de 0.50. Les indices de Shannon et Piélou évoluent globalement de la même manière avec au printemps des valeurs d'indices élevées puis qui diminuent à l'été avant de remonter à l'automne-hiver. L'étude de l'indice de Simpson montre que la communauté phytoplanctonique n'est pas homogène aux campagnes pour lesquelles des pics d'abondances ont été observés ainsi qu'en août 2022. Les campagnes avec les valeurs les plus hautes de Simpson et donc avec la communauté phytoplanctonique la plus homogène sont celles du printemps et de l'automne 2022, de l'hiver 2022-2023 ainsi que celles de l'hiver 2023-2024.

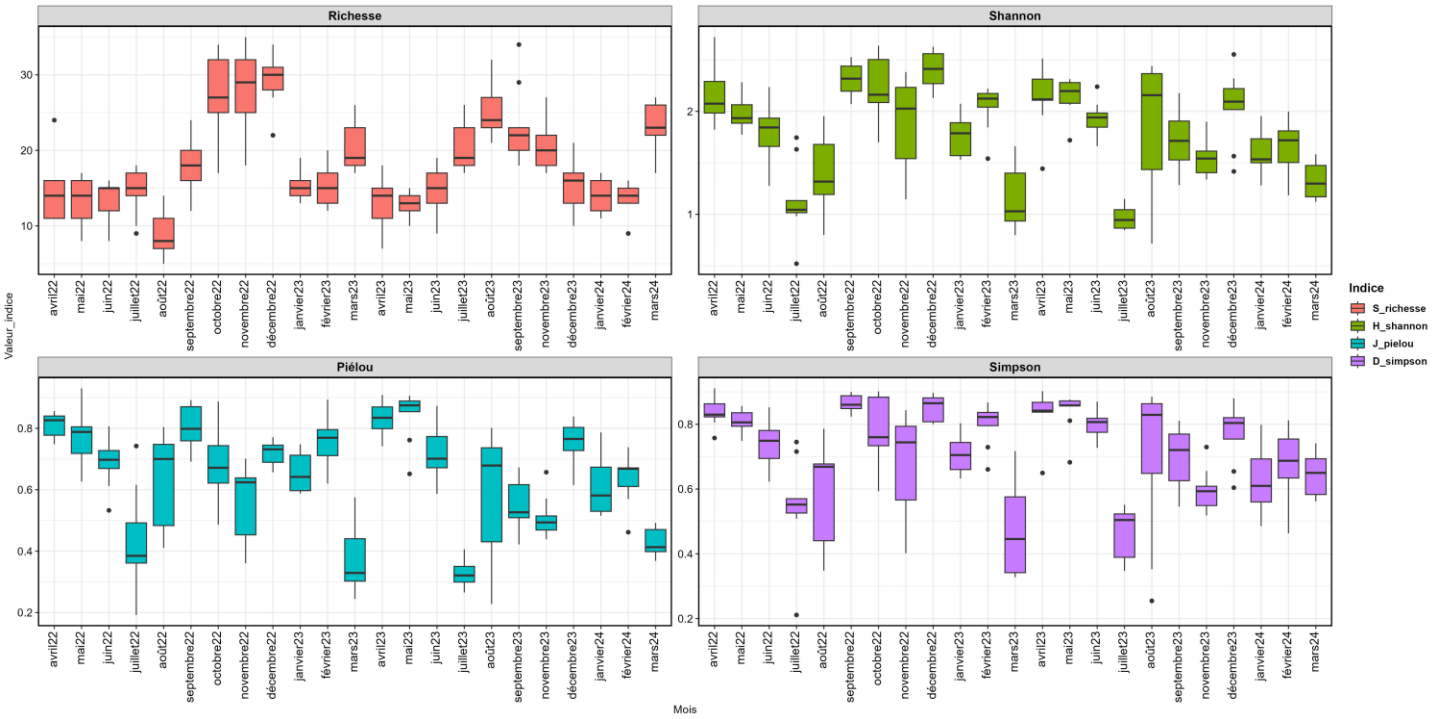


Figure 26 : Boxplot des indices de diversité des unités taxonomiques du phytoplancton de surface - richesse spécifique, indice de Shannon, de Piélou et de Simpson en avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

3.2.3.1 Structure des communautés phytoplanctoniques

L'analyse de clustering via la classification hiérarchique ascendante (résultat non montré : trop d'échantillons à visualiser) a permis d'identifier des groupes d'échantillons présentant une structure de communauté similaire au sein de chaque groupe, tout en se distinguant des autres groupes :

- **Groupe 1 « août 2022 » (jaune)** : stations de la campagne d'août 2022 sauf PLA09 ;
- **Groupe 2 « printemps-été 2022 » (vert foncé)** : les stations du printemps-été 2022, c'est-à-dire avril, mai (sauf PLA07), juin 2022 ainsi que les stations les plus au large de la zone d'étude PLA05 et PLA08 de juillet 2022 et la station la plus proche de Belle-Île, PLA09, d'août 2022 ;
- **Groupe 3 « intermédiaire printemps-hiver 2022/2023/2024 » (violet)** : stations des campagnes de juillet 2022 (sauf les 2 stations les plus au large PLA05 et PLA08), septembre 2022 (sauf stations PLA04 à PLA09), octobre 2022 (sauf PLA09) à décembre 2022, mars 2023 (sauf PLA05 et PLA08), juin à septembre 2023, novembre 2023 et mars 2024 ;
- **Groupe 4 « partie de l'automne 2022 & printemps 2023 » (bleu)** : la station PLA de mai 2022, les stations PLA04 à PLA09 en septembre 2022, la station PLA09 en octobre 2022 ainsi que les échantillons du printemps 2023, c'est-à-dire toutes les stations des campagnes d'avril et mai 2023 ;
- **Groupe 5 « hiver » (orange)** : les stations de l'hiver, c'est-à-dire les échantillons de janvier et février 2023, les stations PLA05 et PLA08 de mars 2023 ainsi que ceux de décembre 2023 à février 2024 ;

Les groupes « Printemps-été 2022 », « août 2022 » et « hiver 2023 » avaient également pu être identifiés par l'analyse CAH sur les données d'avril 2022 à mars 2023.

La Figure 27 présente l'ordination du NMDS, méthode qui permet de mettre en évidence plus clairement les similarités entre les échantillons. La figure met en évidence 3 principales différences :

- Une différence nette entre le **groupe 2 « printemps – été 2022 »** et le **groupe 5 « hiver »** (pas de chevauchement des ellipses) ;
- Une légère différence entre le **groupe 2 « printemps – été 2022 »** et le **groupe 4 « partie de l'automne 2022 & printemps 2023 »** (léger chevauchement).
- L'ellipse de ce dernier groupe chevauche également légèrement avec le **groupe 5 « hiver »**.

Le **groupe 3 « intermédiaire printemps-hiver 2022/2023/2024 »** présente une structure intermédiaire aux 3 groupes ci-dessus (chevauchement de l'ellipse du **groupe 3** avec celles des groupes **2**, **4** et **5**).

Quant au **groupe 1 « août 2022 »**, c'est celui qui présente le plus de variabilité entre les échantillons au sein du groupe au regard de la grande ellipse qui entoure les échantillons. C'est par ailleurs le groupe qui regroupe le moins d'échantillons. L'ellipse de ce groupe chevauche largement celles des autres groupes, ce qui laisse penser qu'il n'y a pas de différence entre ce **groupe 1** et les autres.

Enfin, toujours sur le NMDS, il semble que les différentes campagnes se groupent ensemble au sein de chaque groupe. Cela est par exemple visible au sein du **groupe 2** où les échantillons du mois d'avril 2022 (rond vert) se regroupent dans la partie supérieure de l'ellipse, idem pour les échantillons de novembre 2022 (étoile), de décembre 2022 (losange quadrillé) et juin 2023 (carré plein violet) au sein du **groupe 3** ou encore les échantillons de février 2024 (carré vide orange), ceux de janvier 2024 (rond vide orange) au sein du **groupe 5**.

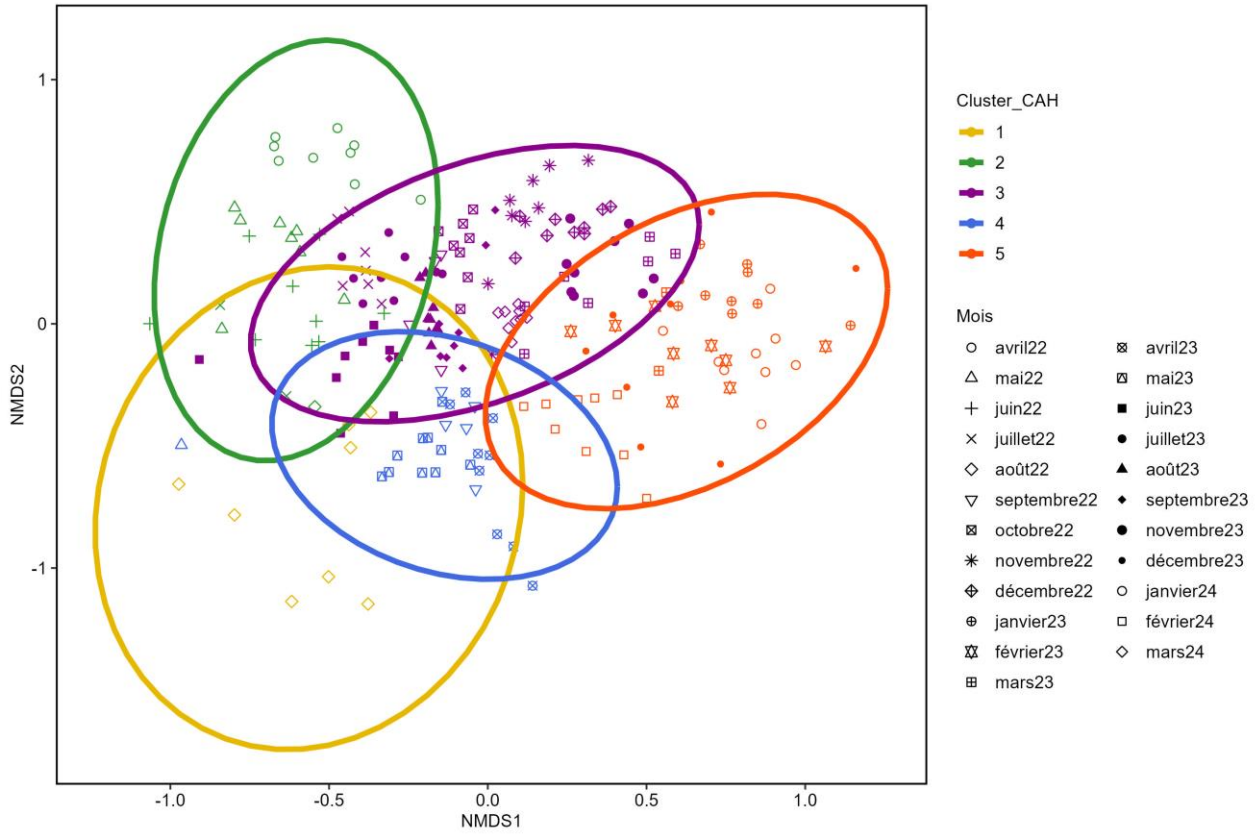


Figure 27 : NMDS à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance des unités taxonomiques du phytoplancton de surface de chaque station et chaque campagne entre avril 2022 et mars 2024. Les ellipses représentent les groupes identifiés par la classification hiérarchique (source : setec énergie environnement, 2024)

La PERMANOVA (cf. Tableau 3) a permis de vérifier qu'il y a des différences significatives entre les clusters et entre les campagnes.

Tableau 3 : Résultats de la PERMANOVA (source : setec énergie environnement, 2024)

Test	Statistique F	*p value*
Abondance ~ Groupe	38.445	0.001
Abondance ~ Campagne	20.019	0.001

La Figure 28 présente le NMDS avec seulement les stations représentées. Elle met en évidence qu'il n'y a pas de regroupement clair des stations à l'intérieur de chaque saison identifiée, ce qui indique que, par saison, les différences de structure de la communauté entre les stations sont faibles.

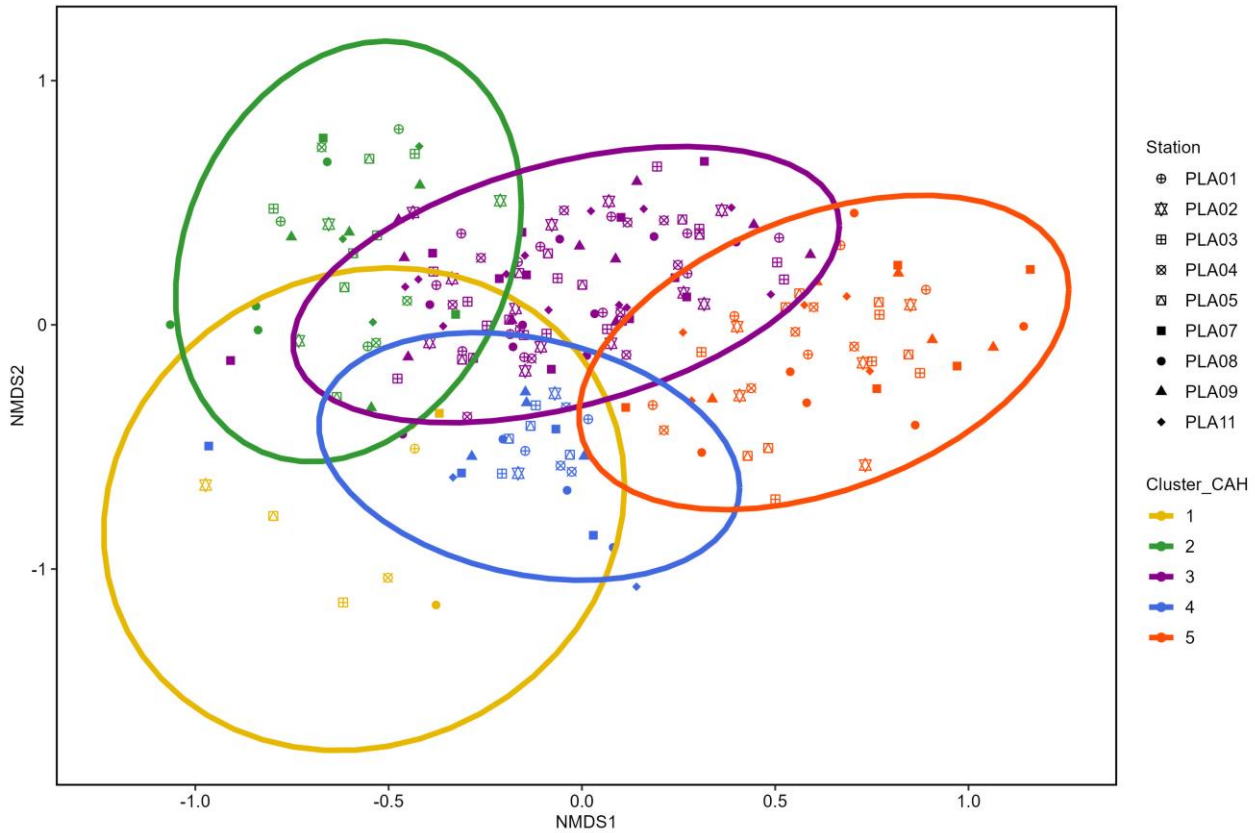


Figure 28 : NMDS à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance des unités taxonomiques du phytoplancton de surface de chaque station entre avril 2022 et mars 2024. Les ellipses représentent les groupes identifiés par la classification hiérarchique (source : setec énergie environnement, 2024)

Cette observation a également été testé via la PERMANOVA : il n'y a pas des différences entre stations au sein de chaque groupe, après l'élimination de l'effet des groupes (p=0.956). Ainsi, il est possible de dire que la structure de communauté change dans le temps et selon les mois.

Ce résultat est présenté ci-dessous (cf. Figure 29) sous forme de classification hiérarchique ascendante sur les abondances moyennes des stations par campagne.

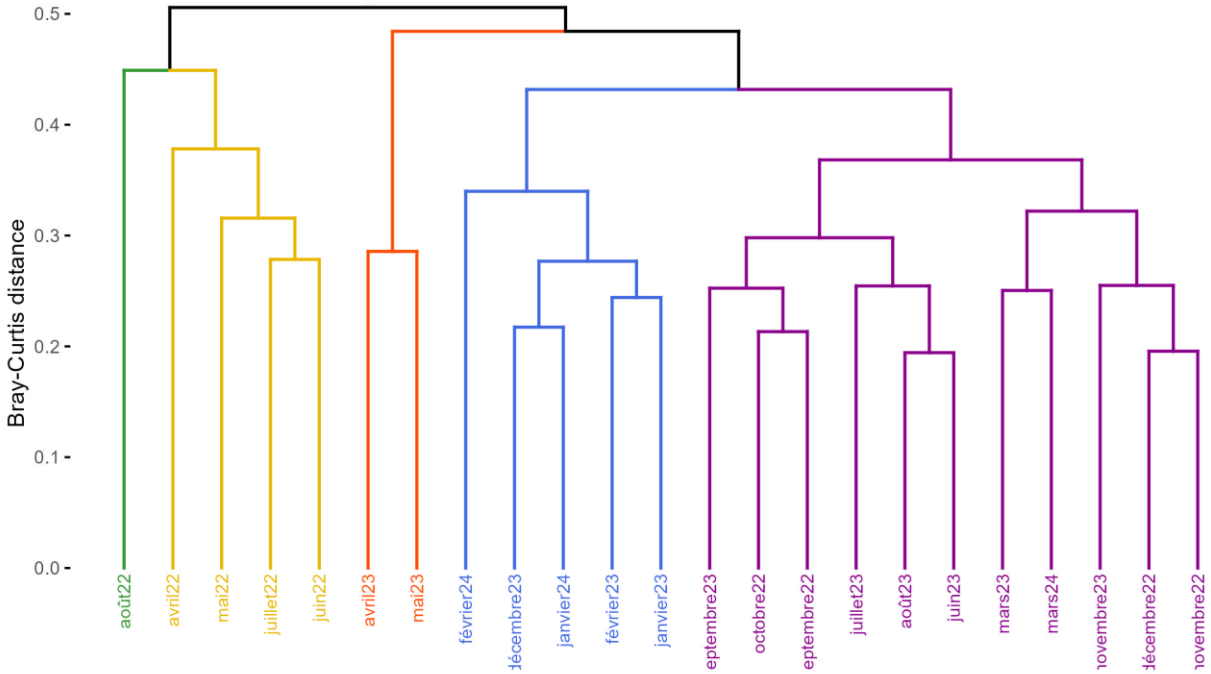


Figure 29 : Classification hiérarchique à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance des unités taxonomiques phytoplanctoniques de surface à chaque campagne (moyenne des stations par campagne) entre avril et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

L'analyse des clustering permet d'identifier les principaux changements dans la structure de communautés et les principaux groupes qui se sont succédé pendant cet état initial. Le Tableau 4 présente les caractéristiques de chaque groupe identifié par la CAH en termes de nombre de stations, de campagnes, d'abondance moyenne, de richesse spécifique S moyenne, d'indice de Shannon H moyen, de Simpson D moyen et de Pielou E'.

Le **groupe 3 « intermédiaire printemps-hiver 2022/2023/2024 »** est le groupe qui a la plus grande abondance et richesse spécifique moyenne, ce qui est logique car c'est le groupe qui regroupe le plus d'échantillon. Les indices de Shannon, Piélou et Simpson moyens les plus importants sont ceux du **groupe 4 « partie de l'automne 2022 & printemps 2023 »**. Le **groupe 1 « août 2022 »** présente les plus faibles valeurs moyennes des indices de Shannon, Simpson, Piélou. Cela indique que ce groupe est moins diversifié, que les différentes unités taxonomiques ne sont pas dans les mêmes proportions.

Tableau 4 : Caractérisation des groupes identifiés par la CAH en termes de nombre de stations, de campagnes, d'abondance moyenne, de richesse spécifque S moyenne, d'indice de Shannon H moyen, de Simpson D moyen et de Piélou E moyen avec en gras les valeurs les plus fortes et en souligné les plus faibles (source : setec énergie environnement, 2024)

Groupe CAH	Nombre d'échantillons	Nombre de campagnes	Abondance moyenne (±écart-type)	Richesse spécifique S moyenne (±ET)	Indice de Shannon H moyen (±ET)	Indice de Simpson D moyen (±ET)	Indice de Piélou E moyen (±ET)
1	8	1	2 136 (±1 204.74)	9 (±3.25)	1.95 (±0.57)	0.58 (±0.16)	0.91(±0.23)
2	9	5	3 464.41 (±2 197.86)	13.52 (±3.14)	2.76 (±0.47)	0.78 (±0.08)	1.07 (±0.14)
3	9	12	**114 060.2** (±147 128.8)	**22.15 (±5.18)**	2.38 (±0.78)	0.66 (±0.17)	0.78 (±0.24)
4	9	5	2 607.6 (±1 439.513)	13.44 (±3.25)	**3.12 (±0.40)**	**0.84 (±0.35)**	**1.22 (±0.09)**
5	9	6	7 280.11 (±3967.315)	14.68 (±2.61)	2.58 (±0.49)	0.71 (±0.12)	0.96 (±0.16)

L'analyse des espèces indicatrices permet d'identifier quelles sont les unités taxonomiques indicatrices des groupes identifiés par la CAH. Les résultats pour les principales unités taxonomiques sont présentés dans le Tableau 6.

- Les UT du Dinoflagellé *Karlodinium* (1 seul taxon) et de la Diatomée *Dactyliosolen spp* (regroupant 4 taxons) sont significativement associées au groupe 1 « août 2022 » ;

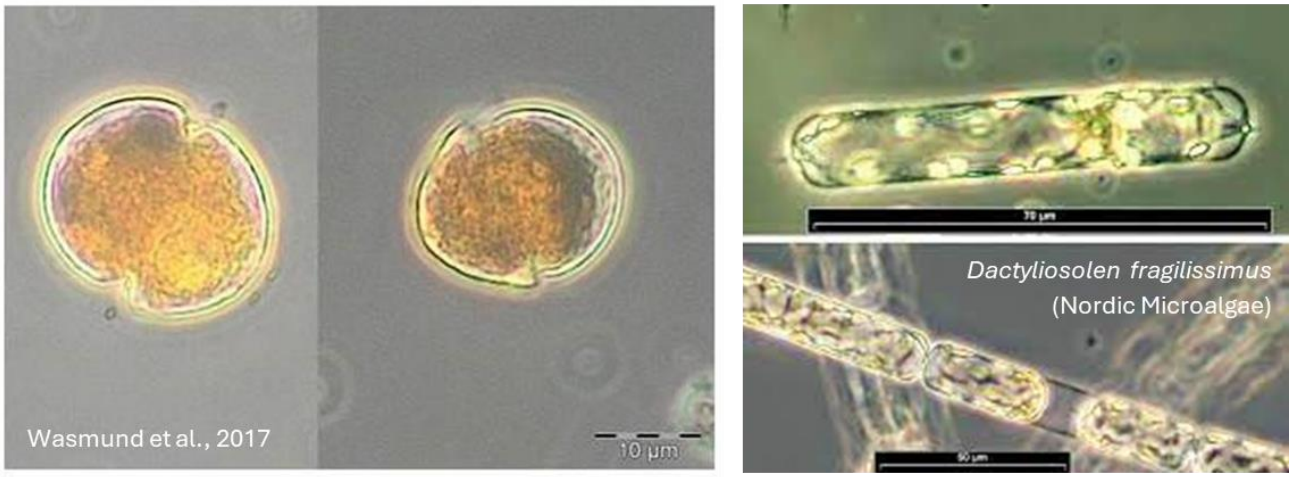


Photo 5 : Karlodinium sp. (d'après la publication de Wasmund et al., 2017) & Dactyliosolen fragilissimus (source : Nordic Microalgae)

- La Diatomée *Haslea* (UT regroupant 1 seul taxon) et les Dinoflagellés des UT *Mesoporos sp* (1 taxon) et *Tripos spp* (11 taxons) sont significativement associé au groupe 2 « printemps-été 2022 » ;

Photo 6 : Haslea vitrea en haut à gauche (source : Culture Collection of algae & protozoa), Mesoporos perforatus (source : PlanktonNET) & représentants de Tripos spp. - T. fusus, horridus & macroceros (source : algae bae & COPEPEDIA)

- Les Diatomées *Leptocylindrus danicus* (1 seul taxon), *Chaetoceros spp* (regroupant 30 taxons) & *Pseudo-nitzschia spp* (regroupant 7 taxons), *Proboscia spp* (regroupant 2 taxons) et *Rhizosolenia spp* (7 taxons) sont significativement associés au groupe 3 « intermédiaire printemps-hiver 2022/2023/2024 » ;

Photo 7 : Leptocylindrus danicus, Chaetoceros decipiens (source : COPEPEDIA) & Pseuno-nitzschia sp. (source : Ifremer)

Le groupe 3 est par ailleurs aussi celui qui **regroupe les UT à l'origine des pics d'abondance de phytoplancton** observés sur la Figure 23 comme le montre le Tableau 5.

Tableau 5 : Composition et abondance des pics d'abondance phytoplanctonique de surface (source : setec énergie environnement, 2024)

Campagne	UT (taxon)	Abondance
Juillet 2022	*Dactyliosolen spp.* (*D. fragilissimus*)	Total de 244 900 cellules/l (plus de 65 000 aux station PLA07 et PLA02)
Novembre 2022	*Pseudo-nitzschia spp.* (*P-n., groupe des sigmoïdes*)	Total de 434 700 (max = 128 600 à la station PLA02)
Mars 2023	*Chaetoceros spp.* (*C. socialis*)	Total de 914 400 (max = 222 800 à la station PLA04)
Juillet 2023	*Leptocylindrus*, complexe *danicus* groupe des larges	Total de 1 912 400 (max = 498 300 à la station PLA07)
Mars 2024	*Chaetoceros spp.* (*C. danicus*)	Total de 1 293 500 (max = 230 200 à la station PLA05)

- Les Dinoflagellés *Katodinium spp* (2 taxons), *Scrippsiella – Ensiculifera – Pentapharsodinium* (1 taxon) & *Torodinium spp* (2 taxons) sont significativement associés au groupe 4 « partie de l'automne 2022 & printemps 2023 » ;

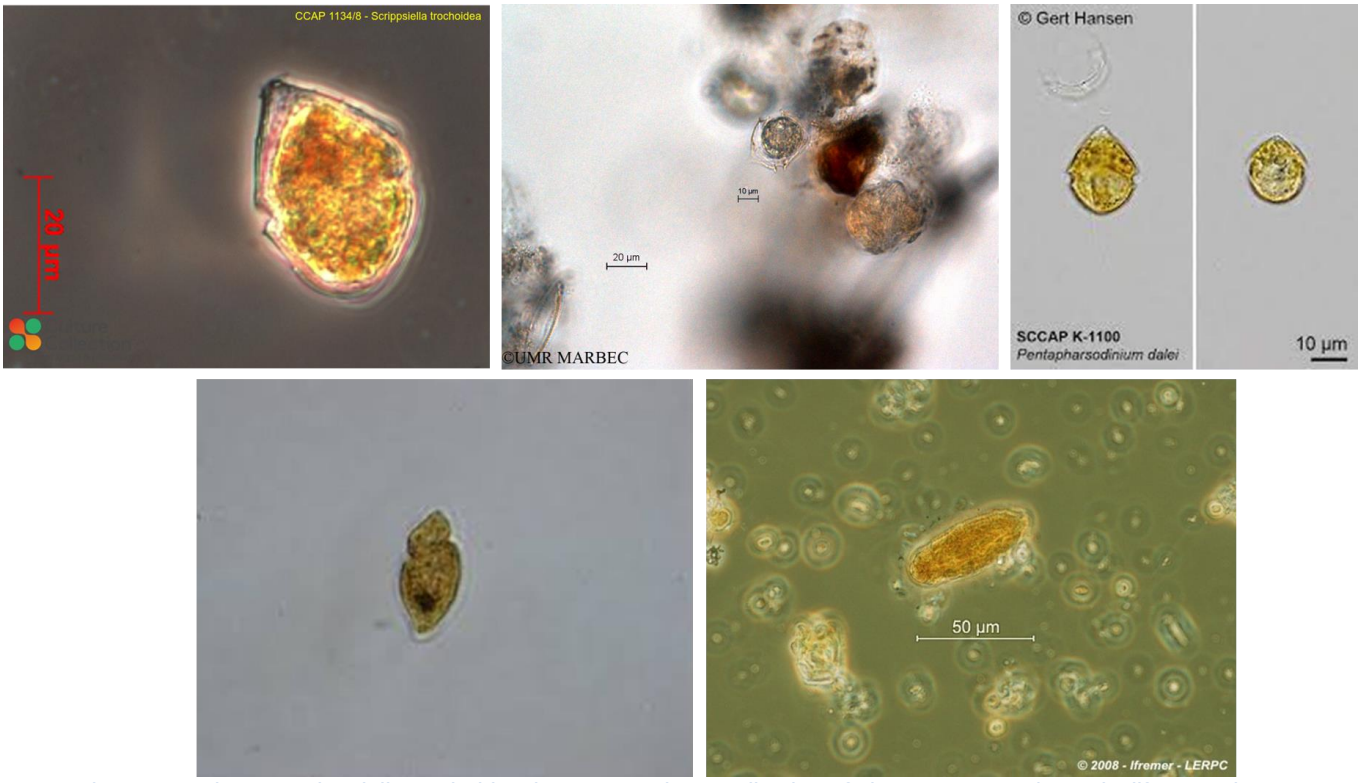


Photo 8 : En haut : Scrippsiella trochoidea (Source : Culture Collection of algae & protozoa), Ensiculifera sp. (UMR MARBEC) & Pentapharsodinium dalei et en bas, de gauche à droite : Katodinium sp. (WoRMS) & Torodinium sp (Ifremer)

- Les Diatomées *Diploneis spp* (3 taxons), *Nitzschia spp* (2 taxons), *Paralia*, *Navicula*, *Pleurosigma – Gyrosigma* (1 seul taxon pour chacun des 3 UT), *Thalassiosira spp* (2 taxons) & *Cylindrotheca closterium – Nitzschia longissima* (1 seul taxon) sont significativement associés au groupe 5 « hiver 2022/2023/2024 ».

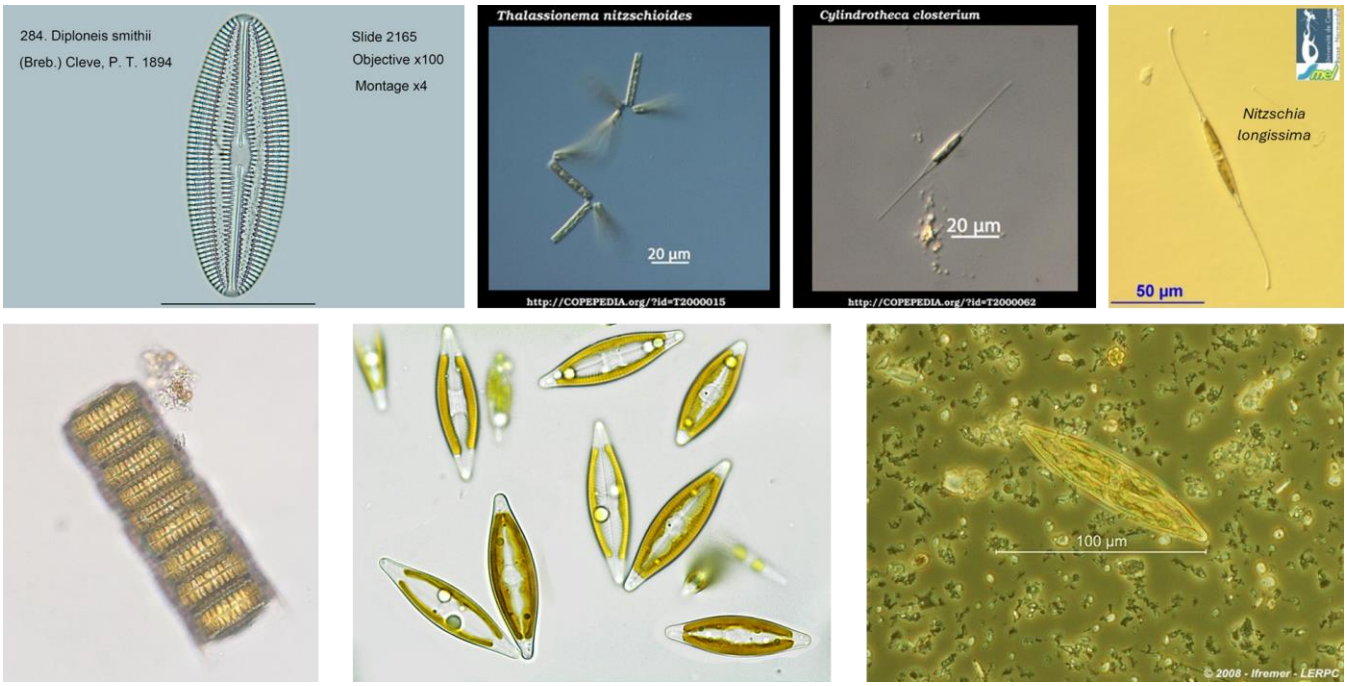


Photo 9 : De gauche à droite et de haut en bas : Diploneis smithii (source : oamaru diatoms), Thalassionema nitzschioides, Cylindrotheca closterium (COPEPEDIA), Nitzschia longissima (PlanktonNET), Paralia (iNaturalist), Navicula sp. (Diatom Flora of Britain and Ireland) et Pleurosigma-Gyrosigma (Ifremer)

Tableau 6 : Résultats de l'analyse des espèces indicatrices sur les unités taxonomiques du phytoplancton de surface (source : setec énergie environnement, 2024)

Cluster CAH	Classe de phytoplancton	Unité taxonomique (Nombre de taxons compris dans l'UT)	Campagnes où présent	Valeur IndVal	*p value*
1	Dinoflagellés	*Karlodinium* (1 taxon)	18	0.48	0.001
1	Diatomées	*Dactyliosolen spp* (4)	18	0.35	0.001
2	Dinoflagellés	*Mesoporos sp* (1)	6	0.47	0.001
2	Dinoflagellés	*Tripos spp* (11)	21	0.37	0.001
2	Diatomées	*Haslea* (1)	17	0.33	0.005
3	Diatomées	*Leptocylindrus danicus* (1)	17	0.47	0.001
3	Diatomées	*Chaetoceros spp* (30)	21	0.46	0.001
3	Diatomées	*Pseudo-nitzschia spp* (7)	23	0.37	0.001
3	Diatomées	*Proboscia spp* (2)	14	0.33	0.004
3	Diatomées	*Rhizosolenia spp* (7)	18	0.30	0.003
4	Dinoflagellés	*Katodinium spp* (2)	19	0.498	0.001
4	Dinoflagellés	*Scrippsiella – Ensiculifera – Pentapharsodinium* (1)	20	0.32	0.005
4	Dinoflagellés	*Torodinium spp* (2)	22	0.33	0.001
5	Diatomées	*Diploneis spp* (3)	9	0.64	0.001
5	Diatomées	*Nitzschia spp* (2)	10	0.47	0.001
5	Diatomées	*Paralia* (1)	11	0.46	0.001
5	Diatomées	*Navicula* (1)	12	0.45	0.001
5	Diatomées	*Pleurosigma – Gyrosigma* (1)	13	0.43	0.001
5	Diatomées	*Thalassiosira spp* (2)	20	0.37	0.001
5	Diatomées	*Cylindrotheca closterium - Nitzschia longissima* (1)	22	0.32	0.001

Les résultats de l'analyse SIMPER pour les trois principales UT qui contribuent le plus à la différence (présentés en Annexe 5) permettent de comprendre en quoi la composition phytoplanctonique des groupes identifiés par le CAH est différente.

La dissimilarité entre les différents groupes varie entre **60%** (entre le groupe 2 « printemps-été 2022 » et le 3 « intermédiaire printemps-hiver 2022/2023/2024 ») et **75%** (entre le groupe 1 « août 2022 » et le groupe 5 « hiver » & entre le groupe 2 « printemps-été 2022 » et le 5). Sur les 65 UT considérées pour les analyses multi-variées, **11 contribuent le plus à la différenciation entre les différents groupes** :

- La Diatomée *Leptocylindrus danicus* - significativement associé au groupe 3

Ce taxon contribue significativement à la dissimilarité entre les groupes 2 et 3 & les groupes 1 et 4 car il est absent dans les échantillons d'août 2022 et du groupe 4. Il contribue également significativement à la dissimilarité entre le groupe et 3 & le groupe 5 en raison de son abondance plus faible en hiver.

- Les Dinoflagellés *Tripos spp* (UT regroupant 11 taxons)

Comme pour la Diatomée *Leptocylindrus danicus*, cette UT contribue significativement à la dissimilarité entre le groupe 2 & le groupe 1 car il est absent en août 2022.

- Le Dinoflagellé *Karlodinium* - significativement associé au groupe 1

Ce taxon contribue significativement à la dissimilarité entre le groupe 2 & le groupe 1 car son abondance est plus élevée en août 2022.

- Les Diatomées *Chaetoceros spp* - significativement associé au groupe 3

Cette UT contribue significativement à la dissimilarité entre les groupes 3 et 5 & le groupe 1 « août 2022 » car il est absent dans les échantillons d'août 2022. Il contribue aussi significativement à la dissimilarité entre le groupe 3 & les groupes 2 et 4 en raison de son abondance plus élevée dans le groupe intermédiaire. Il est aussi moins abondant dans les échantillons du groupe 4 que le groupe 5.

- Les Dinoflagellés *Gymnodinium spp & Gyrodinium spp* (UT regroupant 5 taxons)

Cette UT contribue significativement à la dissimilarité entre les groupes 3 et 4 & le groupe 1 car son abondance est plus faible en août 2022.

Photo 10 : Gymnodinium sp. & Gyrodinium sp. (source : Culture Collection of algea & protozoa & Ifremer)

- Les Dinoflagellés *Katodinium spp* - significativement associé au groupe 4

Cette UT contribue significativement à la dissimilarité entre les groupes 1 et 2 & le groupe 4 car il est absent en août 2022 et moins abondant au printemps-été 2022.

- Les Diatomées *Dactyliosolen spp* - significativement associé au groupe 1

Ce taxon contribue significativement à la dissimilarité entre les groupes 4 et 5 & le groupe 1 « août 2022 et 3 car son abondance est plus élevée dans les échantillons des groupes 1 et 3. Cette UT est moins abondante dans le groupe 4 que dans le groupe 2.

- Les Diatomées *Thalassiosira spp* - significativement associé au groupe 5

Cette UT contribue significativement à la dissimilarité entre les groupes 1 et 4 & le groupe 5 car son abondance est plus élevée en hiver.

- La Diatomée *Cylindrotheca closterium – Nitzschia longissima* - significativement associé au groupe 5

Cette UT contribue significativement à la dissimilarité entre les groupes 3 & 5 et le groupe 2 en raison de son abondance moins élevée au printemps-été 2022.

- Les Diatomées *Pseudo-nitzschia spp* - significativement associé au groupe 3

Cette UT contribue significativement à la dissimilarité entre le groupe 3 & les groupes 2 et 5 en raison de son abondance plus élevée dans le groupe 3.

- Les Diatomées *Diploneis spp* - significativement associé au groupe 5

Cette UT contribue significativement à la dissimilarité entre les groupes 2 et 4 & le groupe 5 en raison de son absence dans les groupes 2 et 4.

3.2.4 Comparaison de la communauté de surface avec celle au niveau du pic de fluorescence

Comme mentionné dans la partie 2.3.2.2.2, de mars 2023 à mars 2024, un prélèvement supplémentaire d'eau de mer à la bouteille Niskin a été réalisé au pic de fluorescence, quand celui-ci était présent, afin d'étudier la communauté au maximum de chlorophylle a. Le Tableau 7 présente les campagnes et stations qui ont fait l'objet d'un prélèvement supplémentaire. On remarque que les moments où le plus de pics de fluorescence est enregistré correspondent aux périodes où les eaux sont stratifiées en température (mars 2024 : l'eau commence à se réchauffer).

Tableau 7 : Campagnes et stations qui ont fait l'objet d'un prélèvement supplémentaire au pic de fluorescence (source : setec énergie environnement, 2024)

ID campagne	Mois	Prélèvements en surface	Prélèvements au pic (profondeur de prélèvement)
12	Mars 2023	9	Pas de pic
13	Avril 2023	9	Pas de pic
14	Mai 2023	9	Pic à la station PLA11 (25m)
15	Juin 2023	9	Pic à chaque station sauf PLA08 (~20m)
16	Juillet 2023	9	Pic aux stations PLA05, PLA08, PLA09 et PLA11 (~35m)
17	Août 2023	9	Pic à chaque station sauf PLA01 et PLA03 (30m)
18	Septembre 2023	9	Pic à chaque station (~35m)
19	Novembre 2023	9	Pas de pic
20	Décembre 2023	9	Pic aux stations PLA08 et PLA09 (~15m)
21	Janvier 2024	9	Pas de pic
22	Février 2024	9	Pic à la station PLA03 (43m)
23	Mars 2024	9	Pic à chaque station sauf PLA011 (~10m)
TOTAL		**207**	**40**

La Figure 30 ci-dessous présente l'abondance totale (cellules/l) en surface (rouge) et à la profondeur du pic de fluorescence (bleu) pour les campagnes & stations qui ont fait l'objet d'un pic supplémentaire.

À la station **PLA11 en mai 2023**, l'**abondance** totale est **légèrement supérieure au pic** (1 720 cellules/l) qu'en surface (1 320 cellules/l). En **juin 2023**, cela **dépend des stations** : l'abondance totale du phytoplancton est plus importante à la profondeur du pic aux stations PLA01, PLA03, PLA04, PLA05, PLA09 et PLA11, alors qu'elle est plus importante en surface à la station PLA02. En **juillet 2023**, l'abondance totale en **surface est plus importante**, sauf à la station la plus au large, **PLA08, où l'abondance du phytoplancton au pic est nettement supérieure**. En août 2023, le phytoplancton de surface des stations PLA07 et PLA11 est plus abondant que celui du pic et c'est l'inverse pour les stations PLA02, PLA04, PLA05, PLA08 et PLA09. En septembre 2023, l'abondance totale du phytoplancton de surface aux stations PLA05 et PLA09 est supérieure à celui du pic alors que c'est l'inverse pour le reste des stations. En décembre 2023, seules deux stations ont fait l'objet d'un prélèvement supplémentaire : PLA08 à laquelle l'abondance en surface est plus importante qu'au pic et PLA09 pour laquelle c'est l'inverse. **À la station PLA03** (unique station de la campagne à avoir fait l'objet d'un prélèvement supplémentaire) **en février 2024**, le **prélèvement de surface présente également une abondance plus importante que celui du pic de fluorescence**. Enfin, **en mars 2024**, l'abondance du phytoplancton au **pic de fluorescence** est globalement **plus importante** qu'en **surface** (sauf station PLA03).

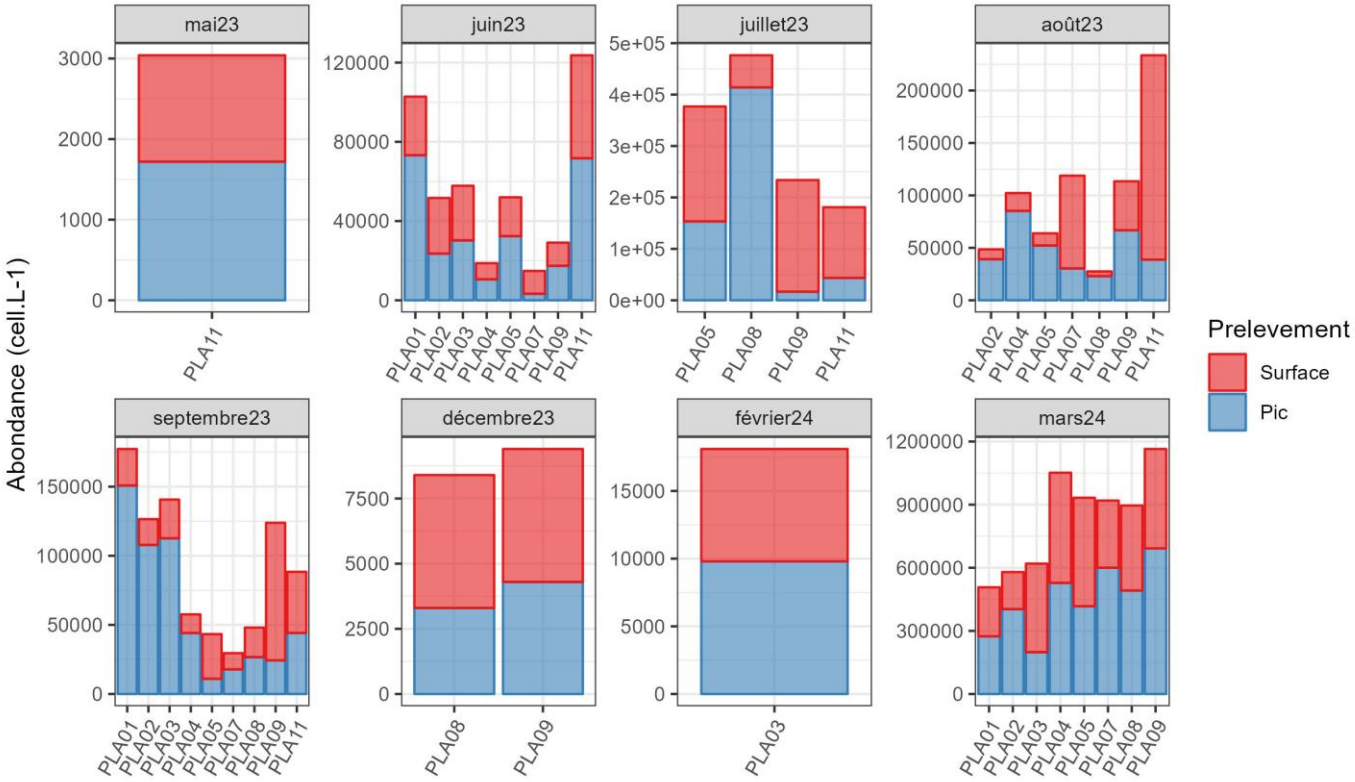


Figure 30 : Abondance totale en cellules/l en surface et à la profondeur du pic de fluorescence aux campagnes & stations qui ont fait l'objet d'un prélèvement supplémentaire (source : setec énergie environnement, 2024)

Si nous comparons quelles UT phytoplanctonique ont été collecté en surface avec celles collectées au pic de fluorescence, nous voyons sur la Figure 31 qu'en **mai 2023 à la station PLA11, la composition des deux communautés est semblable avec un assemblage d'UT : *Karenia spp, Torodinium spp, Gymnodinium spp + Gyrodinium spp*** et ***Katodinium spp.*** La richesse spécifique est légèrement plus importante dans le prélèvement au pic (15 UT) que dans le prélèvement de surface (12 UT).

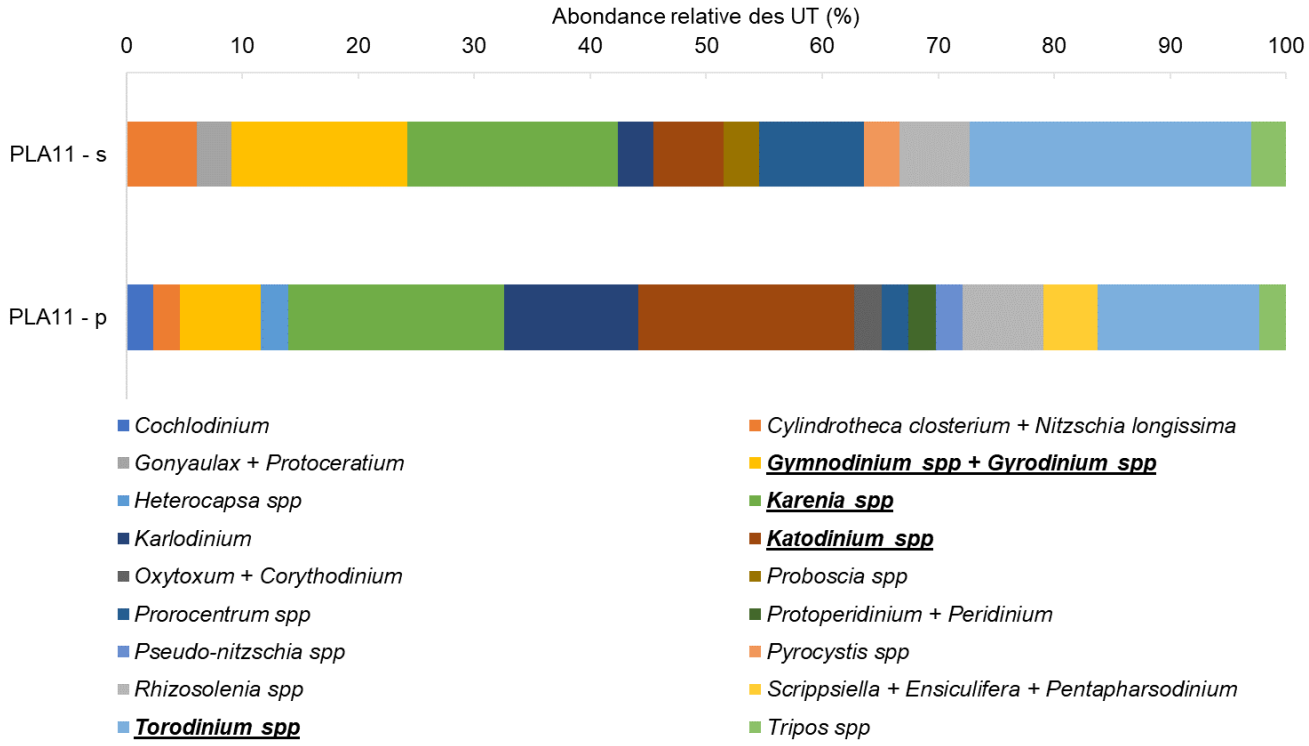


Figure 31 : Abondance relative en % des UT présentes dans le prélèvement de surface « PLA11 – s » et dans le prélèvement au pic de fluorescence « PLA11 – p » à la station PLA11 en mai 2023 (source : setec énergie environnement, 2024)

La Figure 32 en page suivante présente pour chaque station concernée de la campagne de juin 2023 l'abondance relative de toutes les UT collectées en surface et celles collectées au pic de fluorescence. Les communautés phytoplanctoniques de surface et du pic de la station PLA01 sont **très différentes en termes d'abondance relative** comme le montre la Figure 32. En effet, les deux UT les plus importantes en **surface** sont les Diatomées ***Chaetoceros spp*** et ***Dactyliosolen spp*** alors qu'au **pic**, ces UT représentent des parts très faibles de l'abondance, l'UT des Dinoflagellés ***Karenia spp* dominant la communauté**. Le même constat est observé à la station PLA11, station pour laquelle la richesse spécifique au pic (21 UT) est légèrement plus importante qu'en surface (16 UT).

Aux stations PLA02, PLA03 et PLA09, la richesse spécifique du phytoplancton et la structure des communautés en surface et au pic sont proches avec une part importante des Diatomées *Chaetoceros spp, Dactyliosolen spp* et *Leptocylindrus danicus*.

À la station **PLA04 et PLA07**, la structure de communautés est plutôt **semblable**, la différence entre les deux profondeurs de prélèvement résidant dans **l'absence des Diatomées *Dactyliosolen spp* au pic** alors que c'est une UT qui représente une part importante de l'abondance en surface (32% à la station PLA04 et 46% à la station PLA07). La communauté phytoplanctonique du **pic à la station PLA07** est aussi différente de la **surface par une part importante des Dinoflagellés *Oxytoxum - Corythodinium***.

À la station **PLA05**, la structure de communautés est **similaire** mais l'abondance relative des UT n'est pas la même entre la surface, où la Diatomée ***Leptocylindrus danicus* représente 30% de l'abondance** et les Dinoflagellés ***Karenia spp* 2%,** et le pic, où ***Leptocylindrus danicus* représente 19% et *Karenia spp* 30%.**

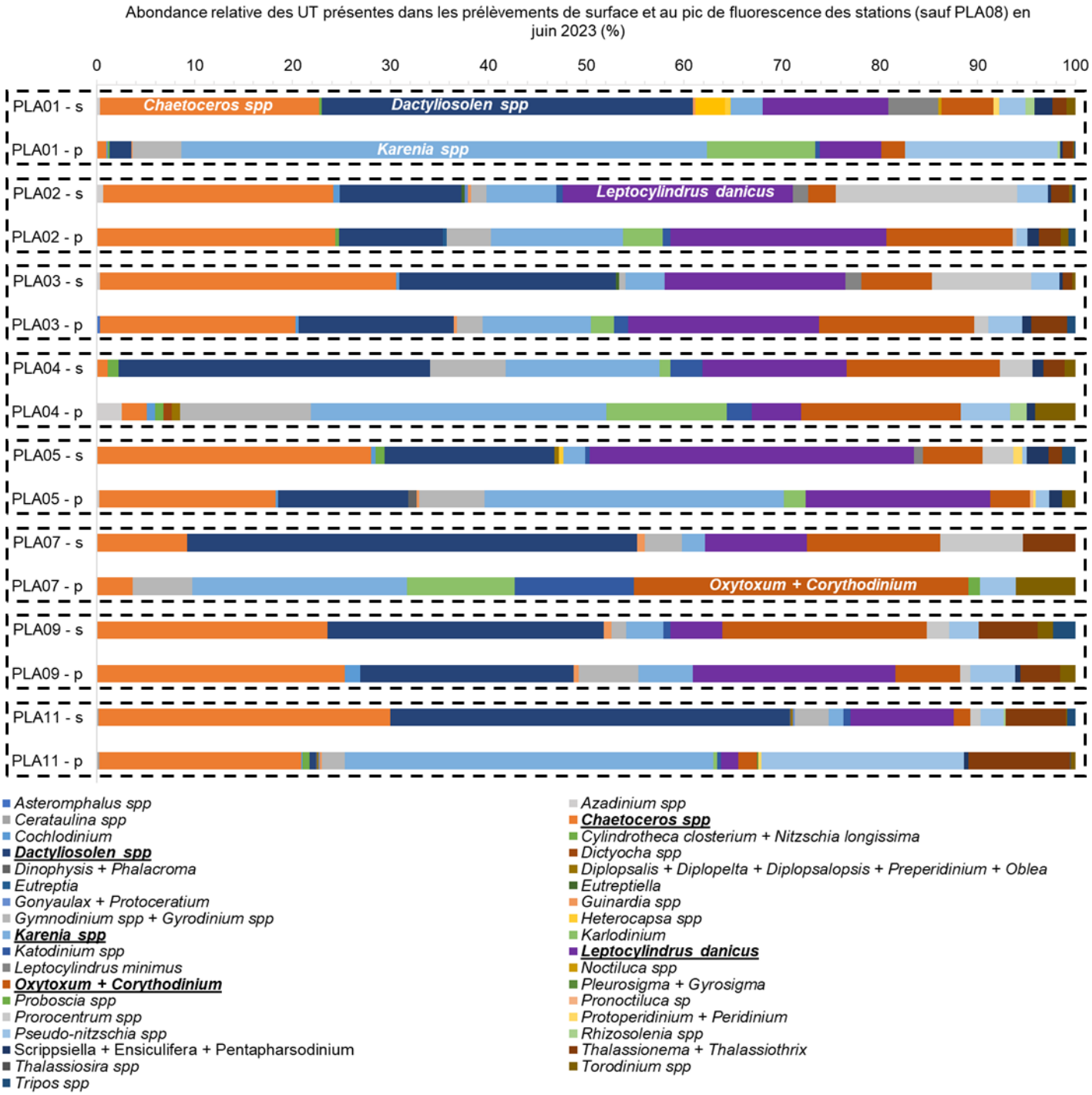


Figure 32 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx – s » et dans les prélèvements au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations (sauf PLA11) de la campagne de juin 2023 (source : setec énergie environnement, 2024)

En **juillet 2023** (cf. Figure 33), des prélèvements au **pic de fluorescence** ont été réalisés aux **stations PLA05, PLA08, PLA09 et PLA11**. Aux stations **PLA05, PLA08 et PLA11**, la richesse spécifique est plutôt proche avec respectivement 23 UT en surface contre 21 au pic, 17 contre 18 et 18 contre 16. Comme le montre la figure ci-dessous, **l'UT la plus dominante n'est pas la même en surface et au pic à ces stations** : la Diatomée ***Leptocylindrus danicus* (61 à 80%) domine les comptages en surface** alors **qu'au pic, les Dinoflagellés *Oxytoxum - Corythodinium*** (51 à 90%) est l'UT la plus importante. À la station **PLA09**, la richesse spécifique est **identique entre la surface et le pic** avec 18 UT collectées (4 UT différentes) et l'UT la plus importante en termes d'abondance relative est la Diatomée ***Leptocylindrus danicus*** pour les deux profondeurs de prélèvements.

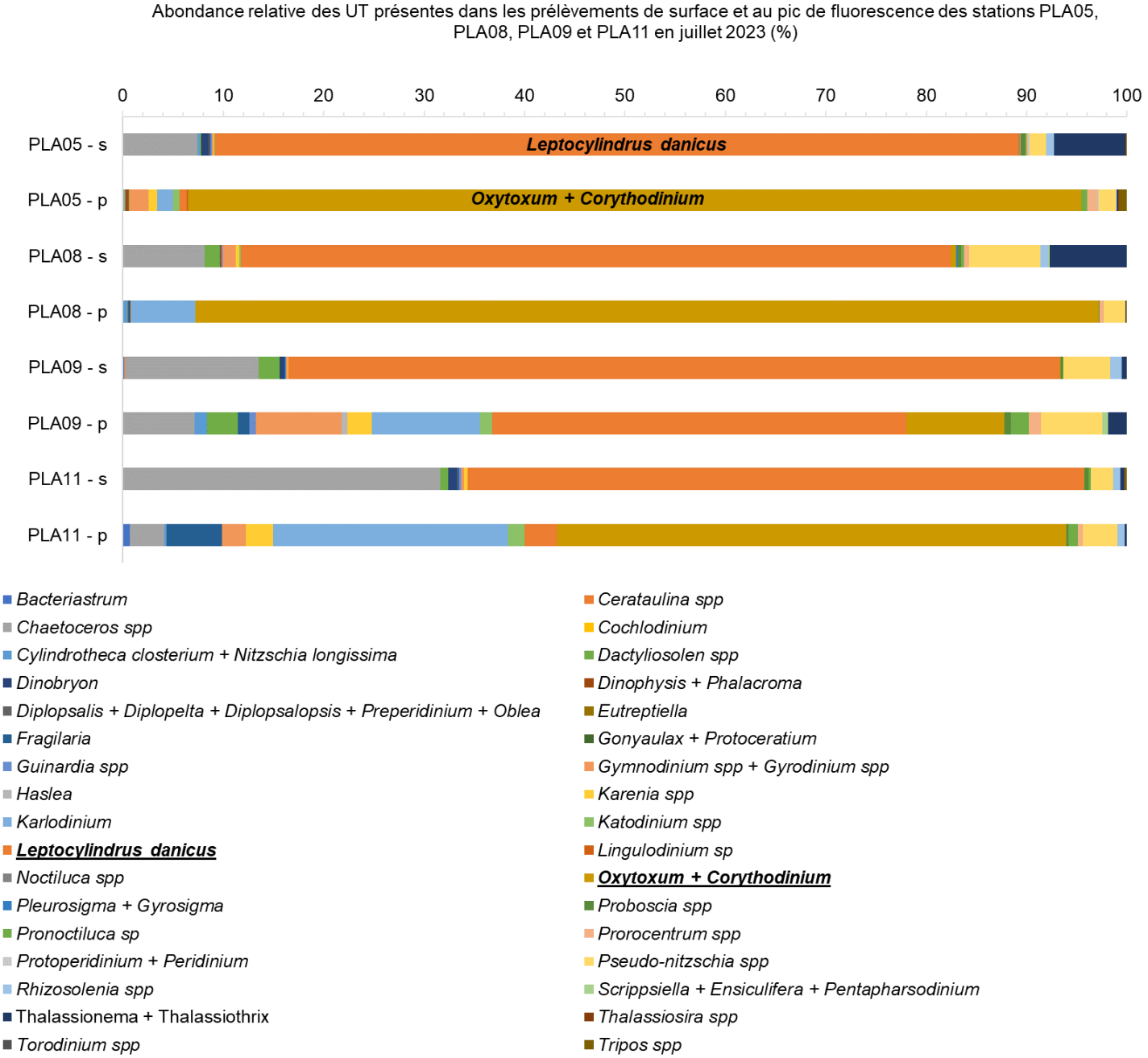


Figure 33 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx- s » et au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations PLA05, PLA08, PLA09 et PLA11 de la campagne de juillet 2023 (source : setec énergie environnement, 2024)

En **août 2023** (cf. Figure 34), les stations qui ont fait l'objet d'un prélèvement supplémentaire présentent des richesses spécifiques avec 2 à 5 UT d'écart entre le prélèvement de surface et celui de fond, sauf à la station PLA05 où le nombre d'UT recensées est identique. D'un point de vue composition (Figure 34), les communautés phytoplanctoniques des prélèvements de surface des stations **PLA02, PLA04, PLA05, PLA07 et PLA08** sont dominées, à des parts plus ou moins semblables, par les Diatomées des UT ***Chaetoceros spp, Cylindrotheca closterium - Nitzschia longissima*, *Leptocylindrus danicus* et *Thalassionema – Thalassiothrix*** (UT regroupant 1 seul taxon). Bien qu'il y ait des nombreuses UT en commun entre les deux profondeurs de prélèvement, ce sont les Dinoflagellés de l'UT ***Prorocentrum spp*** (regroupant 9 taxons) qui constituent la part la plus importance de l'abondance **au pic** de fluorescence à la **station PLA02** (54%), **PLA04** (47%) et **PLA05** (37%). Pour le prélèvement au pic de fluorescence de la station **PLA07**, c'est l'UT des Dinoflagellés ***Oxytoxum - Corythodinium*** qui domine avec une part de 61%. Au pic de fluorescence de la station PLA08, les deux UT citées précédemment constituent la majorité de l'abondance. Les échantillons collectés en **surface** pour les stations **les plus proches des côtes, PLA09 et PLA11**, comprennent une part très importante de la Diatomée ***Leptocylindrus danicus***, respectivement 86 et 80%. Concernant les prélèvements au pic de ces stations, la communauté phytoplanctonique se compose d'un assemblage de diverses UT, dont notamment *Leptocylindrus danicus, Oxytoxum - Corythodinium* & *Prorocentrum spp*. Le prélèvement supplémentaire réalisé à la station PLA11 a permis de collecter un nouveau taxon jamais collecté jusqu'à alors depuis le début du suivi : le genre de Dinoflagellés ***Tayakama*** (abondance relative de 0.005% / en rouge dans la légende de la Figure 34).

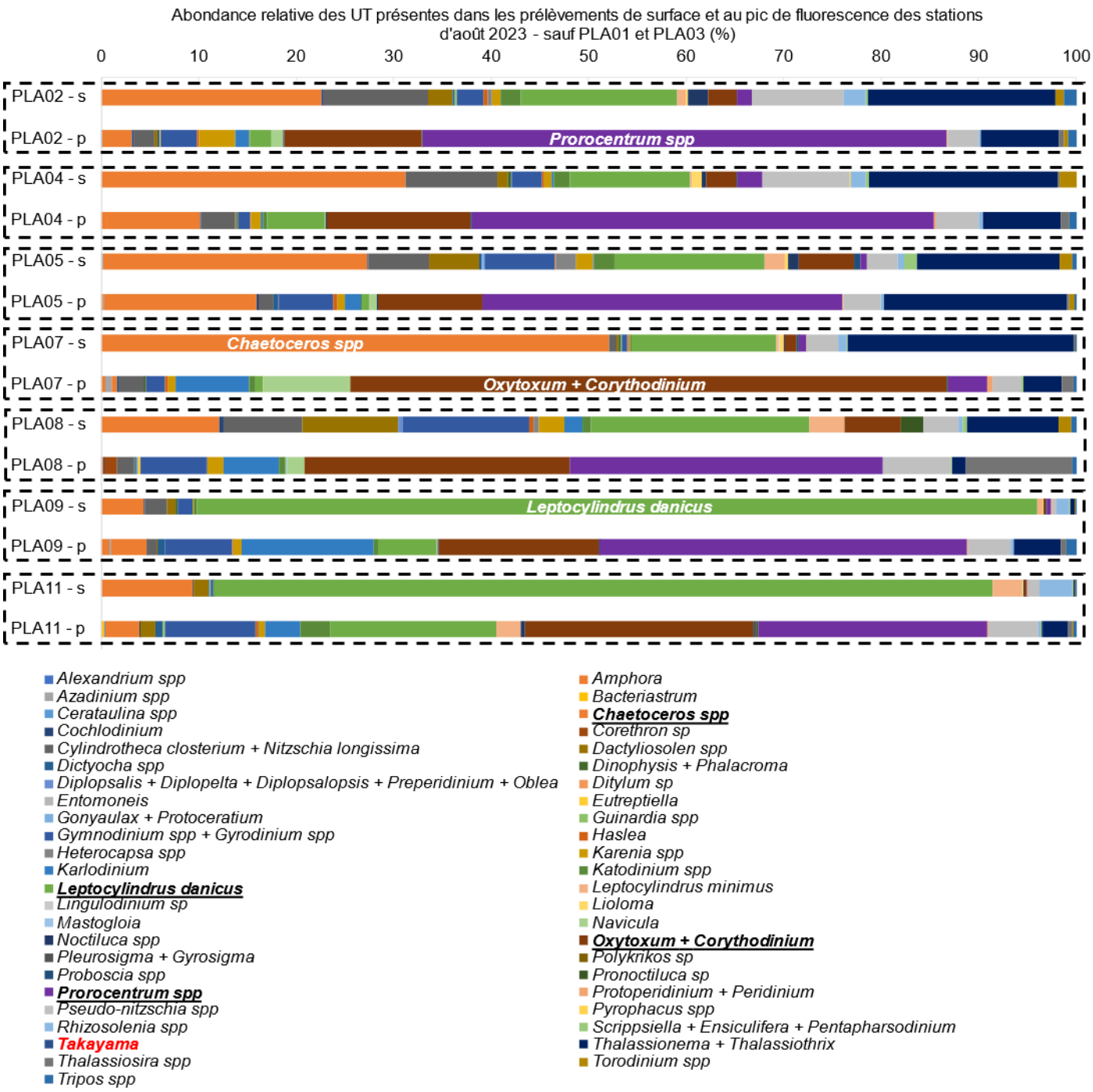


Figure 34 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx- s » et au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations (sauf PLA01 et PLA03) de la campagne d'août 2023 (source : setec énergie environnement, 2024)

En **septembre 2023** (cf. Figure 35), un **pic de fluorescence est enregistré à chaque station**. Dans les prélèvements de **surface** des stations **PLA01 à PLA08**, les Diatomées de l'UT ***Chaetoceros spp*** sont dominantes, suivie par les Diatomées ***Leptocylindrus danicus*** ou ***Fragilaria*** (1 seul taxon). Au **pic** de fluorescence des stations **PLA01, PLA02, PLA05, PLA07 et PLA08,** la communauté phytoplanctonique (Figure 35) se compose d'un **assemblage de différentes UT** en plus ou moins proportions égales : les Diatomées ***Corethron sp*** (1 seul taxon)***, Cylindrotheca closterium - Nitzschia longissima, Fragilaria, Thalassiosira spp, Pseudo-nitzschia spp*** & les Dinoflagellés ***Oxytoxum - Corythodinium*** (jusqu'à 42% de l'abondance à la station PLA08). **Au pic** des stations **PLA03 et PLA04,** les Diatomées ***Pseudo-nitzschia spp*** constitue une part importante voire majoritaire de l'abondance phytoplanctonique. Pour les **stations les plus proches des côtes**, PLA09 et PLA11, les Diatomées ***Chaetoceros spp, Leptocylindrus danicus*** & ***Pseudo-nitzschia spp*** sont les UT dominantes dans les prélèvements de surface et au pic, on retrouve *Pseudo-nitzschia spp* mais surtout une part importante de *Fragilaria*. Comme en août 2023, le prélèvement supplémentaire réalisé à la station PLA11 a permis de collecter un nouveau taxon jamais collecté jusqu'à alors depuis le début du suivi : l'espèce d'Heterokontophytes ***Distephanopsis staurodon*** (abondance relative de 0.95% / en rouge dans la légende de la Figure 35).

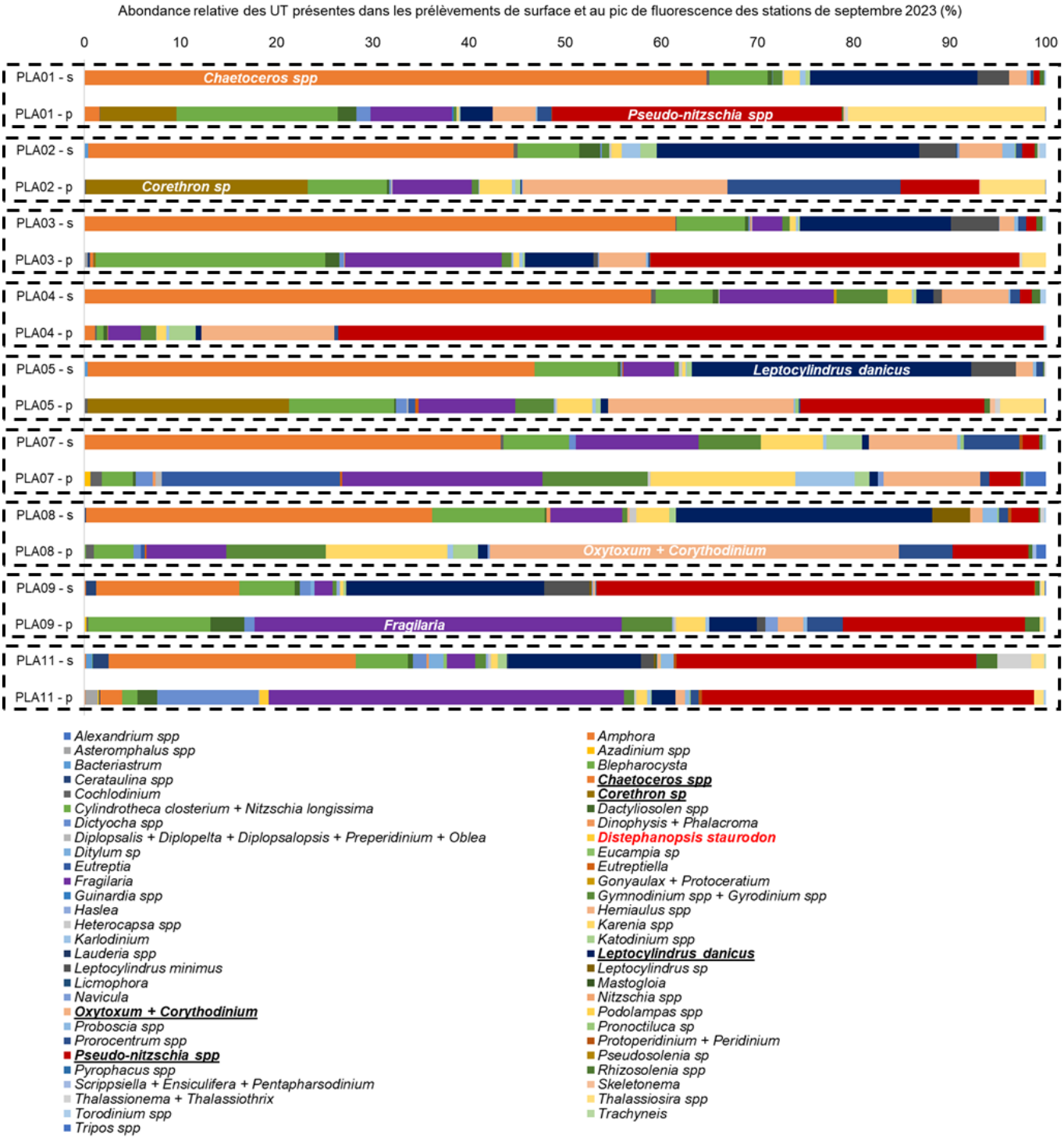


Figure 35 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx- s » et au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations de la campagne de septembre 2023 (source : setec énergie environnement, 2024)

En **décembre 2023** (cf. Figure 36), seuls deux pics sont enregistrés : à la **station la plus au large PLA08** et celle **la plus proche de Belle-Île PLA09**. Le nombre d'UT collectées est similaire entre les prélèvements de surface et ceux au pic. De plus, la **communauté phytoplanctonique est quasi identique** entre la surface et le pic avec une part importante de l'UT de la Diatomée ***Cylindrotheca closterium - Nitzschia longissima*** et d'autres UT en proportion plus faible comme l'Heterokontophyte *Dictyocha spp,* les Diatomées *Ditylum sp* (2 taxons) ou encore *Thalassiosira spp* (cf. Figure 36).

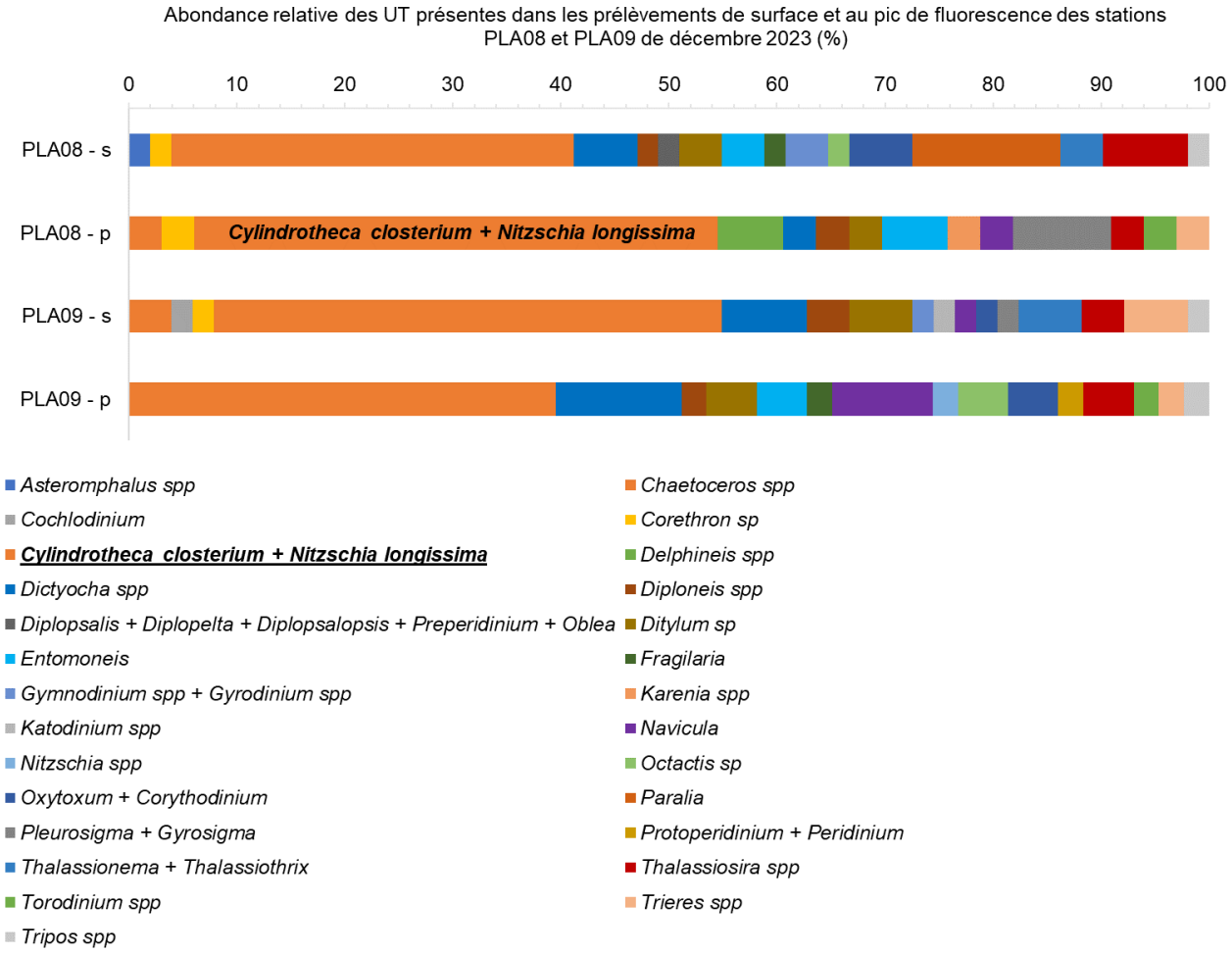


Figure 36 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx- s » et au pic de fluorescence « PLAxx – p » des stations PLA08 et PLA09 de la campagne de décembre 2023 (source : setec énergie environnement, 2024)

De la même manière, en **février 2024** (cf. Figure 37), la structure de communauté du prélèvement de surface et au pic de fluorescence de la station **PLA03**, seule station où un pic est enregistré, est **très semblable** (Figure 37) **avec une dominance du même taxon de Diatomées qu'en décembre *Cylindrotheca closterium - Nitzschia longissima***. Au pic, la richesse spécifique est légèrement plus importante et l'abondance totale est également plus forte qu'en surface (9 800 contre 8 300 cellules/l).

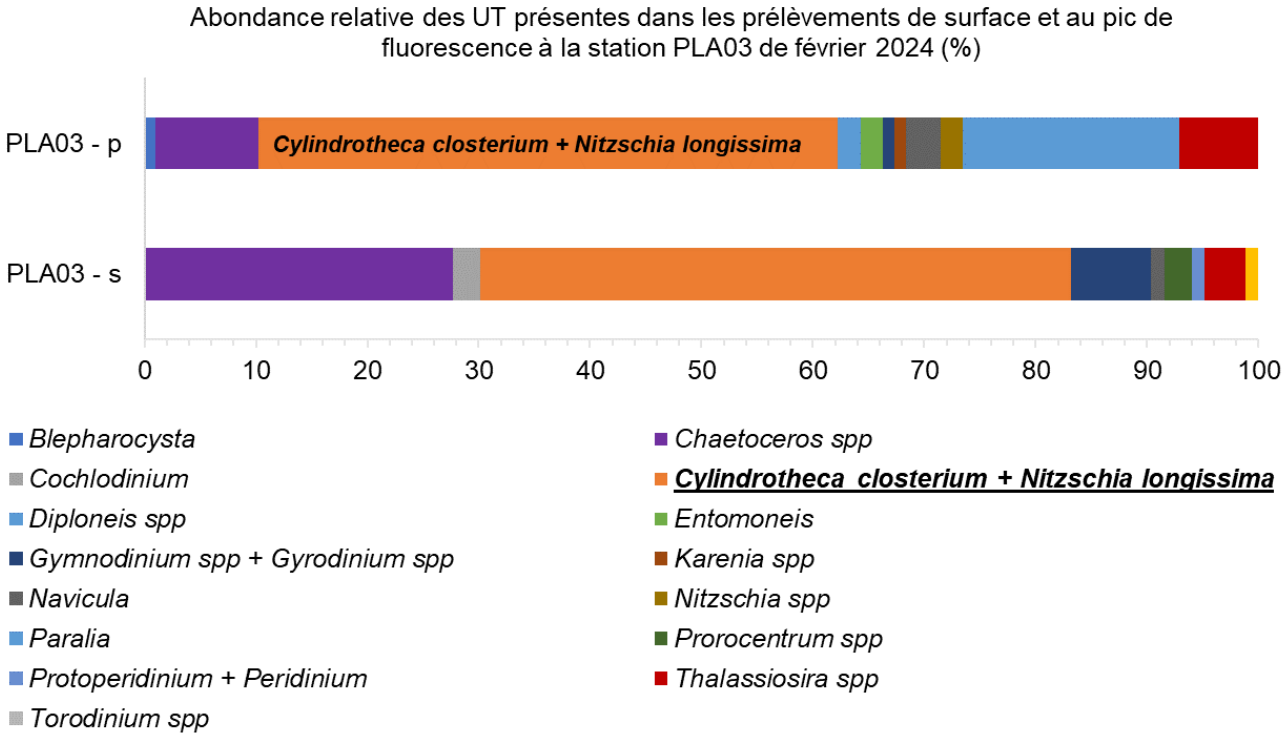


Figure 37 : Abondance relative en % des UT présentes à la station PLA03 en février 2024 dans le prélèvement de surface « PLA03 - s » et au pic de fluorescence « PLA03 - p » (source : setec énergie environnement, 2024)

Enfin en **mars 2024**, comme le montre la Figure 38, pour les stations où un pic de fluorescence a été enregistré, **les prélèvements en surface et au pic se composent d'une structure de communauté phytoplanctonique similaire** avec une abondance majoritaire des Diatomées ***Chaetoceros spp* et/ou de *Thalassiosira spp*** et d'une plus faible abondance d'autres UT comme les Dinoflagellés *Gymnodinium spp - Gyrodinium spp* et de la Diatomée ***Skeletonema*** (1 seul taxon).

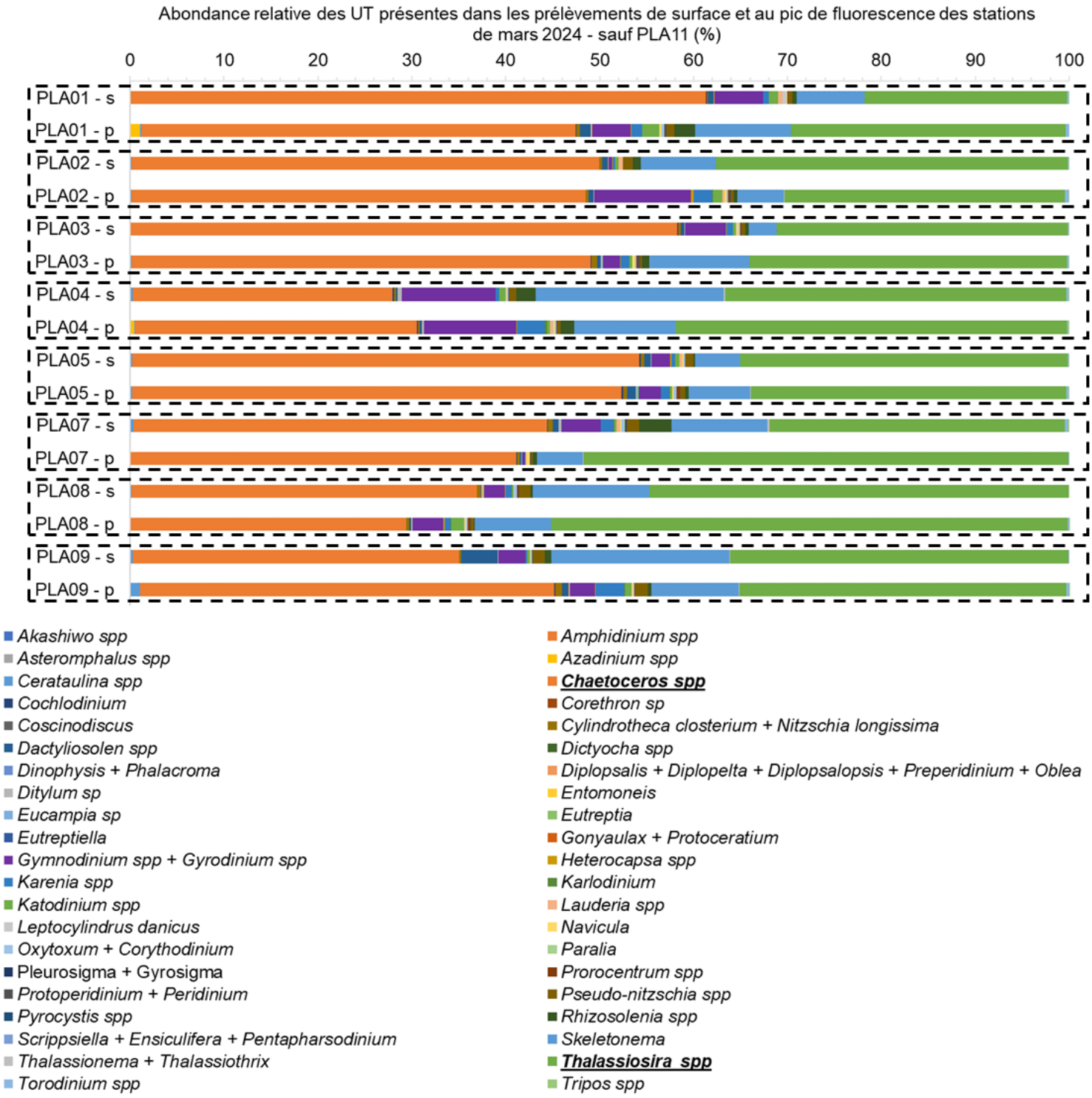


Figure 38 : Abondance relative en % des UT présentes dans les prélèvements de surface « PLAxx - s » et au pic de fluorescence « PLAxx - p » des stations (sauf PLA11) de la campagne de mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

Comme évoqué précédemment, la mesure de la fluorescence est utilisée comme proxy de la biomasse phytoplanctonique. Ainsi, un des résultats attendus est que l'abondance au pic de fluorescence soit plus importante dans le prélèvement au pic que l'abondance dans le prélèvement de surface, zone avec une plus faible fluorescence. Cela a été observé à plusieurs stations des campagnes de juin, août et septembre 2023, à la station PLA08 en juillet 2023, à la station PLA09 en décembre 2023 et à la station PLA03 en mars 2024. Cependant, ce résultat n'est pas observé pour toutes les autres stations, pour lesquelles l'abondance des prélèvements de surface est supérieure à celle des prélèvements au pic. D'un point de vue composition, la communauté de surface **ne reflète pas forcément toute la communauté phytoplanctonique de la colonne.** En effet, les communautés ont été fortement similaires aux deux profondeurs à la station PLA011 en mai, en décembre 2023, en février et mars 2024 ainsi qu'à certaines stations de juin 2023 et à la station PLA09 en juillet 2023 et septembre 2023, avec les mêmes UT retrouvées et des proportions proches. À l'inverse, les communautés ont été différentes la plupart du temps en juin à septembre 2023. Enfin, à l'une des stations les plus côtières, PLA11, le prélèvement au pic de fluorescence a permis de collecter de nouveaux taxons : le Dinoflagellé *Takayama* et l'Heterokontophyte *Distephanopsis staurodon.*

3.2.5 Focus sur les espèces nuisibles voire toxiques

Les réseaux REPHY et REPHYTOX portent une attention particulière aux espèces phytoplanctoniques produisant des toxines pouvant être nuisibles. Un seuil d'alerte est notamment défini pour trois genres phytoplanctoniques : les Dinoflagellés, ***Dinophysis*** et ***Alexandrium***, ainsi que la Diatomée ***Pseudo-nitzschia*.** Ces trois genres sont respectivement producteurs de toxines paralysantes (PSP), de toxines diarrhéiques (DSP) et de toxines amnésiantes (ASP), qui peuvent s'accumuler chez les prédateurs filtreurs supérieurs.

Genres cibles	***Dinophysis*** Producteurs de toxines lipophiles (incluant les toxines diarrhéiques DSP)	***Alexandrium*** Producteurs de toxines paralysantes (PSP)	***Pseudo-nitzschia*** Producteurs de toxines amnésiantes (ASP)
Seuils d'alerte	**Dès présence**	• *Alexandrium catenella / tamarense* : **5 000 cellules par litre** • Autres *Alexandrium* : **10 000 cellules par litre**	• Groupe des fines : **300 000 cellules par litre** • Groupe des larges : **100 000 cellules par litre**

Comme cela est visible sur la Figure 39 en page suivante, le Dinoflagellé *Dinophysis* est recensé à plusieurs reprises entre avril 2022 et novembre 2023, principalement sous l'espèce ***Dinophysis acuminata*** ainsi que ***D. caudata***, ***D. infudibulum*** et ***D. tripos***. Cette dernière a été collecté une fois en avril 2022, septembre 2022 et juin 2023 ainsi qu'à plusieurs stations en octobre & novembre 2022 et de juillet à septembre 2023. Elle est la plus abondante à la campagne d'octobre 2022 avec un total de 880 cellules/l. *Dinophysis caudata* et *D. infundibulum* n'ont été collectés qu'une fois, respectivement à la station PLA02 en novembre 2023 et PLA11 en septembre 2023. *D. tripos* est présente à 3 reprises : à la station PLA09 en novembre 2022, PLA01 en décembre 2022 & PLA04 en août 2023.

Dans les prélèvements à la profondeur de pic de fluorescence, *Dinophysis* apparaît également de juin à septembre 2023 et une fois en mars 2024 sous l'espèce *D. acuminata* ainsi que sous l'espèce ***D. acuta*** à la station PLA04 en août 2023, première fois que cette espèce est recensée.

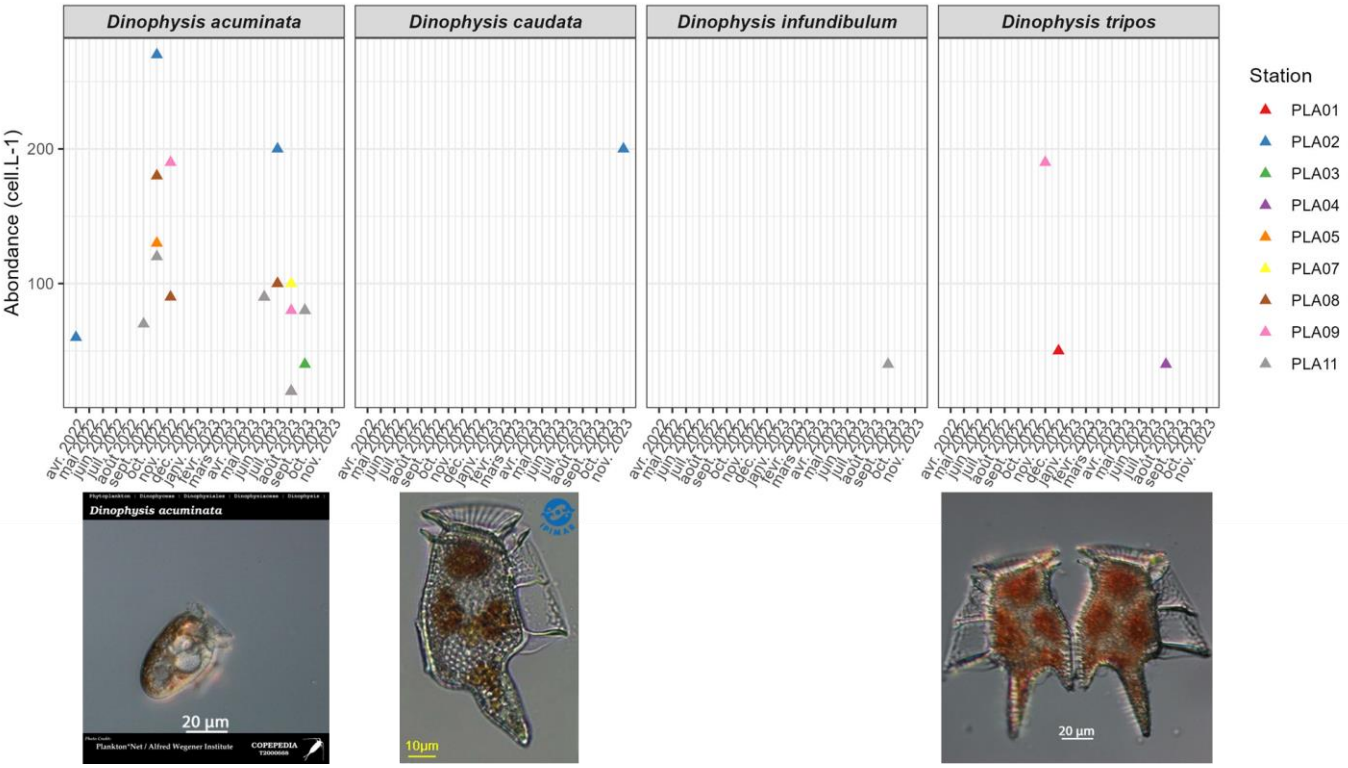


Figure 39 : Abondance en nombre de cellules/l des espèces de Dinophysis collectées en surface dans la zone d'étude entre avril 2022 et novembre 2023, chaque point correspond à une station (source de la figure : setec énergie environnement, 2024 et des photos : COPEPEDIA et PlanktonNET)

Comme le montre la Figure 40, le Dinoflagellé du genre ***Alexandrium*** n'a été recensé en surface qu'à quatre reprises : à la station PLA05 en octobre 2022 (130 cellules/l) et PLA09 en février 2023 (80) ainsi que sous la forme ***Alexandrium minutum*** à la station PLA01 en mai 2023 (80) et PLA03 en septembre 2023 (20).

20 cellules/l d'*Alexandrium* ont été également collectées dans le prélèvement au pic de la station PLA02 en août 2023.

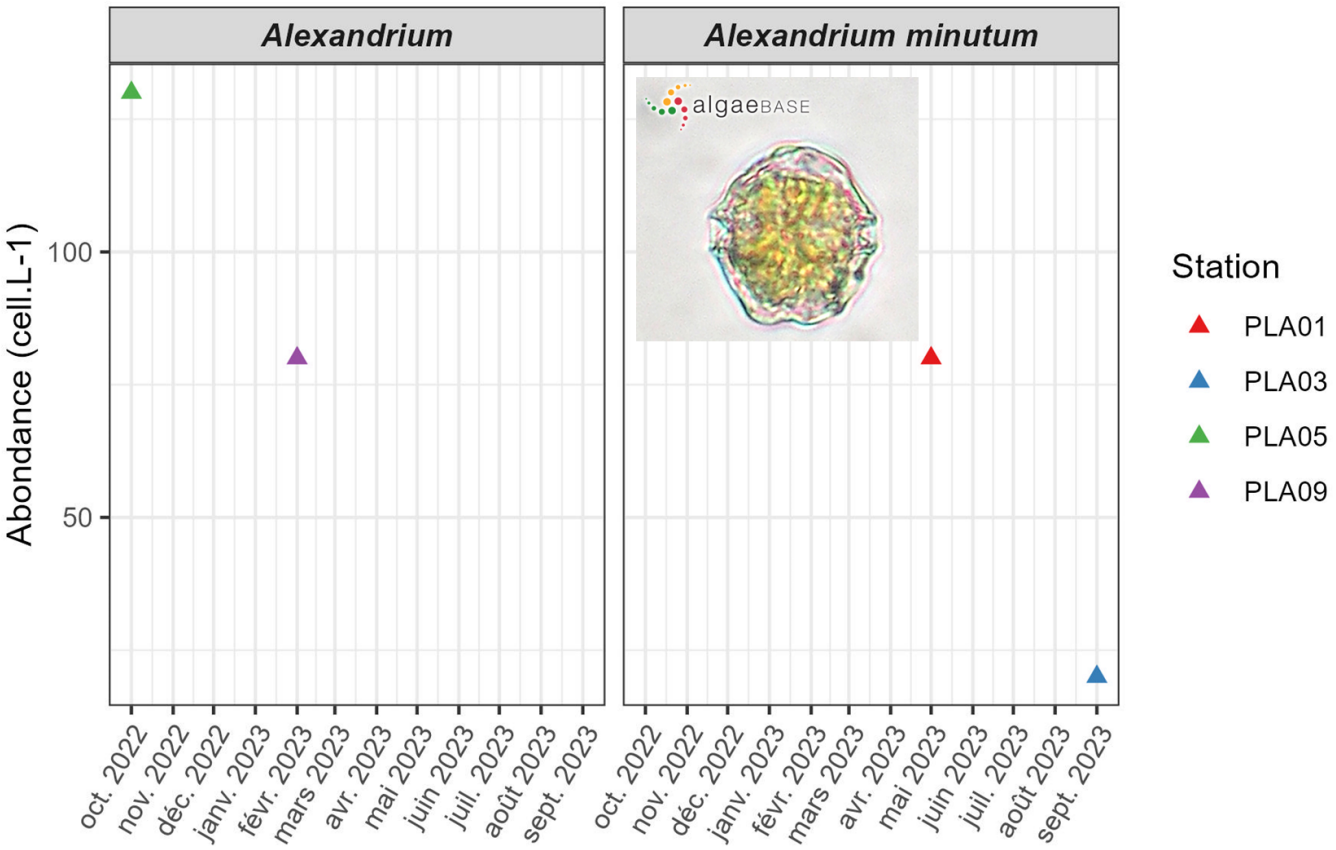


Figure 40 : Abondance en nombre de cellules/l d'Alexandrium collectée dans la zone d'étude entre octobre 2022 et septembre 2023, chaque point correspond à une station (source de la figure : setec énergie environnement, 2024 et de la photo : algaebase)

Concernant *Pseudo-nitzschia*, Belin *et al.*, 2013 précisent que, dans le cadre du REPHY, d'autres complexes d'espèces, **complexe *americana*** et **complexe des sigmoïdes**, sont parfois séparés des complexes ***seriata*** et ***delicatissima***. Le même seuil d'alerte que le groupe des larges est fixé pour les complexes *americana* et des sigmoïdes, c'est-à-dire 100 000 cellules/l.

Ce genre *Pseudo-nitzschia* apparaît régulièrement dans les comptages cellulaires de surface (mais aussi dans les prélèvements réalisés au pic de fluorescence), comme le montre la figure ci-dessous :

- Au sein du complexe *delicatissima* – groupe des fines :

Ce groupe est plus ou moins présent en abondance entre avril 2022 et mars 2024. Indépendamment des années, il est en faible abondance au printemps et à l'hiver. Ce complexe est particulièrement abondant en novembre 2022 et 2023 ainsi qu'en mars 2024. Malgré les fortes abondances, le seuil d'alerte des 300 000 cellules/l n'est jamais atteint.

- Au sein du complexe *seriata* - groupe des larges :

Ce groupe est présent toute l'année, avec des abondances plutôt modérées à l'exception de la campagne de novembre 2022 où l'abondance totale culmine à 252 480 cellules par litre. Si on prend l'abondance par station, le seuil d'alerte des 100 000 cellules par litre n'est jamais dépassé.

- Au sein du complexe *seriata* – groupe des effilées :

Pseudo-nitzschia complexe *seriata* – groupe des effilées n'est collecté que de juillet 2022 à mars 2023, l'abondance la plus forte étant recensée également en novembre 2022.

- Au sein du complexe americana :

Les individus appartenant à ce groupe n'ont été recensés que quelques fois : de novembre à décembre 2022 & 2023, en septembre 2023 et en mars 2024.

- Au sein du groupe des sigmoïdes :

Comme *Pseudo-nitzschia* complexe *delicatissima* – groupe des fines, les individus du groupe des sigmoïdes ont été collectés en plus ou moins grande abondance à chaque campagne entre avril 2022 et mars 2024 et c'est en novembre 2022 là encore que leur abondance est la plus forte : 434 700 cellules/l. Le seuil d'alerte des 100 000 cellules/l est dépassé à la station PLA02 avec une abondance de 128 600 cellules/l. Le groupe est aussi abondant en juillet 2023 mais dans des proportions beaucoup moins importantes.

Enfin, la Diatomée ***Pseudo-nitzschia galaxiae*** a été recensée en octobre et en novembre 2022 & septembre 2023 dans la zone d'étude. C'est une espèce exotique aux eaux européennes, produisant de l'acide domoïque (toxiques ASP) comme c'est également le cas pour les autres espèces et complexes du genre (Ardura et al., 2020).

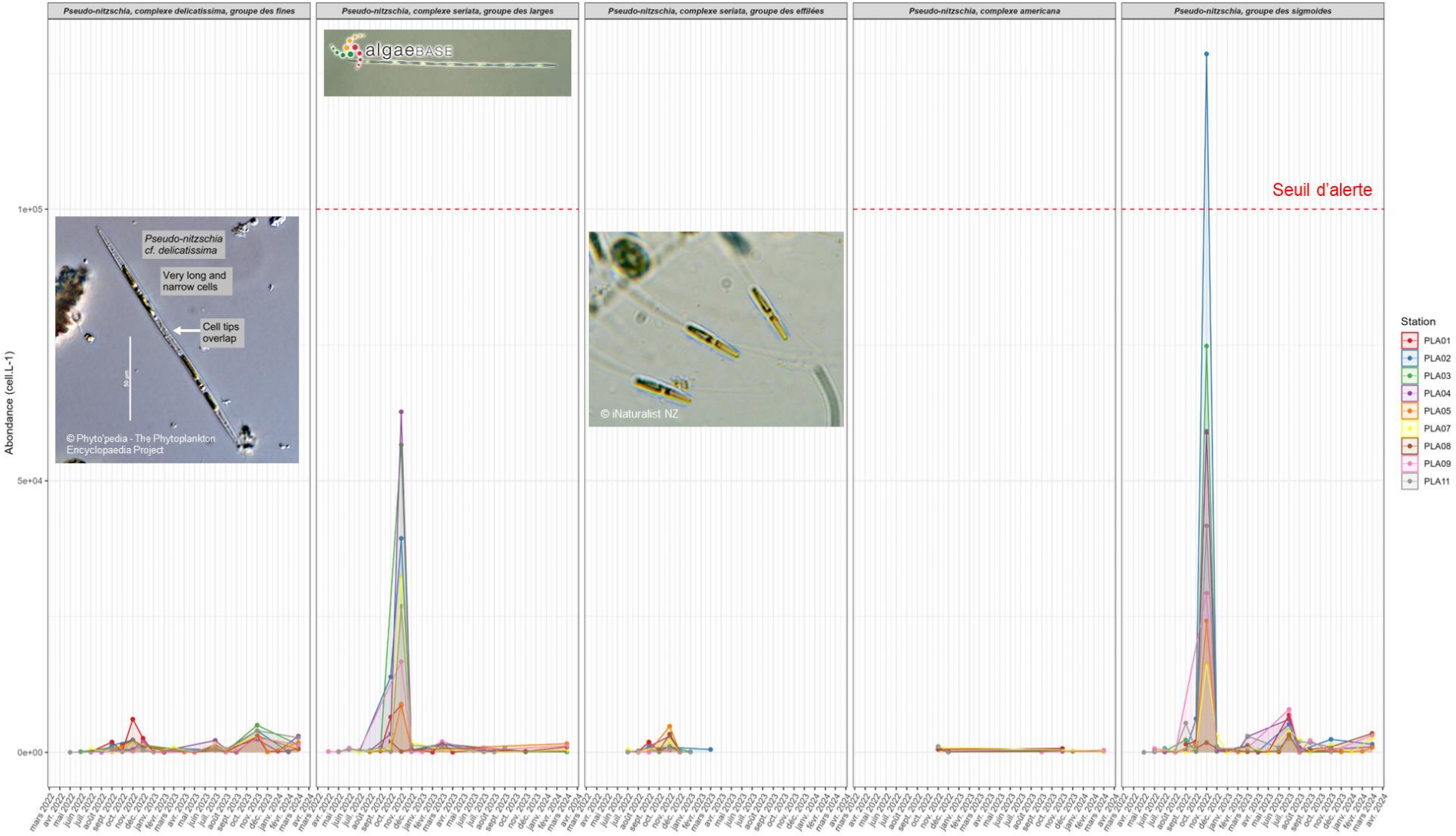


Figure 41 : Abondance en nombre de cellules/l des espèces de Pseudo-nitzschia collectées dans la zone d'étude entre avril 2022 et mars 2024, les points correspondent aux stations (source de la figure : setec énergie environnement, 2024 et des photos : Phyto'pedia, algaebase et iNaturalist NZ)

Enfin, Belin et al., 2021; Neaud-Masson, 2020 présentent d'autres espèces phytoplanctoniques considérées comme nuisibles ou toxiques mais qui ne font pas l'objet d'un seuil d'alerte défini, principalement des Dinoflagellés. Ces espèces et leur occurrence dans la zone d'étude immédiate et rapprochée pendant la période avril 2022 – mars 2024 sont présentées ci-après dans la Figure 42.

- Autre phytoplancton qui produit des toxines paralysantes (PSP), comme *Alexandrium* :

Heterocapsa triquetra, produisant des neurotoxines, a été collecté en septembre 2022, septembre 2023 dans le prélèvement du pic de la station PLA03, en février 2024 et mars 2024 (à la fois en surface et au pic de fluoresence à la staion PLA08).

- Autre phytoplancton qui produit des toxines diarrhéiques (DSP) comme *Dinophysis* :

Comme le précisent les auteurs ci-dessus, les Dinoflagellés *Azadinium poporum* et *A. spinosum* sont des espèces capables de produire des toxines diarrhéiques. Parmi les échantillonnages réalisées, *A. spinosum* est présent uniquement à la station PLA05 en mai 2023 (80 cellules/l). *A. poporum* n'a pas été collecté mais des individus, présents de manière sporadique de septembre à novembre 2022 ainsi que d'avril à septembre 2023 (sauf juillet 2023), ont été collectés et identifiés seulement au niveau du genre « *Azadinium* ».

Prorocentrum cordatum & *Protoperidinium crassipes* produisent également des DSP et ont été relevé dans les échantillons entre avril 2022 et mars 2024 (particulièrement abondant en juin 2023) pour la première espèce et en avril et mai 2022 pour la seconde.

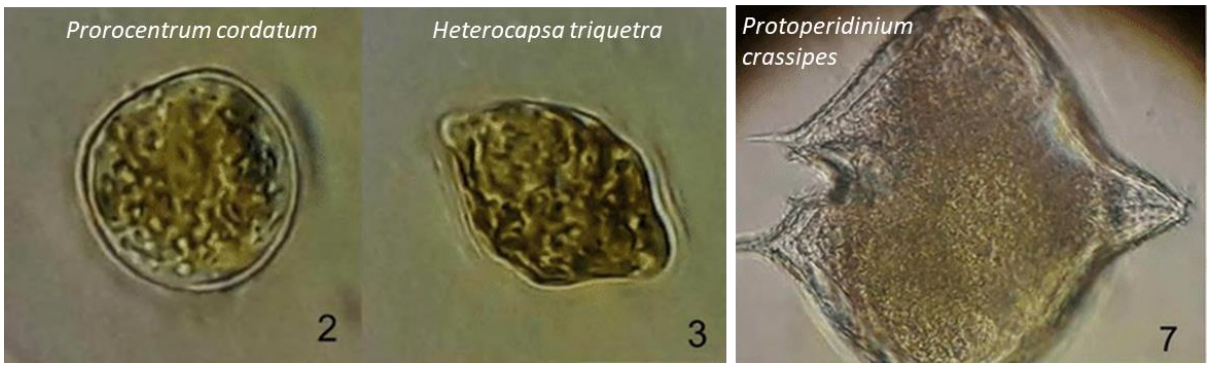


Photo 11 : Prorocentrum cordatum, Heterocapsa triquetra & Protoperidinium crassipes (source : adapté de Terenko et al., 2018)

- Phytoplancton produisant des ichtyotoxines :

Cochlodinium, Gyrodinium, Gymnodinium et *Eutreptiella* sont des genres phytoplantoniques pouvant produire des toxines nocives à l'ichtyofaune.

Des Dinoflagellés du genre *Cochlodinium* ont été recensés entre septembre 2022 et mars 2024. Des Dinoflagellés des genres *Gymnodinium* & *Gyrodinium*, de l'espèce *Gyrodinium fusus* et de *Gyrodinium spirale* ont été collectés plus ou moins régulièrement sur la période d'étude. Des Euglénophytes du genre *Eutreptiella* n'ont été collectés que quelques fois au printemps 2022 et 2023 ainsi qu'à une station en septembre 2023 et mars 2024.

Karenia mikimotoi, *K. papilionacea* espèces présentes également régulièrement pendant la période de suivi sont également des espèces ichtyotoxiques, ainsi que *Lingulodinium polyedra*, recensée seulement à 4 reprises (mai 2022, juillet, août et décembre 2023).

Trois autres espèces, *Karlodinium corsicum*, *gentienii* et *veneficum*, dont l'apparition est récente en France, sont des espèces ichtyotoxiques. Les échantillonnages n'ont pas permis de collecter ces espèces spécifiquement mais des individus appartenant au genre « *Karlodinium* » ont été recensés à plusieurs reprises entre avril 2022 et mars 2024.

La Diatomée *Chaetoceros peruvianus,* les Heterokontophytes *Dictyocha fibula* & *Dictyocha speculum*, présents à plusieurs reprises sont également des espèces qui peuvent nuire à l'ichtyofaune en raison du

mucus qu'elles libérent lors de grandes proliférations. *Chaetoceros peruvianus* peut aussi s'avérer nuisible pour le benthos, provoquer de l'anoxie ou encore nuire aux activités humaines en colmatant les filets de pêche.

- <u>Phytoplancton constituant un danger potentiel :</u>

Les Dinoflagellés *Gonyaulax spinifera* et *Phalacroma rotundatum* ont été collectés à plusieurs reprises et peuvent représenser un danger pour la faune.

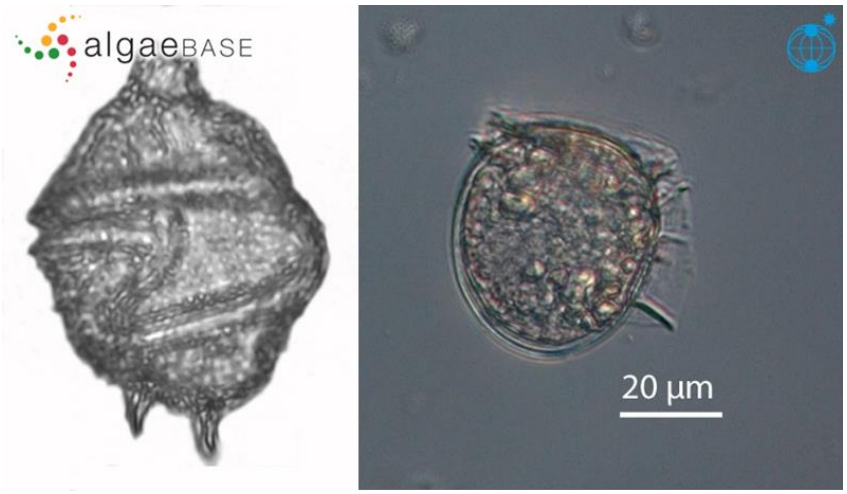


Photo 12 : Gonyaulax spinifera (source : algaebase) & Phalacroma rotundatum (source : PlanktonNET)

Figure 42 : Abondance en nombre de cellules/l des autres espèces et genres phytoplanctoniques nuisibles voire toxiques collectés dans la zone d'étude entre avril 2022 et mars 2024, les points correspondent aux stations (source de la figure : setec énergie environnement, 2024)

3.3 COMMUNAUTE ZOOPLANCTONIQUE

3.3.1 Comparaison entre la méthodologie Zooscan et la microscopie sur les stations PLA07 et PLA03

L'intégralité des échantillons prélevés lors des deux années d'acquisition de données entre avril 2022 et mars 2024 a été identifiée avec la technique du Zooscan. Deux stations, la station PLA07 et PLA03, ont fait également l'objet d'une identification par microscope par un expert taxonomique. Le Tableau 8 ci-dessous présente la comparaison des deux méthodes concernant le nombre de taxons identifiés par niveau taxonomique. Il est évident que l'identification par microscopie permet de détecter plus de taxons (130 au total contre 101) et à un niveau taxonomique plus bas. L'identification au microscope permet d'identifier plus d'individus au niveau de l'espèce et du genre que l'identification par Zooscan.

Tableau 8 : Comparaison (nombre de taxons identifiés par niveau taxonomique) de l'identification par Zooscan VS identification par microscope des échantillons des stations des campagnes d'avril 2022 à mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

Niveau taxonomique	Nombre de taxons identifié par le Zooscan	Nombre de taxons identifié par expert taxonomique au microscope
Espèce	20	45
Genre	17	38
Famille	28	15
Infra-ordre	6	3
Sous-ordre	3	2
Ordre	10	10
Sous-classe	2	1
Classe	10	11
Super-classe	0	1
Sous-embranchement	1	0
Embranchement	4	4
Total	**101**	**130**

En effet, le nombre plus élevé de taxons identifiés par un expert au microscope, mais non par le Zooscan (Tableau 9), montre clairement les informations plus détaillées concernant la composition de la communauté pouvant être obtenues par cette méthodologie.

Tableau 9 : Liste des taxons uniques identifiés par chaque méthode (source : setec énergie environnement, 2023).

Taxons uniques identifiés par microscopie		Taxons uniques identifiés par ZooScan	
Acartia clausi	*Isias*	*Achelata*	Mysidae
Actinopterygii	*Isias clavipes*	Aetideidae	*Nanomia bijuga*
Aequorea forskalea	*Limacina*	*Agalma okenii*	Oikopleuridae
Amphinema dinema	*Lopadorrhynchus*	*Agalmatidae*	Ostracoda
Amphogona	*Lucifer*	*Aglaura*	*Pelagia noctiluca*
Annelida	*Luidia*	Anomura	Pleocyemata
Anomalocera patersonii	*Metridia*	Anthozoa	Polychaeta

Aphragmophora	*Metridia lucens*	Astacidea	Prayidae
Beroe cucumis	*Mitrocomella*	Axiidea	Rhizophysa
Branchiostoma	Mysida	*Bassia bassensis*	Salpidae
Calanidae	*Nannocalanus minor*	*Beroe*	*Sepia*
Calliopiidae	*Neoturris pileata*	Branchiostomatidae	Solenoceridae
Calocalanus styliremis	*Obelia*	Cavoliniidae	Stomatopoda
Calocalanus tenuis	*Oikopleura*	Chaetognatha	Thalassinidae
Candacia armata	*Oithona nana*	*Chelophyes appendiculata*	*Thalia democratica*
Centropages hamatus	*Oithona plumifera*	*Chelophyes contorta*	
Centropages typicus	*Oithona similis*	*Cirripedia nauplii*	
Cephalopoda	*Oncaea venusta*	*Clio*	
Clausocalanus	Ophiuroidea	Nauplii de Copepoda	
Clione	Paguridae	Petits Copepoda	
Clytemnestra	Palinuridae	Coronatae	
Clytemnestra gracilis	*Paracalanus parvus*	Corycaeidae	
Clytia	*Paraeuchaeta hebes*	Cumacea	
Ctenocalanus vanus	*Pilidium*	Decapoda	
Diaixis	*Pleuromamma*	Diphyidae	
Diaixis pygmaea	*Pleuromamma gracilis*	Eucalanidae	
Ditrichocorycaeus	*Podon*	*Euterpina*	
Ditrichocorycaeus anglicus	*Polycladida*	*Evadne*	
Engraulidae	Porcellanidae	Fritillariidae	
Epicaridea	*Pseudevadne*	Gammaridae	
Euchirella	*Pseudocalanus elongatus*	Gymnosomata	
Euphausia	Rhabditida	*Halistemma rubrum*	
Euterpina acutifrons	Sapphirina	Holothuriidae	
Eutima gracilis	*Scolecithricella dentata*	*Hyalocylis*	
Evadne nordmanni	Scyllaridae	Laomediidae	
Fritillaria	Scyphozoa	*Lensia conoidea*	
Galatheidae	Siphonophorae	Leptothecata	
Gastropoda	*Sphaeronectes koellikeri*	Leuckartiara	
Gebiidea	*Subeucalanus crassus*	Limacinidae	

Harpacticoida	*Temora longicornis*	Luciferidae	
Holothuroidea	*Temora stylifera*	*Mecynocera clausi*	
Hybocodon	*Themisto*	*Metridinidae*	
Hyperia galba	*Tomopteris*	*Monstrilloida*	
Hyperoche	Vibiliidae	*Muggiaea*	

L'identification par microscope permet ainsi de compléter l'information apportée par le Zooscan. Par exemple, tandis que la méthodologie du Zooscan permet seulement d'identifier les organismes jusqu'au niveau du genre pour *Oithona* sp., l'identification par un expert permet de les identifier jusqu'au niveau de l'espèce et de différencier le stade de vie et le sexe (Figure 43). Cela fournit une meilleure connaissance de la structure de la communauté tout au long de l'année et quelles espèces sont plus abondantes chaque mois. Dans le cas d'*Oithona* sp., il est possible de voir qu'*Oithona similis* est l'espèce la plus abondante pendant la première année de suivi, sauf entre septembre et novembre 2022, où *Oithona nana* est également ou plus abondante que *Oithona similis*. De plus, il est également possible de constater que la plupart des individus d'*Oithona* spp. sont des femelles ou sont au stade de copépodite, tandis que les mâles n'ont été observés que en mai 2022 entre mars et novembre 2023 (sauf en juillet 2023) et en février et mars 2024.

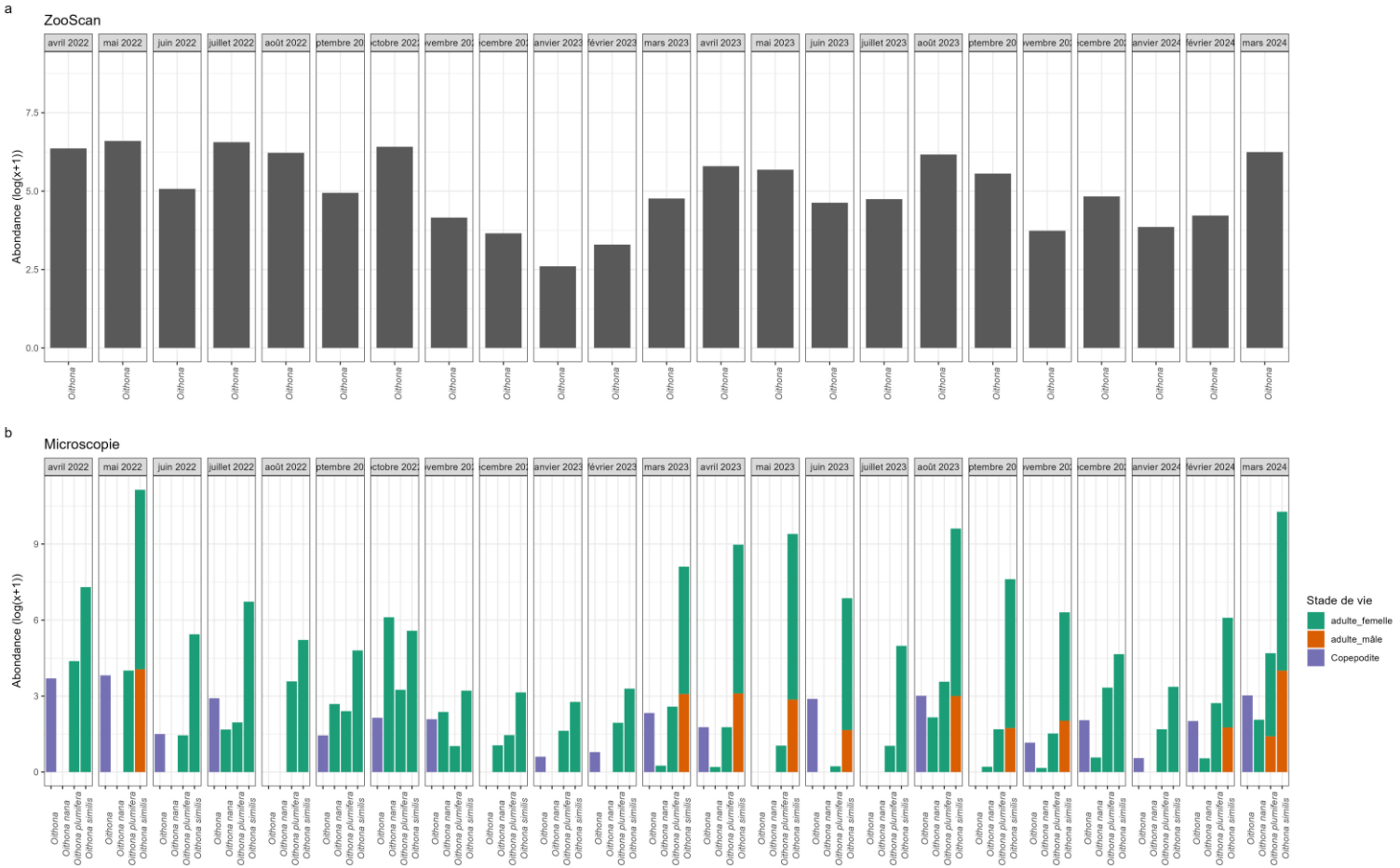


Figure 43 : Exemple de la différence de niveau d'identification pour le genre Oithona entre les deux techniques. a) Abondance moyenne (log(x+1)) des station PLA03 et PLA07 d'Oithona sp. identifiée par ZooScan, b) Abondance (log(x+1)) des station PLA03 et PLA07 d'Oithona spp. identifiée par espèce, stade de vie et sexe par microscopie (source : setec énergie environnement, 2023).

La Figure 44 présente la comparaison de l'abondance totale de chaque échantillon entre les deux techniques sur les deux années d'acquisition de données. De manière générale, les deux techniques se sont révélées fournir des estimations d'abondance comparables, car leur corrélation linéaire positive (pente = 0,67) est significative (F = 110,2, DF = 43, p-value < 0,001, Figure 44). Les points proches de la ligne en pointillés indiquent que les abondances estimées étaient très similaires. Les résultats indiquent que les deux techniques présentent des valeurs similaires à des niveaux d'abondance plus faibles, mais la différence augmente à des niveaux d'abondance plus élevés, avec soit une sous-estimation, soit une surestimation des abondances pour les deux techniques (notamment pour le point correspondant à la station PLA03 en août 2023). Ce biais explique la qualité d'ajustement relativement faible du modèle de régression (R^2 = 72 %) et souligne l'importance d'utiliser la même méthodologie à long terme pour maintenir la cohérence des résultats.

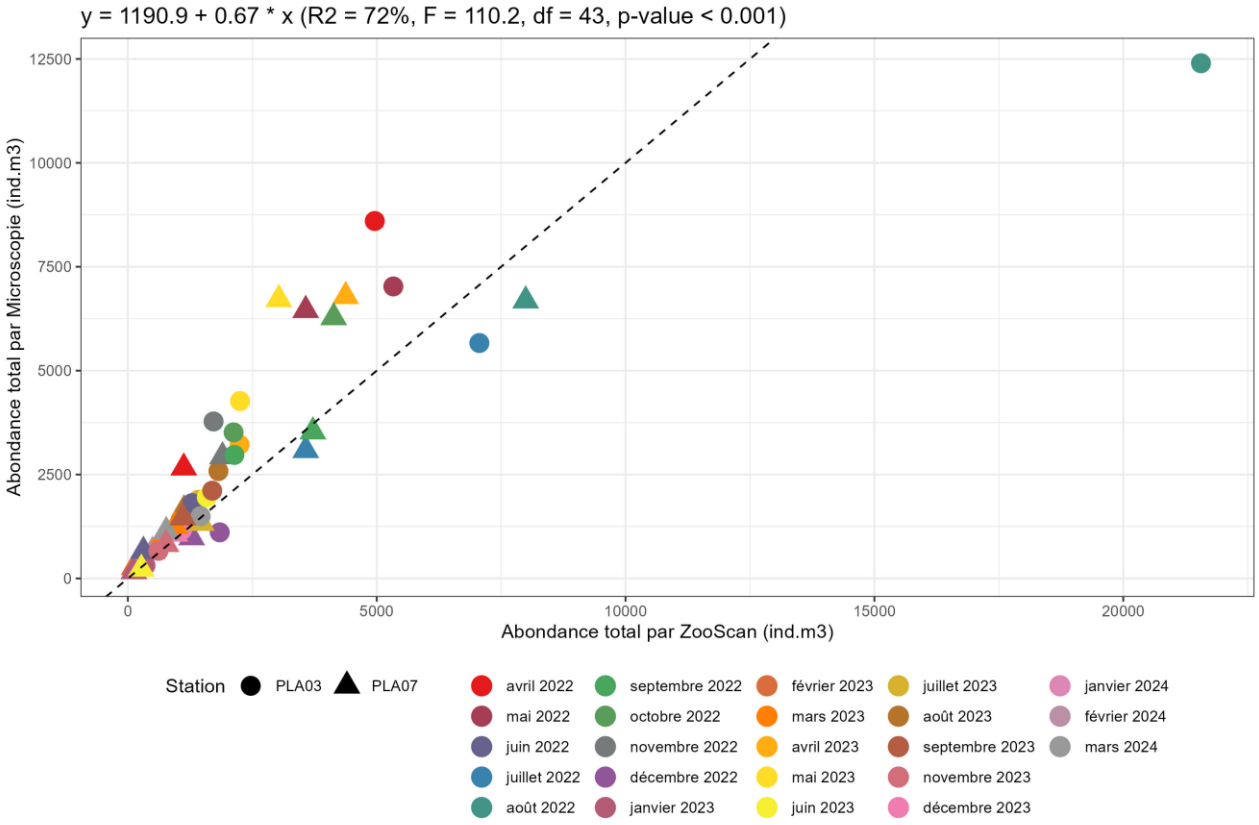


Figure 44: Comparaison de l'abondance totale obtenue par Zooscan et par Microscopie. La ligne en pointillés représente le ratio 1:1. L'équation de régression entre les abondances totales obtenues par les deux techniques est affichée dans le graphique, accompagnée de la valeur du R^2, de la statistique de test (F), des degrés de liberté (DF) et de la signification du test (p-value). (source : setec énergie environnement, 2024).

Les informations plus détaillées obtenus par microscopie présentent plusieurs avantages, tels que :

- La possibilité d'identifier précocement la présence d'espèces invasives.
- Une meilleure évaluation de la biodiversité locale.
- La possibilité d'évaluer l'impact des pressions anthropogéniques sur différentes étapes de la vie des organismes, et par conséquent, sur différentes périodes cruciales de leur cycle de vie (reproduction, croissance, etc.).

- Une évaluation plus précise des changements dans la biodiversité fonctionnelle et la structure fonctionnelle de la communauté. En effet, différentes espèces présentent différentes combinaisons de traits qui peuvent influencer ou être influencées par différents processus écosystémiques.

Cependant, la technique par microscopie est très chronophage et limite l'évaluation des changements dans la structure de la communauté dans le temps et/ou l'espace, car le nombre d'échantillons analysés doit être réduit. Pour cette raison, le suivi spatio-temporel à long terme des changements au sein de la communauté de zooplancton devrait être effectué par ZooScan, car il permet l'analyse d'un plus grand nombre d'échantillons. Cependant, ce suivi peut être complété par des analyses supplémentaires à l'aide de la technique de microscopie, lorsque des informations plus détaillées au niveau des espèces sont nécessaires.

3.3.2 Description de la communauté

3.3.2.1 Abondance totale et abondance relative

Les résultats suivants sont basés uniquement sur **l'identification par ZooScan** pour l'ensemble des échantillons collectés dans toutes les stations et pour chaque mois.

Un total de **101 taxons** différents a été identifié au cours des deux années d'étude, entre avril 2022 et mars 2024. Les taxons ont toutefois été identifiés à différents niveaux taxonomiques, avec 20 taxons identifiés au niveau de l'espèce, 17 au niveau du genre, 28 au niveau de la famille et 36 à un niveau taxonomique supérieur, dont 4 au niveau du phylum (Bryozoa, Chaetognatha, Echinodermata et Phoronida).

Parmi tous les taxons identifiés, **22 étaient très fréquents** (> 75 % de tous les échantillons), tels que les Chaetognathes (« Chaetognatha »), le genre de Copépodes *Oithona sp.*, les Euphausiacés (« Euphausiacea »), la famille de Copépodes des Oncaeidae et l'espèce de Copépodes *Calanus helgolandicus* ; **8 étaient fréquents** (50 % < x < 75 %), **13 peu fréquents** (25 % < x < 50 %), **12 rares** (10 % < x < 25 %) et **46 très rares** (< 10 %).

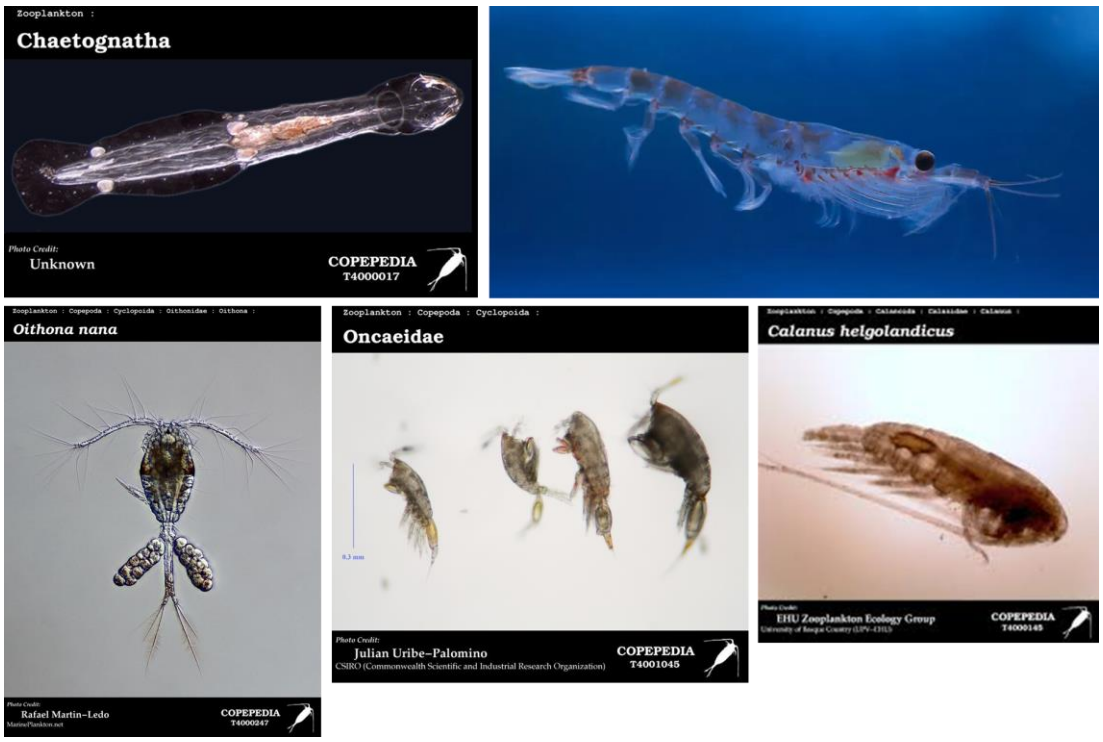


Photo 13 : Illustrations des taxons très fréquents du zooplancton de l'AO5 avec de gauche à droite et de haut en bas Chatognathe, krill, Oithona nana, famille des Oncaeidae et Calanus helgolandicus (source : COPEPEDIA & Muséum national d'Histoire Naturelle)

L'abondance totale du zooplancton a varié au cours du temps dans les deux zones étudiées (immédiate et rapproché). En général, pour les deux années, les résultats montrent deux pics principaux d'abondance, l'un en avril et l'autre en août (Figure 45). L'étude a commencé avec un pic d'abondance en avril 2022 (10 145 ± 3 814 ind./m³ dans la zone immédiate et de 4 145 ± 1 268 ind./m³ dans la zone rapprochée), bien qu'elle ait présenté une forte variabilité entre les stations (évidente par l'erreur type élevée, en particulier dans la zone immédiate). Des valeurs d'abondance faibles ont été enregistrées en juin 2022 dans les deux zones (moyenne < 1200 ind./m³) , suivie par le deuxième pic d'abondance en août 2022, avec des valeurs plus élevées enregistrées dans la zone immédiate que dans la zone rapprochée (9 132 ± 3 141 ind./m³ et 6 058 ± 1 542 ind./m³, respectivement). L'abondance a ensuite diminué pour atteindre des valeurs minimales en janvier et février 2023 (moyenne < 650 ind.m^{-3}). Le troisième pic d'abondance a eu lieu en avril 2023 (6489 ± 1860 ind./m³ et 5854 ± 1100 ind./m³), suivi d'une période de décroissance de l'abondance jusqu'à juillet 2023. Un nouveau pic a été observé en août et septembre 2023, avec des valeurs plus élevées dans la zone immédiate en aout (4259 ± 830 ind./m³) et dans la zone rapprochée en septembre (4103 ± 1467 ind./m³). Pendant la deuxième année de suive des valeurs minimales ont également été observées pendant les mois

les plus froids, en particulier en novembre 2023, en janvier 2024 et dans la zone immédiate en février 2024 (moyenne <1 100 ind.m^{-3}).

L'abondance totale moyenne du zooplancton (toutes stations et mois confondus) était plus forte dans la zone immédiate que dans la zone rapprochée (3174 ± 329 ind/m³, n= 115, et 2759 ± 234 ind/m³, n= 92, respectivement). Cependant, l'effet de la zone sur l'abondance n'était pas significatif (Tableau 10). De même, l'effet de l'interaction entre la zone et le mois n'était pas non plus significatif (model ART, F = 1.042, Df = 22, p-value = 0,418), indiquant que l'effet de la zone sur l'abondance du zooplancton ne variait pas significativement d'un mois à l'autre. En revanche, l'effet du mois sur l'abondance était significatif (model ART, F = 21.191, Df = 22, p-value < 0,001), ce qui indique que l'abondance du zooplancton varie significativement au cours du temps mais pas dans l'espace.

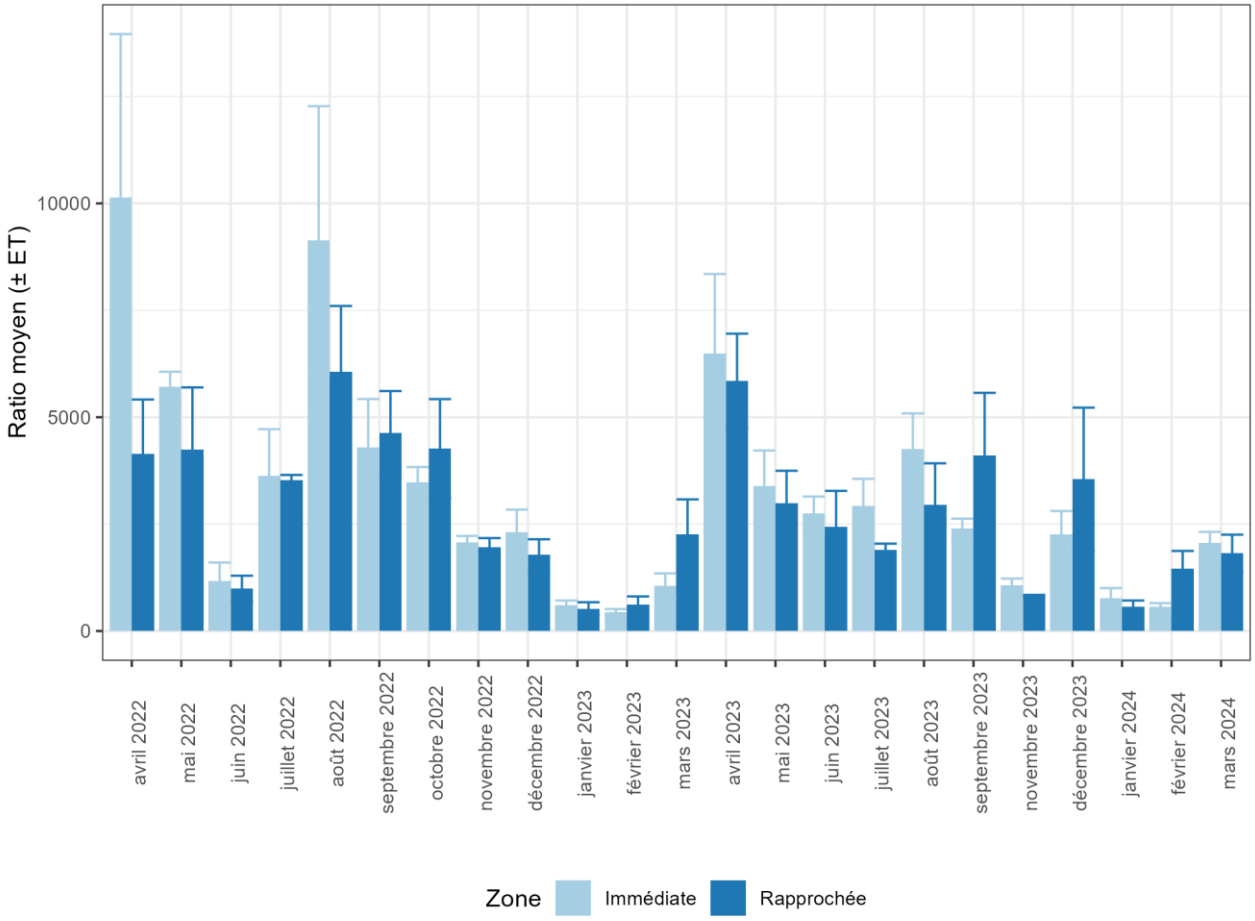


*Figure 45 : Variabilité temporelle de l'**abondance** moyenne (± erreur type) du zooplancton par zone, entre avril 2022 et mars 2024. (source : setec énergie environnement, 2024).*

*Tableau 10 : Résultats du modèle ART pour l'**abondance** du zooplancton. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024)*

Facteur	F	Df	Pr(>F)
Zone	0.02	1	0.879
Mois	21.19	22	**< 0.001**
Zone:Mois	1.04	22	0.418

La Figure 46 présente l'abondance relative des organismes dans la zone d'étude (toutes stations incluses), identifiés au niveau taxonomique de la classe. Les résultats montrent que la communauté est largement dominée par les Copépodes, qui représentent entre 53% (en février 2023) et 97% (en avril 2023). En raison de leur importance dans la communauté, une analyse centrée sur les Copépodes a été réalisée dans la section 3.3.3.3 (voir ci-dessous).

Selon la campagne, certaines autres classes ont montré une augmentation évidente de l'abondance relative : la classe des Appendiculaires (« Appendicularia »), appartenant à l'embranchement des Chordés, ont présenté une augmentation de l'abondance relative en février 2023 (37 %) ainsi qu'entre juillet et novembre 2023 (jusqu'à 16 %) ; les Mollusques Ptéropodes appartenant à la classe des Gastéropodes (« Gastropoda ») ont présenté une abondance plus élevée jusqu'à un maximum de 26,6 % en avril 2022 ; en octobre et novembre 2022 et en septembre 2023, la classe des Branchiopodes (« Branchiopoda », embranchement des Arthropodes) a représenté 12 %, 15 %, et 19 % de l'abondance, respectivement ; et en mars 2023 et février 2024, une forte représentation d'organismes de la classe des Thecostracés (« Thecostraca » - larves de cirripèdes) a été observée (13 % et 14 %, respectivement). Finalement, la classe des Malacostracés (« Malacostraca ») ont été systématiquement présents avec des abondances relatives atteignant 13 % en mai 2023.

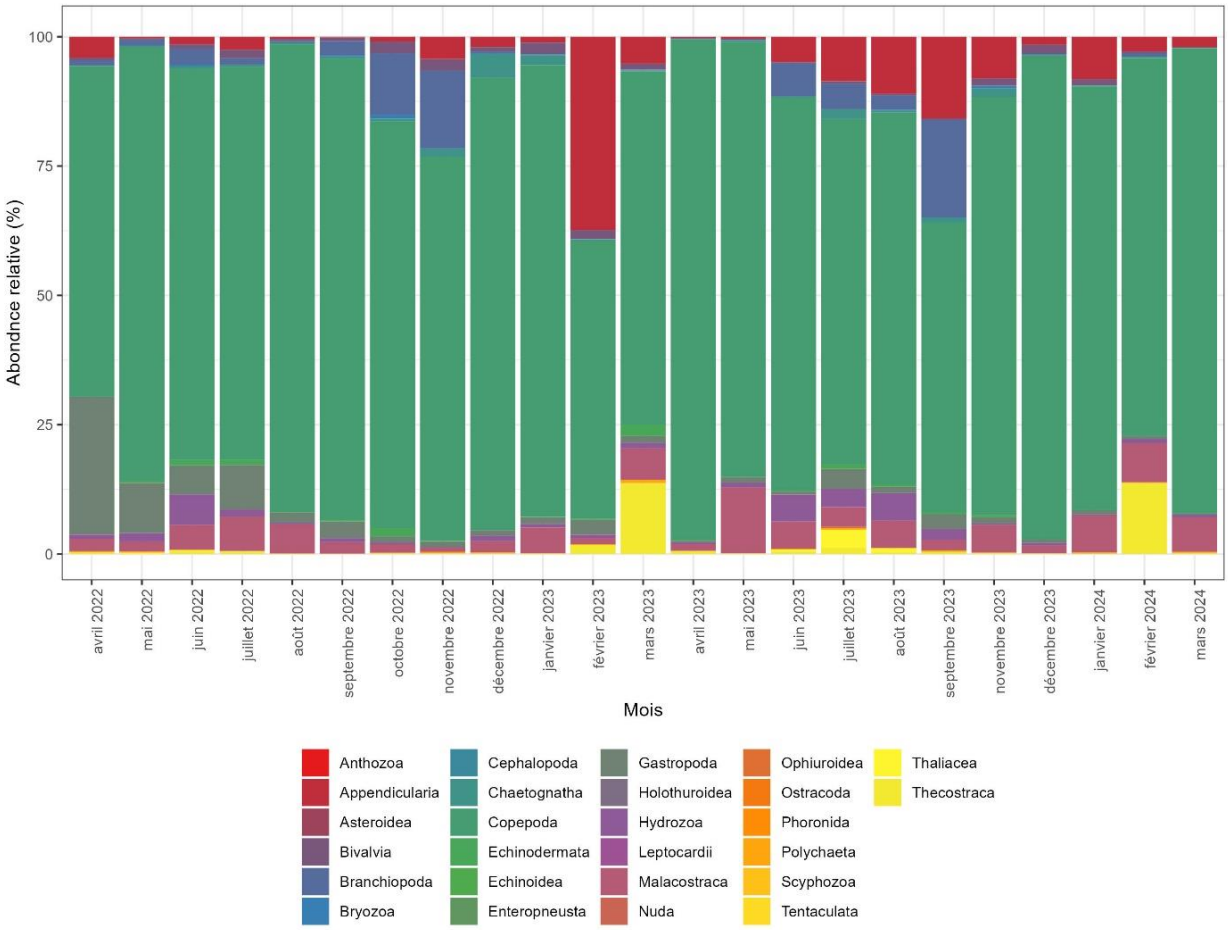


Figure 46 : Composition de la communauté du zooplancton (toutes stations incluses), identifiés au niveau taxonomique de la classe entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

Photo 14 : Oikopleura sp. (Appendiculaires / source : COPEPEDIA) & nauplius de cirripèdes (larve de Thecostracés / source : Shape of life)

3.3.3 Indicateurs de l'état écologique

Différents indices ont été analysés pour décrire l'état écologique de l'habitat planctonique :

- Abondance totale de zooplancton (PH1)
- Ratio carnivores/non-carnivore (PH1)
- Ratio Mero/Holoplancton (PH1)
- Ratio gélatineux/non-gélatineux (PH1)
- Abondance totale de copépodes (PH2)
- Richesse spécifique (PH3)
- Indice d'équitabilité de Pielou (E') (PH3)
- Indice de Shannon-Weaver (H') (PH3)
- Indice de Simpson (D) (PH3)

Ces indicateurs, ont été analysées par mois et par zone (immédiate et rapprochée). Les variations de ces indicateurs entre la période de référence (ce rapport) et les périodes suivantes du projet (analyse de type BACI) peuvent ainsi fournir des informations sur les changements potentiels de l'état écologique, au fil du temps.

Une carte de chaque indicateur moyenné par saison est également fournie. Les saisons ont été définies en fonction de la variabilité temporelle de la chlorophylle *a* observé dans un large périmètre autour de la zone d'étude (voire section 1.1.1) :

- Hiver : janvier, février, mars
- Printemps : avril, mai, juin
- Eté : juillet, aout, septembre
- Automne : octobre, novembre, décembre

Comme expliqué précédemment, les indices PH1 et PH2 ont été calculés à partir des données Zooscan pour chaque station. Les indices PH3 ont été calculés à partir des données de microscopie, pour lesquelles seules deux stations sont disponibles (PLA03 et PLA07). Par conséquent, seule la variabilité temporelle des indices PH3 est décrite.

3.3.3.1 Indicateurs PH1

- **Abondance totale de zooplancton (PH1)**

La description détaillée de la variabilité temporelle par mois de l'abondance totale du zooplancton a été présentée dans la section précédant (3.3.2.1).

- **Proportion carnivores/non-carnivores (PH1)**

L'indicateur proportion de carnivores/non-carnivores est un indicateur important de la structure du réseau trophique de la communauté de zooplancton. La variabilité temporelle de cet indicateur montre que la représentation des carnivores dans la communauté a toujours été inférieur à 20%. Cependant, la représentation des carnivores a atteint un pic en juin et juillet des deux années de suivi (Figure 47a). Pendant ces mois, la représentation de carnivores était supérieure à 12% sur l'ensemble du site d'étude (sauf dans la zone rapprochée en juillet 2022 : 10%). Les carnivores étaient principalement représentés par les copépodes de la famille Euchaetidae et par les siphonophores de la famille des Diphydae pendant les mois d'été et par les Chaetognatha pendant les mois d'hiver (décembre et janvier 2023) (Figure 47b). Les mois avec une proportion de carnivores relativement aux non carnivores plus faible étaient avril 2022, d'août à novembre 2022, ainsi que février et avril 2023, quand l'indicateur était inférieur à 5% (Figure 47). Comme pour l'abondance, le modèle ART indique que la proportion de carnivores/non-carnivores varie de manière significative entre les mois (p-value < 0,001), mais les différences entre les zones ne sont pas significatives (indépendante ou l'interaction, Tableau 11).

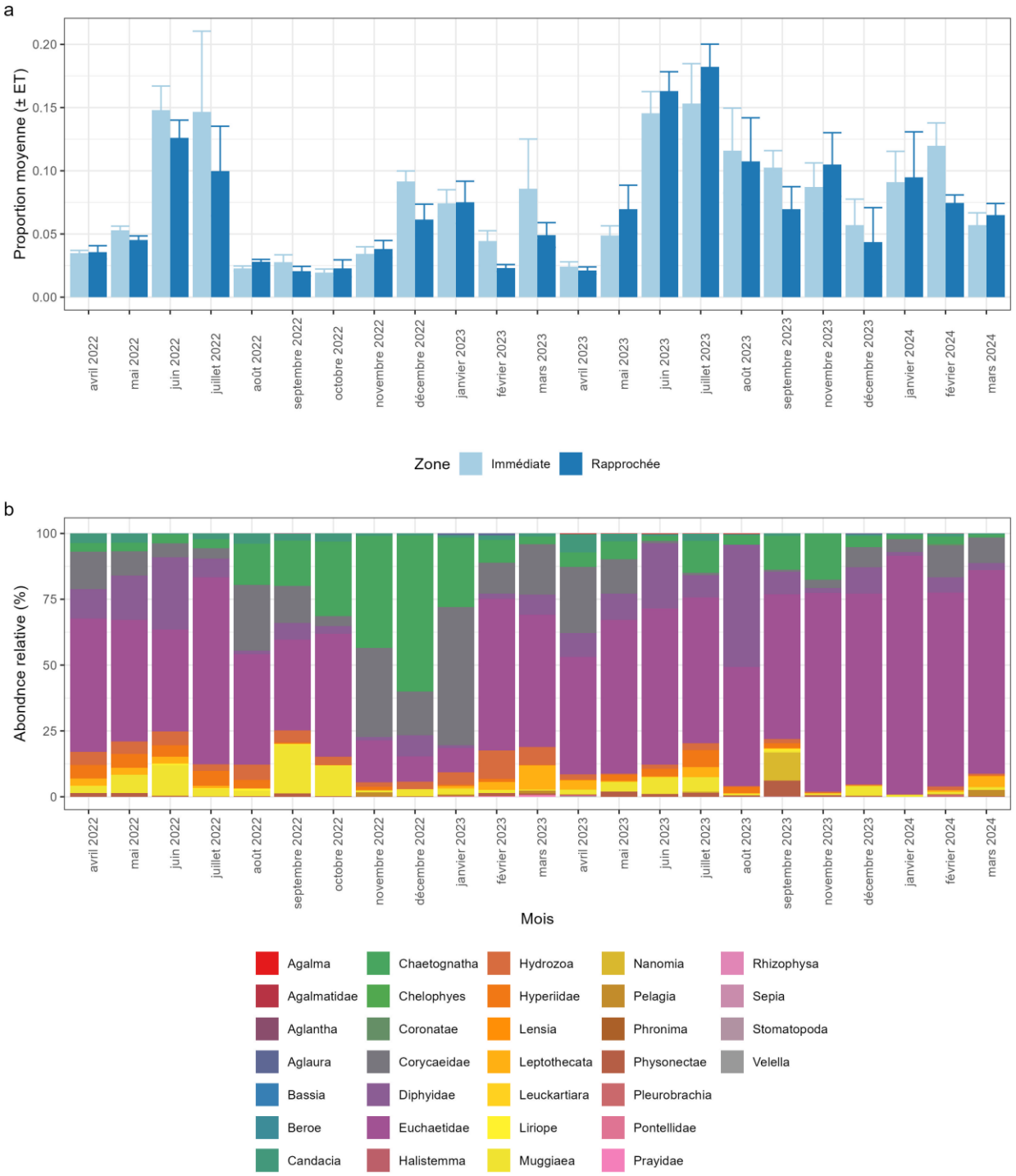


*Figure 47 : Variabilité temporelle de a) la proportion de **carnivores/non-carnivores** (moyenne ± erreur type) par zone, et b) la composition des carnivores (toutes stations incluses), identifiés au niveau taxonomique maximum du genre, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024).*

*Tableau 11 : Résultats du modèle ART pour l'indice proportion de **carnivores/non-carnivores**. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024)*

Facteur	F	Df	Pr(>F)
Zone	1.789	1	0.223
Mois	15.327	22	**<0.001**
Zone:Mois	0.935	22	0.550

- **Proportion Mero/Holoplancton (PH1)**

Le proportion Méro/Holoplancton, indicateur important de la structure de la communauté zooplanctonique, est présenté à la Figure 48a. Sur la période d'étude, l'indicateur montre 4 pics faibles pour les deux zones (en juin/juillet et octobre/novembre 2022, et en juin/juillet 2023) et deux pics évidents, l'un en mars 2023 et l'autre en février 2024, en particulier dans la zone rapprochée. En effet, les résultats du modèle mixte indiquent qu'il existe des différences significatives entre les mois et les zones (p-value < 0.05), mais l'effet de l'interaction n'est pas significative (Tableau 12).

Les pics pendant l'été (juin/juillet 2022 et 2023) représentent une abondance plus élevée de Malacostraca (en particulier les décapodes), tandis que les valeurs élevées observées en octobre/novembre 2023 et décembre 2024 sont surtout liées à des abondances plus élevées de bivalves (Figure 48b). Les pics plus forts en février/mars 2023 et 2024, en particulier dans la zone rapprochée, sont dus à des abondances élevées de Thecostraca, une classe représentée uniquement par des larves de cirripèdes (jusqu'à 1382 ind.m^{-3} en mars 2023, à PLA11, et jusqu'à 727 ind.m^{-3} en février 2024, à PLA09,). La différence de valeurs entre les stations indique que celles avec un ratio plus élevé sont sous l'influence d'un profil hydrodynamique favorisant le transport de ces larves depuis leurs populations sources adultes vers la zone d'étude. En effet, la distribution spatiale des larves de cirripèdes dans la zone d'étude en mars 2023 et février 2024 (cf. Figure 49) suggère que ces larves ont probablement été libérées dans les zones côtières.

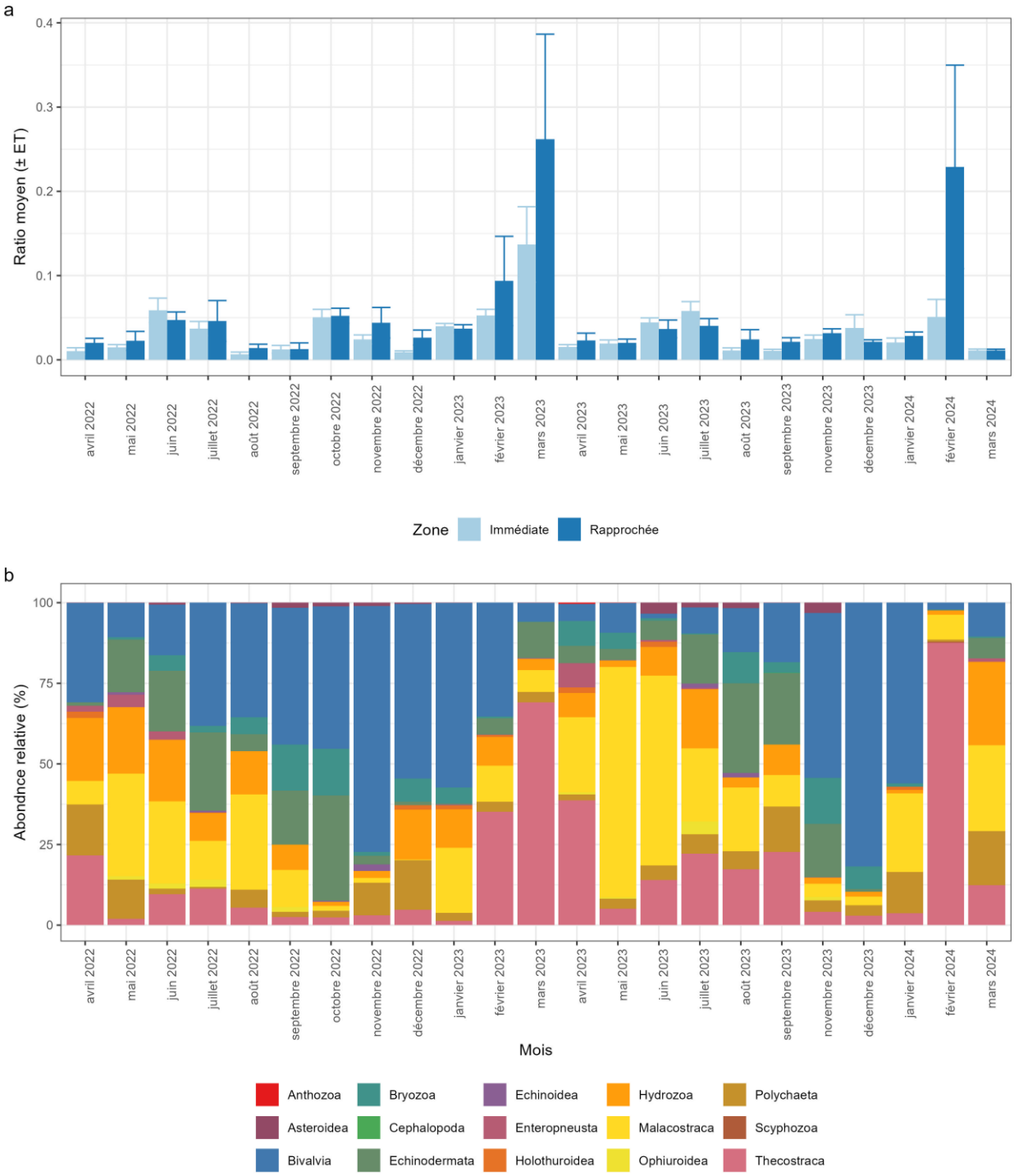


Figure 48 : Variabilité temporelle de a) la proportion de mero/holoplancton (moyenne ± erreur type) par zone, et b) composition des organismes meroplanctoniques (toutes stations incluses), identifiés au niveau taxonomique maximum de la classe, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024).

Tableau 12 : Résultats du modèle ART pour l'indice proportion de mero/holoplancton. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024)

Facteur	F	Df	Pr(>F)
Zone	10.947	1	**0.013**
Mois	9.884	22	**<0.001**
Zone:Mois	0.853	22	0.656

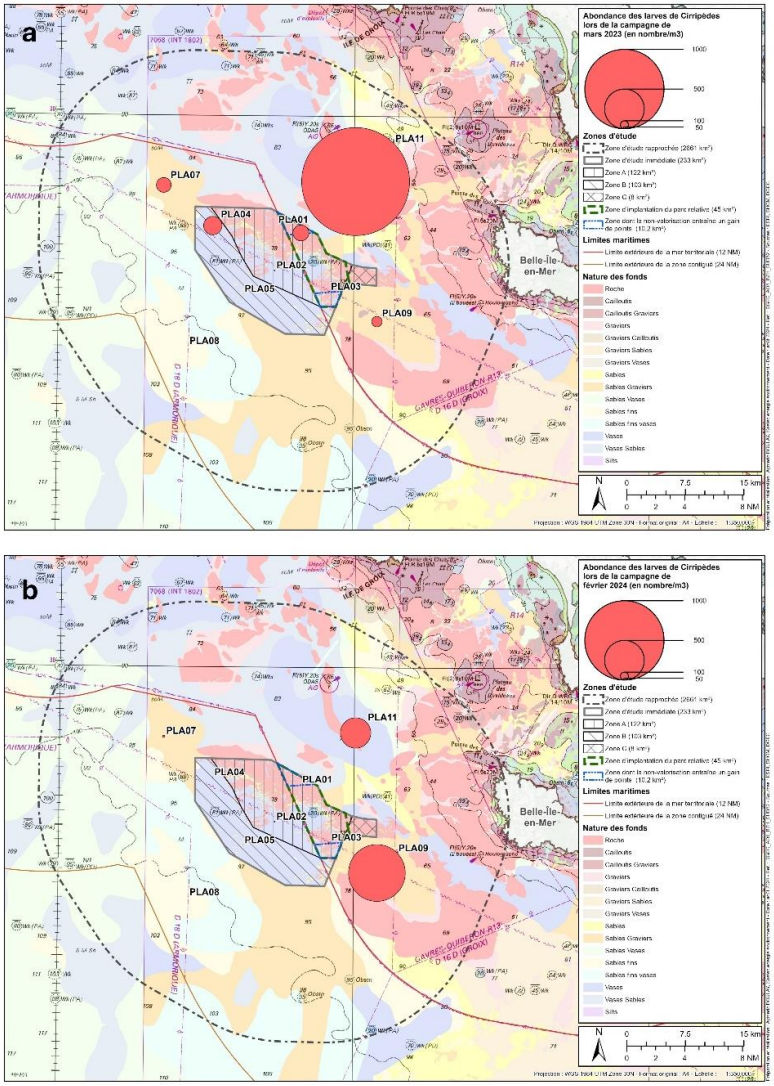


Figure 49 : Distribution spatiale des larves de cirripèdes dans la zone d'étude en mars 2023 (a) et février 2024 (b) (source : setec énergie environnement, 2024)

- **Proportion gélatineux/non-gélatineux (PH1)**

Les variations dans la proportion d'organismes gélatineux/non gélatineux peuvent indiquer des changements importants susceptibles d'affecter les relations trophiques au sein de la communauté pélagique. La variabilité temporelle de cet indicateur montre que la représentation de ces organismes dans la communauté est restée, dans la plupart des cas, inférieure à 10 %. Cependant, un pic important a été observé en février 2023 dans les deux zones, lorsque plus de 30% de l'abondance totale était représentée par des organismes gélatineux (Figure 50). Des valeurs plus élevées de cet indicateur ont également été observées durant l'été 2023 (de juin à septembre 2023), avec des valeurs supérieures à 13 % dans les deux zones (sauf dans la zone immédiate en juin). Une variabilité temporelle significative a été confirmée par les modèles mixtes (p-valeur < 0,001), mais aucun effet significatif de la zone ou de l'interaction entre les deux facteurs a été détecté (Tableau 13). À noter que, par saison (voir ci-après, Tableau 16), les différences dans cet indicateur n'étaient pas significatives entre les saisons ou les zones, soulignant ainsi les événements de courte durée caractéristiques de ces organismes, tels que la formation de blooms.

Le pic de la proportion d'organismes gélatineux/non gélatineux observé en février 2023 était en grande partie dû à des abondances élevées d'appendiculaires, qui représentaient 98,5 % de l'abondance des organismes gélatineux. En effet, les appendiculaires étaient généralement les organismes gélatineux les plus communs (Figure 50b). Cependant, la représentation de la classe Hydrozoa et Thaliacea a augmenté en été, contribuant aux valeurs plus élevées de cet indicateur entre juin et septembre 2023.

En raison de leur importance, une attention particulière à ces organismes est présentée dans la section 2.5.3.2.5.

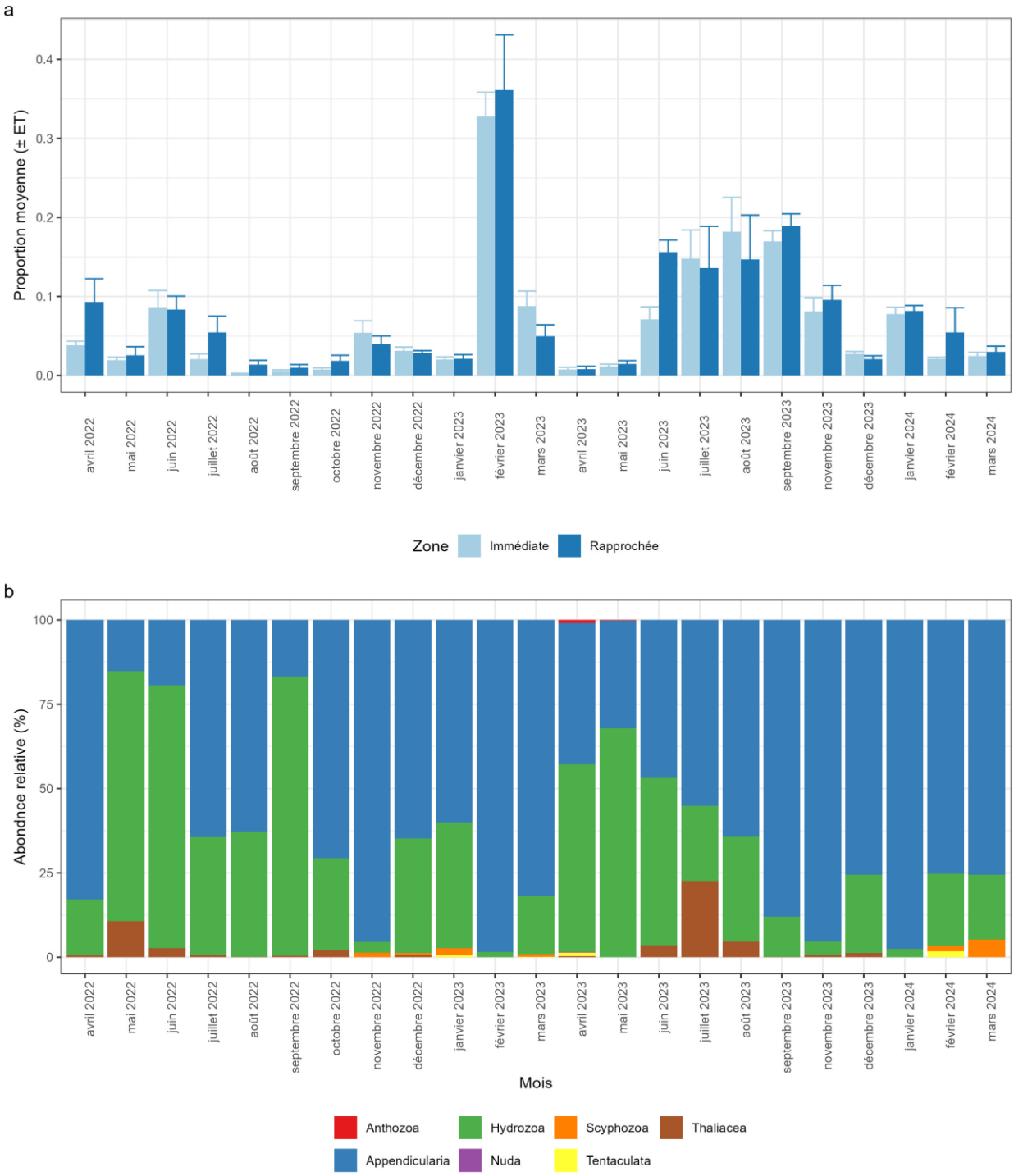


*Figure 50 : Variabilité temporelle de a) la proportion de **gélatineux/non gélatineux** (moyenne ± erreur type) par zone, et b) composition des organismes gélatineux (toutes stations incluses), identifiés au niveau taxonomique maximum de la classe, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024).*

*Tableau 13 : Résultats du modèle ART pour l'indice proportion de **gélatineux/non gélatineux**. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024)*

Facteur	F	Df	Pr(>F)
Zone	3.874	1	0.090
Mois	27.724	22	**<0.001**
Zone:Mois	1.283	22	0.191

3.3.3.1 Indicateurs PH2

- **Abondance totale de copépodes (PH2)**

Comme décrit précédemment, les copépodes constituent un élément important de la communauté du zooplancton, représentant systématiquement plus de 50 % de l'abondance totale (Figure 46). Il n'est donc pas surprenant que la variabilité temporelle de l'abondance des copépodes (Figure 51) soit très similaire à celle de l'abondance totale du zooplancton (Figure 45). Les abondances maximales de copépodes ont été observées dans la zone immédiate en avril 2022, août 2022 et avril 2023, lorsque l'abondance dépassait les 6000 ind/m³. Les abondances les plus faibles ont été observées en juin 2022, janvier/février 2023, novembre 2023 et janvier/février 2024 (< 1000 ind/m³). Comme pour le zooplancton total, les modèles mixtes ont confirmé l'effet significatif du mois (p-valeur < 0,001), mais aucun effet de la zone ni interaction (Tableau 14), ce qui soutient davantage l'idée que les abondances varient de manière significative au fil du temps, mais pas selon l'espace.

En raison de l'importance des copépodes dans la communauté, une attention particulière à ces organismes est présentée dans la section 3.3.3.3.

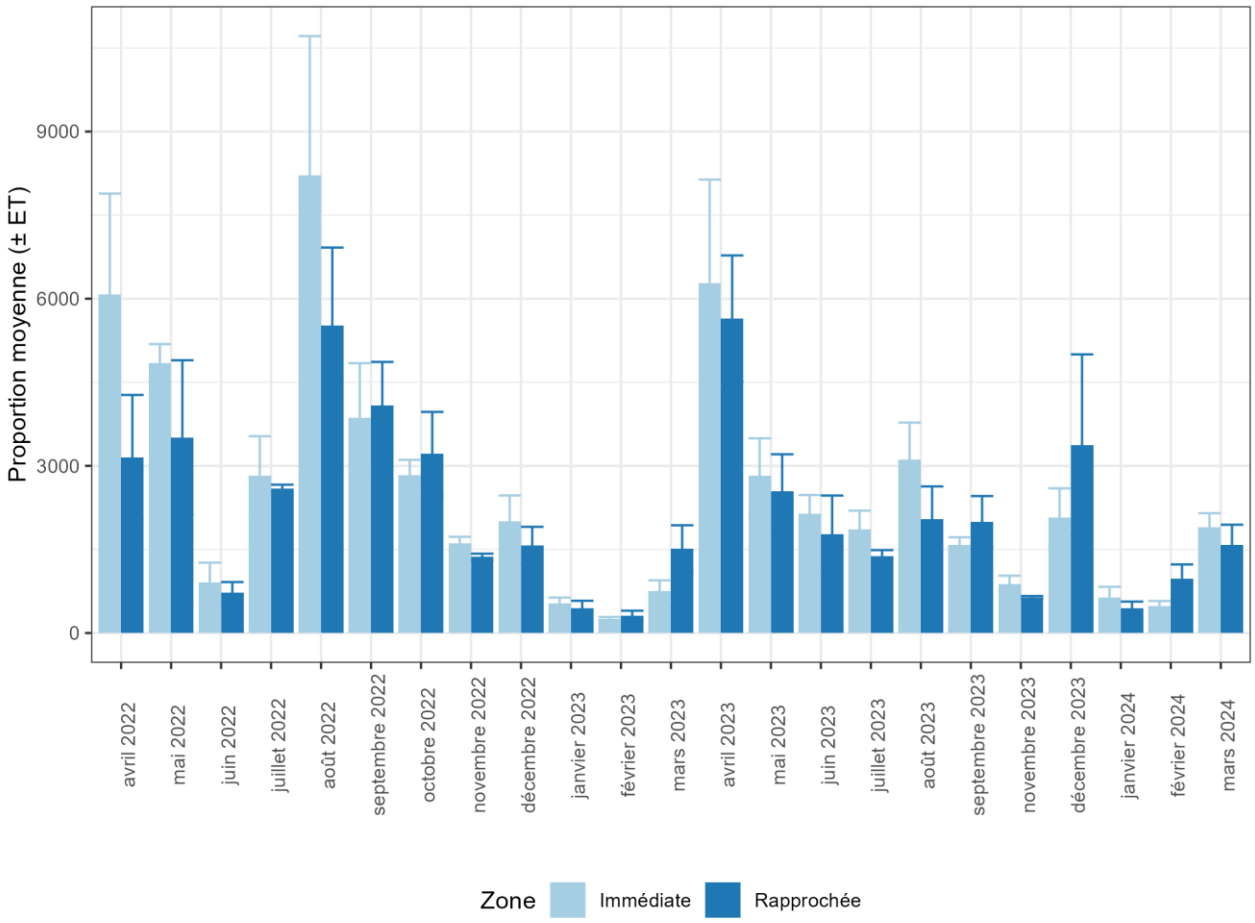


*Figure 51 : Variabilité temporelle de l'**abondance total de copépodes** (moyenne ± erreur type) par zone, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024).*

*Tableau 14 : Résultats du modèle ART pour l'indice de l'**abondance total de copépodes**. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. Les valeurs en gras indiquent un effet significatif. (source : setec énergie environnement, 2024)*

Facteur	F	Df	Pr(>F)
Zone	1.28	1	0.296
Mois	23.30	22	**< 0.001**
Zone:Mois	0.85	22	0.665

- **Cartographie de synthèse des indicateurs de l'état écologique**

Une cartographie de synthèse est présentée dans la Figure 52 avec les valeurs de la moyenne saisonnière de chaque indicateur dans la zone d'étude. Les valeurs moyennes par saison et par zone sont présentées dans le Tableau 15, tandis que les résultats des modèles mixtes testant l'effet de la saison, de la zone et de l'interaction de ces facteurs sont présentés dans le Tableau 16.

En général, ces résultats indiquent que la structure de la communauté varie selon les saisons, mais que ces changements dépendent des composantes de la structure de la communauté. En effet, bien que l'effet de la saison ait été significatif pour l'abondance totale du zooplancton, l'abondance des copépodes et la proportion de méroplancton/holoplancton (p-valeurs ≤ 0,001), ce n'était pas le cas pour la proportion d'organismes gélatineux/non gélatineux et carnivores/non carnivores. Cela souligne l'importance de décrire les indices à des échelles temporelles plus fines, car de nombreux événements d'abondances élevées sont des événements de courte durée, tels que les pics d'abondance de gélatineux (dont beaucoup sont carnivores). Ces résultats suggèrent également une absence de différence spatiale pour tous les indicateurs, puisque l'effet de la zone et son interaction avec la saison n'étaient pas significatifs. Une exception a cependant été observée pour la proportion de méroplancton/holoplancton, pour laquelle des différences significatives entre les zones ont été détectées, probablement en raison de l'abondance plus élevée de méroplancton dans la zone rapprochée (notamment, les cirripèdes, voir ci-dessus).

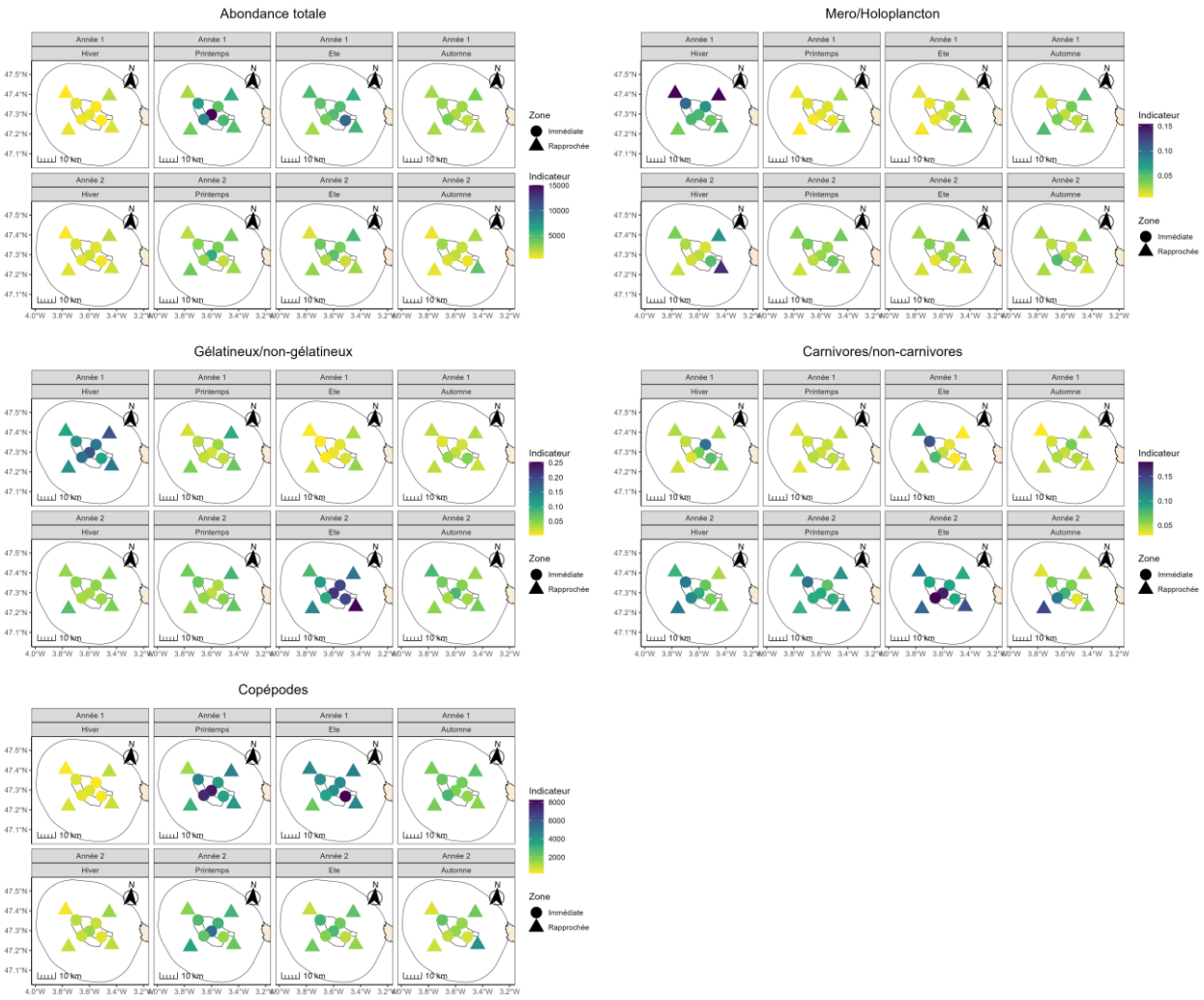


Figure 52 : Cartographie de la moyenne saisonnière de chaque indicateur dans la zone d'étude, par station, pour l'année 1 (avril 2022 – mars 2023) et l'année 2 (avril 2023 - mars 2024).

Tableau 15 : Moyenne saisonnière ± erreur type (n) de chaque indicateur de l'état écologique, par zone, pour l'année 1 (avril 2022 – mars 2023) et l'année 2 (avril 2023 - mars 2024). (source : setec énergie environnement, 2024)

		Année 1				Année 2			
Indicateur	**Zone**	**Hiver**	**Printemps**	**Eté**	**Automne**	**Hiver**	**Printemps**	**Eté**	**Automne**
Abondance totale de zooplancton (ind/m³) (PH1)	Immédiate	702.41 ± 120.05 (15)	7929.18 ± 1950.84 (10)	5686.3 ± 1266.49 (15)	2616.04 ± 262.12 (15)	1132.72 ± 208.52 (15)	3451.39 ± 657.4 (20)	3196.06 ± 389.89 (15)	1664.97 ± 333.51 (10)
	Rapprochée	1136.68 ± 351.26 (12)	4197.65 ± 891.09 (8)	4736.75 ± 635.48 (12)	2670.45 ± 503.84 (12)	1280.97 ± 244.86 (12)	3069.23 ± 580.16 (16)	2982.38 ± 597.83 (12)	2183.33 ± 931.06 (8)
Proportion Mero/Holoplancton (PH1)	Immédiate	0.07 ± 0.01 (15)	0.01 ± 0 (10)	0.02 ± 0 (15)	0.03 ± 0.01 (15)	0.03 ± 0.01 (15)	0.03 ± 0.01 (20)	0.03 ± 0.01 (15)	0.03 ± 0.01 (10)
	Rapprochée	0.1 ± 0.03 (12)	0.02 ± 0.01 (8)	0.02 ± 0.01 (12)	0.04 ± 0.01 (12)	0.07 ± 0.03 (12)	0.03 ± 0 (16)	0.03 ± 0 (12)	0.03 ± 0 (8)
Proportion gélatineux/non-gélatineux (PH1)	Immédiate	0.15 ± 0.04 (15)	0.03 ± 0 (10)	0.01 ± 0 (15)	0.03 ± 0.01 (15)	0.04 ± 0.01 (15)	0.04 ± 0.01 (20)	0.17 ± 0.02 (15)	0.05 ± 0.01 (10)
	Rapprochée	0.14 ± 0.05 (12)	0.06 ± 0.02 (8)	0.03 ± 0.01 (12)	0.03 ± 0 (12)	0.06 ± 0.01 (12)	0.07 ± 0.02 (16)	0.16 ± 0.02 (12)	0.06 ± 0.02 (8)
Proportion carnivores/non-carnivore (PH1)	Immédiate	0.07 ± 0.01 (15)	0.04 ± 0 (10)	0.07 ± 0.03 (15)	0.05 ± 0.01 (15)	0.09 ± 0.01 (15)	0.09 ± 0.01 (20)	0.12 ± 0.02 (15)	0.07 ± 0.01 (10)
	Rapprochée	0.05 ± 0.01 (12)	0.04 ± 0 (8)	0.05 ± 0.02 (12)	0.04 ± 0.01 (12)	0.08 ± 0.01 (12)	0.09 ± 0.02 (16)	0.12 ± 0.02 (12)	0.07 ± 0.02 (8)
Abondance totale de copépodes (ind/m³) (PH2)	Immédiate	513.51 ± 87.36 (15)	5462.58 ± 890.4 (10)	4968.33 ± 1059.41 (15)	2149.25 ± 218.71 (15)	1009.29 ± 196.76 (15)	3041.44 ± 652.8 (20)	2187.92 ± 292.3 (15)	1475.08 ± 325.45 (10)
	Rapprochée	757.21 ± 211.31 (12)	3331.52 ± 827.42 (8)	4065.78 ± 602.95 (12)	2051.41 ± 352.36 (12)	1000.51 ± 196.79 (12)	2673.85 ± 579.2 (16)	1807.27 ± 244.63 (12)	2007.09 ± 913.11 (8)

Tableau 16 : Résultats du modèle ART. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. (source : setec énergie environnement, 2024)

Facteur	F	Df	P-value
Abondance totale de zooplancton (PH1)			
Zone	0.055	1	0.821
Season	47.461	3	**<0.001**
Zone:Season	0.943	3	0.421
Proportion Mero/Holoplancton (PH1)			
Zone	6.604	1	**0.037**
Season	5.531	3	**0.001**
Zone:Season	0.741	3	0.529
Proportion gélatineux/non-gélatineux (PH1)			
Zone	0.686	1	0.435
Season	1.928	3	0.126
Zone:Season	0.190	3	0.903
Proportion carnivores/non-carnivore (PH1)			
Zone	0.709	1	0.427
Season	1.979	3	0.118
Zone:Season	0.183	3	0.908
Abondance totale de copépodes (PH2)			
Zone	1.517	1	0.258
Season	42.552	3	**<0.001**
Zone:Season	1.089	3	0.355

3.3.3.2 Indicateurs PH3 (Indices de diversité)

La figure ci-dessous (Figure 53) montre la variabilité temporelle des indicateurs PH3 (indices de biodiversité) de la communauté identifiée au microscope dans le site d'étude (stations PLA03 et PLA07).

La variabilité temporelle des différents indices de diversité était similaire, à l'exception de la richesse taxonomique. La richesse taxonomique a varié entre 34 taxons (en janvier 2024) et 61 taxons (en mai 2022) identifiées. Les mois d'hiver (janvier et février 2023 et janvier 2024) ont présenté la plus faible richesse taxonomique, avec moins de 45 taxons différents dans la communauté.

Parmi les autres indices, des valeurs de diversité plus élevées ont été observées en juin 2022 et en juillet 2023, tandis que des valeurs de diversité plus faibles ont été observées en décembre 2022 et 2023.

Pour l'indice de diversité de Simpson D, les valeurs moyens ont varié entre 0,69 et 0,92, indiquant des niveaux globaux de diversité élevés. Les valeurs de diversité de Shannon H' ont varié autour entre 1.84 et 2.91. Pour l'indice d'équitabilité de Pielou E', il a varié entre 0,47 et 0,73.

Les indices de diversité de Simpson et de Shannon tiennent tous deux comptes du nombre de taxons (richesse) et de la distribution de l'abondance parmi les différents taxons (indice d'équitabilité de Pielou). L'indice de Shannon est censé mettre l'accent sur la composante richesse de la diversité, tandis que l'indice de Simpson met l'accent sur la composante équitabilité (Nagendra, 2002). Cependant, les deux indices ont suivi la même variabilité temporelle que celle de l'indice d'équitabilité de Pielou, indiquant que les niveaux globaux de biodiversité dans la communauté zooplanctonique au fil du temps sont davantage affectés par les variations de la distribution de l'abondance au sein de la communauté. Par conséquent, les niveaux élevés de biodiversité observés en juin 2022 et en juillet 2023 suggèrent que l'abondance était uniformément répartie parmi un grand nombre d'espèces, tandis que les niveaux faibles de biodiversité observés en décembre 2022 et 2023 étaient probablement le résultat d'une plus grande dominance relative de certains taxons particuliers, comme le taxons Calanoida qui a représenté 52% de l'abondance total. Ce taxon regroupe les stages de copépodites de *Clausocalanus* sp., *Ctenocalanus* sp., *Pseudocalanus* sp. et *Paracalanus* sp..

Les valeurs moyennes des indices de biodiversité par saison pour les deux années de l'étude sont présentées dans le Tableau 17. Les résultats du modèle ART montrent que les indices étaient significativement différents entre les saisons (Tableau 18). Globalement, le printemps a montré les valeurs les plus élevées des indices de biodiversité.

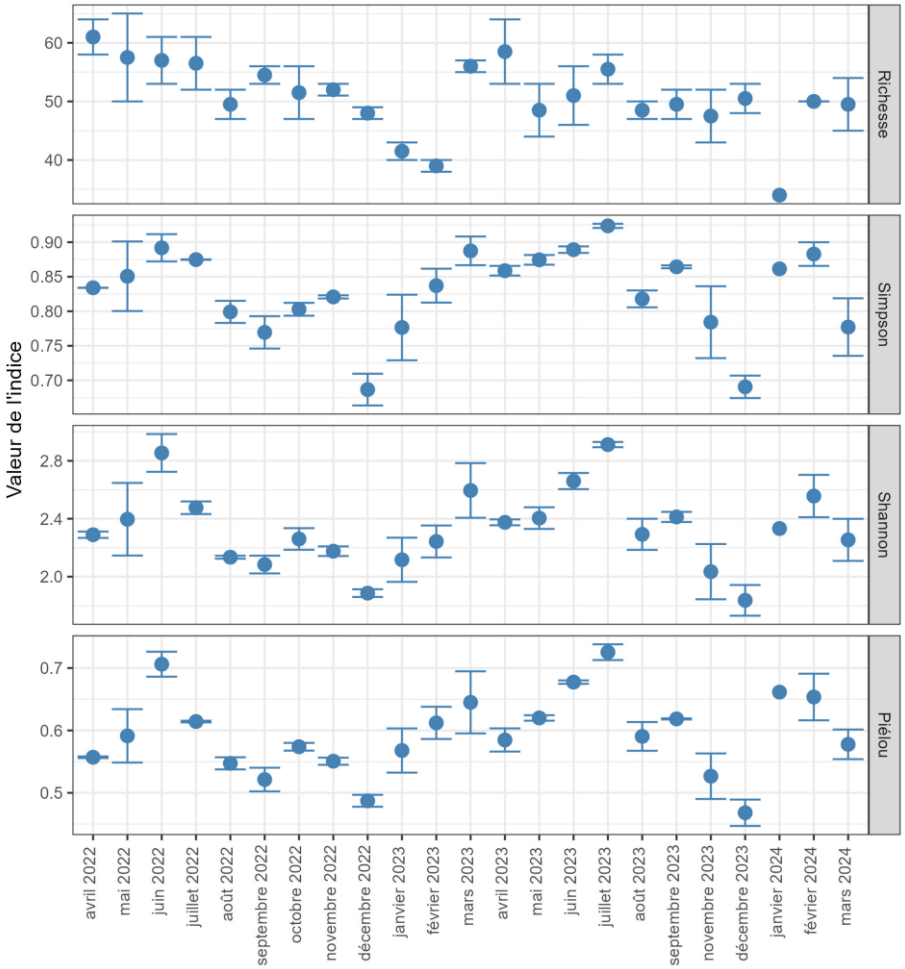


Figure 53 : Evolution temporelle des indicateurs PH3 (indices de biodiversité : Richesse spécifique, Shannon H', Pielou E' et Simpson D) de la communauté zooplanctonique identifié au microscope (stations PLA03 et PLA07), entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

Tableau 17 : Moyenne saisonnière ± erreur type de chaque indicateurs PH3 (indices de biodiversité), pour l'année 1 (avril 2022 – mars 2023) et l'année 2 (avril 2023 - mars 2024). Les indices ont été calculés à partir des données de microscopie des stations PLA03 et PLA07. (source : setec énergie environnement, 2024)

	Année 1			
	Hiver	**Printemps**	**Eté**	**Automne**
Richesse spécifique	45.5±3.39	59.25±3.45	53.5±1.91	50.5±1.45
Shannon-Weaver (H')	2.32±0.11	2.34±0.11	2.23±0.08	2.11±0.08
Equitabilité de Pielou (E')	0.61±0.02	0.57±0.02	0.56±0.02	0.54±0.02
Simpson (D)	0.83±0.03	0.84±0.02	0.81±0.02	0.77±0.03
	Année 2			
	Hiver	**Printemps**	**Eté**	**Automne**
Richesse spécifique	46.6±3.46	53.75±2.39	51.17±1.7	49±2.27
Shannon-Weaver (H')	2.39±0.1	2.57±0.08	2.54±0.12	1.94±0.11
Equitabilité de Pielou (E')	0.62±0.02	0.65±0.02	0.64±0.03	0.5±0.02
Simpson (D)	0.84±0.03	0.88±0.01	0.87±0.02	0.74±0.04

Tableau 18 : Résultats du modèle ART. F : valeur du test statistique, DF : degrés de liberté, p-value : valeur de signification. (source : setec énergie environnement, 2024)

Indice	Facteur	F	Df	Pr(>F)
Richesse spécifique	Saison	3.659	3	**0.020**
Shannon-Weaver (H')	Saison	6.378	3	**0.001**
Equitabilité de Pielou (E')	Saison	6.247	3	**0.001**
Simpson (D)	Saison	6.928	3	**0.001**

3.3.3.3 Focus sur les copépodes

Les Copépodes sont la classe la plus abondante dans la communauté zooplanctonique et jouent un rôle écologique très important dans les réseaux trophiques pélagiques. L'abondance totale des Copépodes (voir Figure 51 ci-dessus) a suivi de près la variabilité temporelle globale du zooplancton total (Figure 45), soulignant leur importance dans la communauté zooplanctonique. Pour ces raisons, une analyse plus détaillée a été effectuée sur la classe des Copépodes.

Au total, 24 taxons différents de Copépodes ont été identifiés au Zooscan dans cette étude, dont 3 au niveau de l'espèce et les autres à des niveaux taxonomiques plus élevés, incluant des groupes tels que « Copepoda », « Calanoida », « Copepoda small » et « Copepoda nauplii », qui englobent de nombreuses espèces différentes. La variabilité temporelle des taxons représentant plus de 10 % de l'abondance totale des Copépodes est présentée dans la Figure 54, tandis que l'abondance relative de tous les copépodes est présentée dans la Figure 55. Les Copépodes de petite taille (« Copepoda small ») sont les taxons les plus abondants, avec des valeurs maximales observées en août 2022 dans la zone immédiate (528 ± 179 ind.m³), représentant plus de 60 % de l'abondance en août, septembre et novembre 2022. Ce taxon inclut non seulement de petites espèces de copépodes, difficiles à identifier par le ZooScan à un niveau taxonomique plus bas, mais aussi les différents stades copépodites (stades larvaires des copépodes : nauplius → copépodite → chalimus → pré-adulte) de diverses espèces de Copépodes. De même, les Copépodes de l'ordre des Calanoïdes (« Calanoida ») représentent un grand groupe de différentes espèces, montrant des pics d'abondance en décembre 2022 et 2023 ainsi qu'en avril 2023, avec des valeurs maximales en avril 2023 dans la zone immédiate (1 224 ± 446 ind.m³), étant le taxon le plus représentatif des mois d'hiver (> 30 % entre décembre 2022 et mars 2023, ainsi qu'entre novembre 2023 et janvier 2024).

Parmi les taxons identifiés au niveau taxonomique inférieur, les genres *Acartia sp.* et *Temora sp.* ont présenté des abondances élevées avec des pics marqués en avril et en mai, particulièrement en 2023, avec des valeurs maximales en avril dans la zone rapproché de 1 680 ± 611 et 1 023 ± 172 ind.m³, respectivement. C'est pendant ces mois que les deux genres ont représenté une abondance relative plus élevée (> 20 % pour *Acartia sp.* et > 15 % pour *Temora sp.*).

Le genre *Oithona*, la famille des Euchaetidés (« Euchaetidae ») et l'espèce *Calanus helgolandicus* ont présenté des abondances plus élevées durant les mois de printemps/été au cours des deux années de l'étude, bien que les pics d'abondance se soient produits à des mois spécifiques différents. *Oithona* a montré une abondance maximale de 1 734 ± 376 ind.m³ en mai 2022 (zone immédiate) et en août 2023 (1 516 ± 372 ind.m³ dans la zone immédiate), où elle représentait ~ 45 % de l'abondance des copépodes. La famille des Euchaetidés a montré des abondances élevées pendant les mois de printemps/été, avec un pic en juillet 2022 (280 ± 116 ind.m³ dans la zone immédiate). *Calanus helgolandicus* a également été plus abondant pendant les mois de printemps/été avec un pic d'abondance en juin 2023 (499 ± 353 ind.m³ dans la zone rapprochée, représentant 15 % de l'abondance relative).

Enfin, le genre *Centropages* a montré deux pics d'abondance en mai et en août 2022 (maximum de 709 ± 86 ind.m³ dans la zone immédiate), mais a révélé des valeurs plus faibles au cours de la deuxième année de l'étude, tandis que la famille des Oncaeidés (« Oncaeidae ») a présenté des abondances plus élevées en fin d'été 2022, entre août et octobre (pic en août de 1 317 ± 496 ind.m³ dans la zone rapprochée), mais est resté faible pendant la deuxième année de l'étude. Ces deux taxons ont présenté une abondance relative faible pendant la période d'étude (<20 %).

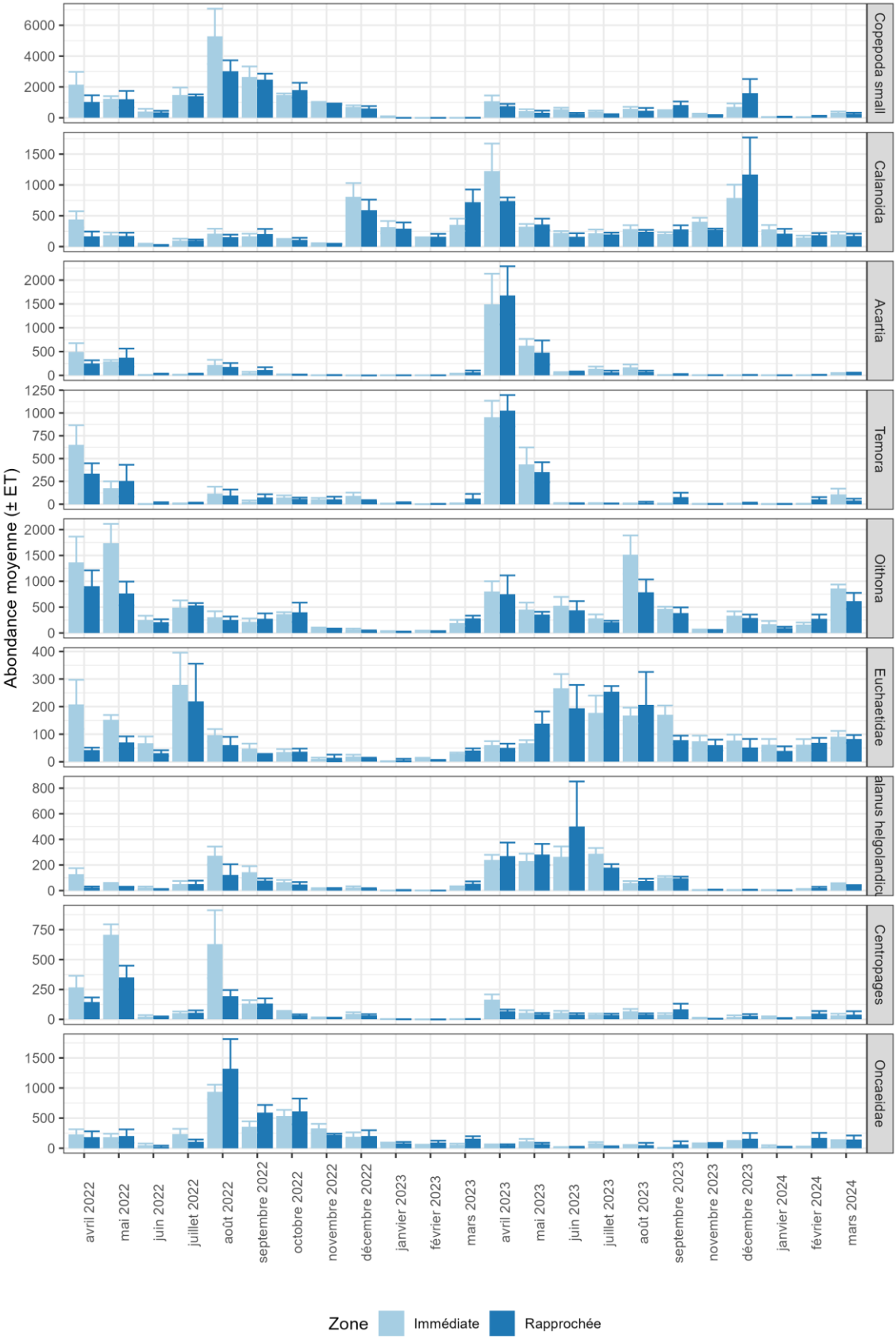


Figure 54 : Evolution de l'abondance (ind.m-3) des taxons représentant plus de 10 % de l'abondance totale des Copépodes à chaque station entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024).

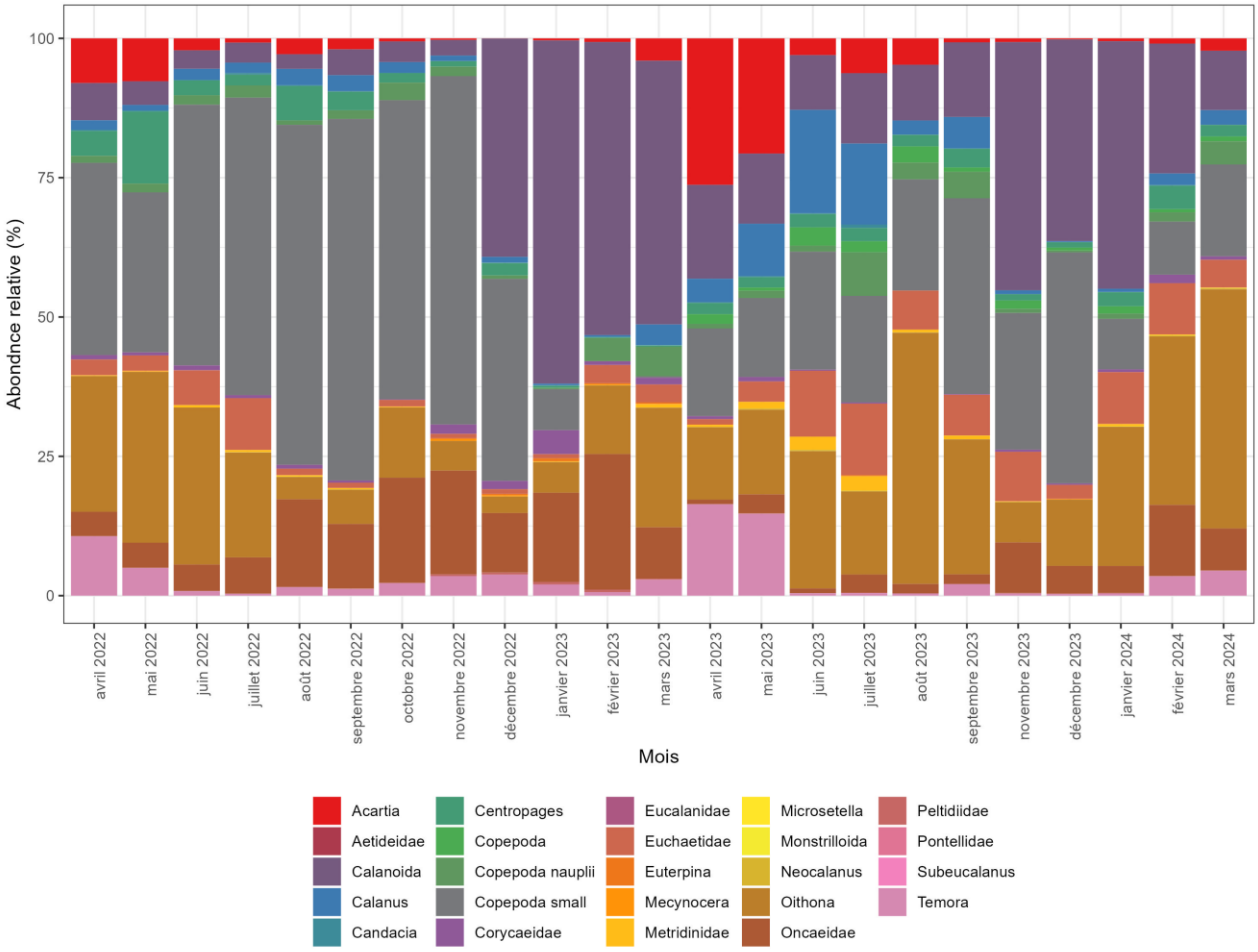


Figure 55 : Variabilité temporelle de l'abondance relative (%) de tous les taxons de Copépodes identifié maximum au niveau du genre, entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024).

3.3.3.4 Focus sur les organismes gélatineux

Les organismes gélatineux désignent les organismes appartenant aux embranchements des Cnidaires et des Cténophores ainsi qu'à la classe des Thaliacés (embranchement des Chordés), composés d'une très forte teneur en haut, pouvant se reproduire rapidement, de former des blooms dans les conditions environnementales optimales et souvent considérés comme ayant des impacts écologiques et socio-économiques négatifs (Lucas et al., 2014).

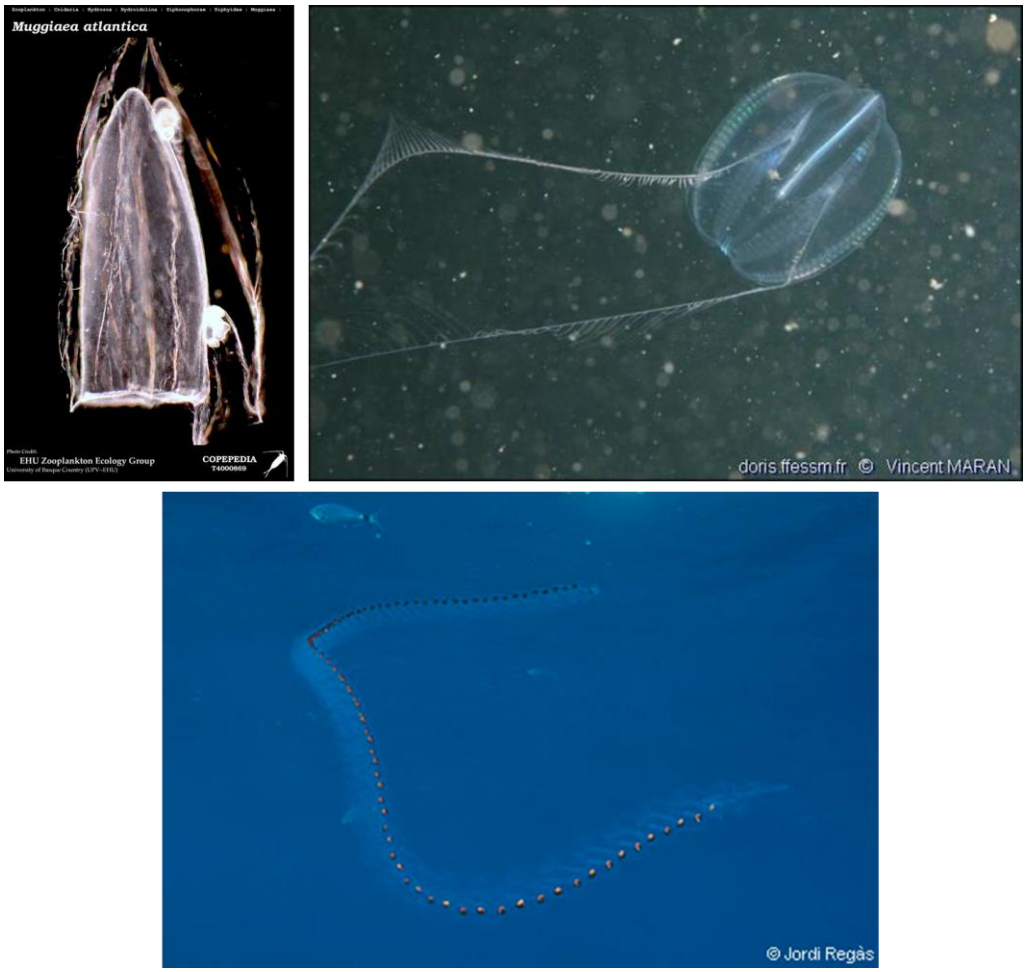


Photo 15 : Représentants des organismes gélatineux avec de gauche à droite et de haut en bas Muggiaea atlantica (Cnidaires), Pleurobrachia pileus (Cténophores) et Salpa fusiformis (Chordés) (source : COPEPEDIA, Doris & Club d'Immersio Biologica)

Plusieurs taxons d'organismes gélatineux ont été collectés sur la zone d'étude de l'AO5 pendant les deux années de suivi, soit ils ont été analysés à l'image du reste du zooplancton (par Zooscan et par microscopie pour les stations concernés), soit, en raison de leur taille ou de leur nombre trop important, ils ont été photographiés sur le terrain avant d'être remis à l'eau. Ces photos ont fait l'objet d'une identification par les experts taxonomiques réalisant les analyses Zooscan et microscopie.

- Organismes gélatineux identifiés au Zooscan et par microscope :

Zaldua-Mendizabal et al., 2021 ont caractérisé la structure de la communauté du zooplancton gélatineux dans le Golfe de Gascogne de leur campagne BIOMAN réalisé en mai 2011. Sur les 19 taxons gélatineux qu'ils ont observés, 12 ont également été compté dans les analyses au Zooscan et par microscopie.

Le tableau suivant présente l'évolution temporelle des taxons plus abondantes (par ordre), entre avril 2022 et mars 2024 dans la zone d'étude de l'AO5.

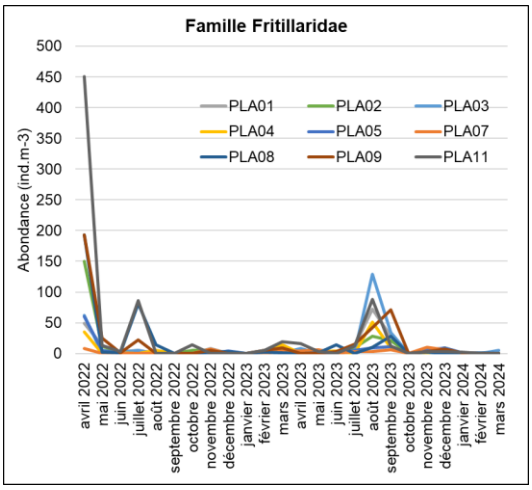
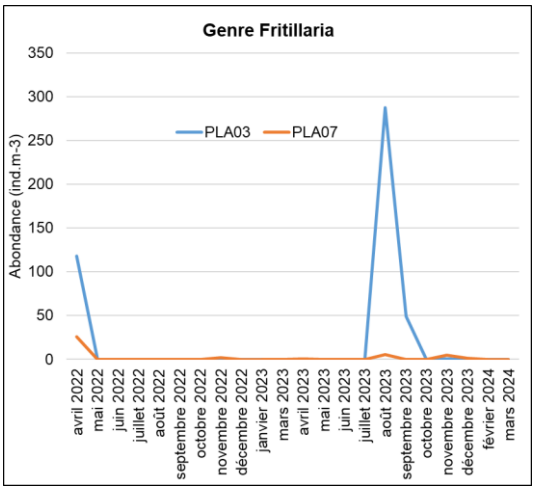
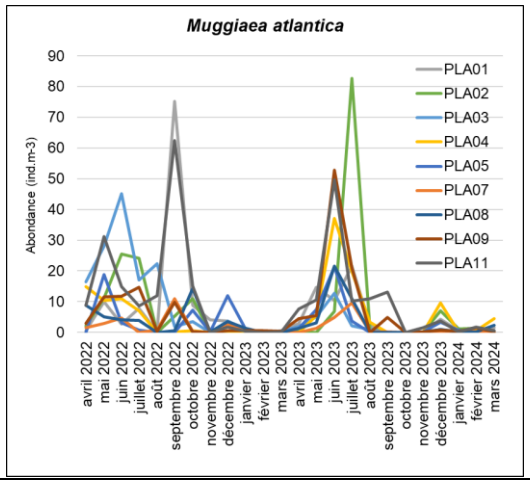
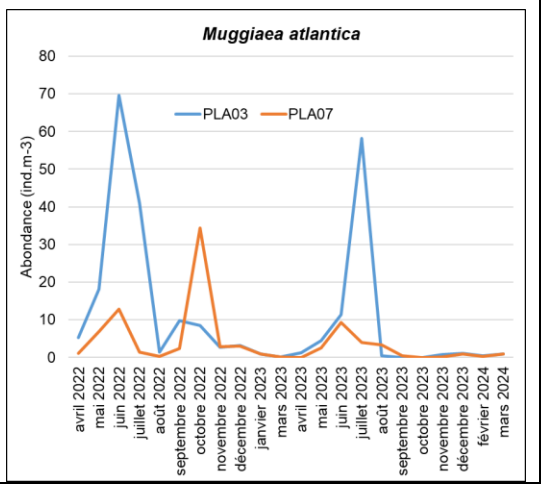
Parmi les organismes gélatineux, les plus courants étaient les appendiculaires, Fritillaridae et Oikopleuridae, avec des abondances atteignant environ 450 et 1200 ind/m³, respectivement à certaines stations et pour certains mois particuliers (avril et août/septembre, respectivement).

Les seconds organismes gélatineux les plus fréquents étaient les siphonophores de la famille Diphydae, *Muggiaea atlantica* et *M. kochii*. Ces deux espèces ont présenté des abondances supérieures à 50 et 10 ind/m³, respectivement, notamment à la fin du printemps et en été.

Certaines espèces d'hydroméduses (*Liriope tetraphylla* et *Obelia* spp.), de scyphozoaires (*Pelagia noctiluca*) et de cténophores (*Pleurobrachia pileus*) ont également montré des abondances occasionnelles élevées (> 5 ind/m³), en particulier à la fin du printemps/début de l'été, en hiver et au printemps, respectivement.

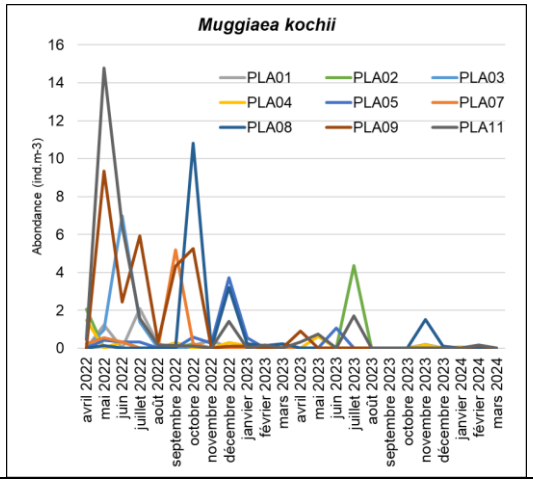
Enfin, d'autres espèces ont également présenté des abondances ponctuelles plus faibles (< 5 ind/m³), mais toujours remarquables, telles que les thaliacés Doliolida, le siphonophore *Lensia conoidea*, et les hydroméduses *Aglantha digitale* et *Leuckartiara octona*.

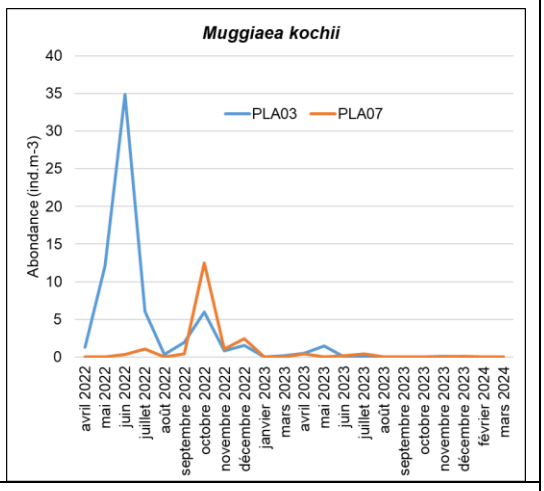
Tableau 19 : Comparaison entre les taxons de gélatineux recensés en mai 2011 dans le Golfe de Gascogne par Zaldua-Mendizabal et al., 2021 et ceux identifiés par le Zooscan et la microscopie (source : setec énergie environnement, 2024)

Taxon dans le Golfe de Gascogne par Zaldua-Mendizabal et al., 2021	Présence comptage Zooscan	Présence comptage expert microscopie
Fritillaria pellucida © IMOS Integrated Marine Observing System		
Muggiaea atlantica Illustration ci-dessus		

Muggiaea kochii

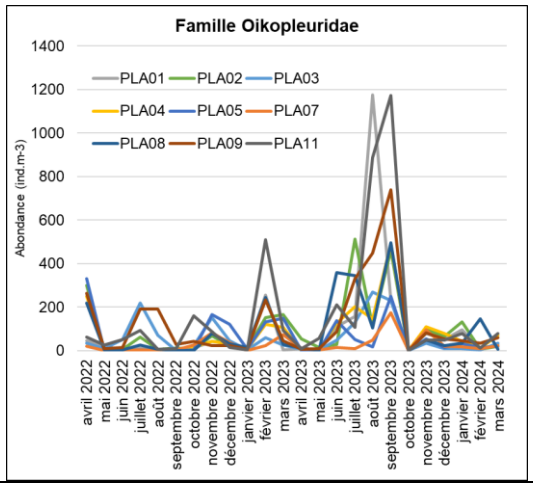
© Flora & Fauna del Mediterraneo

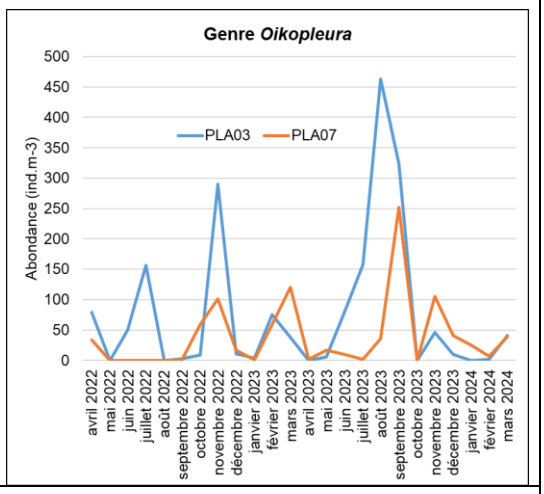




Oikopleura spp.

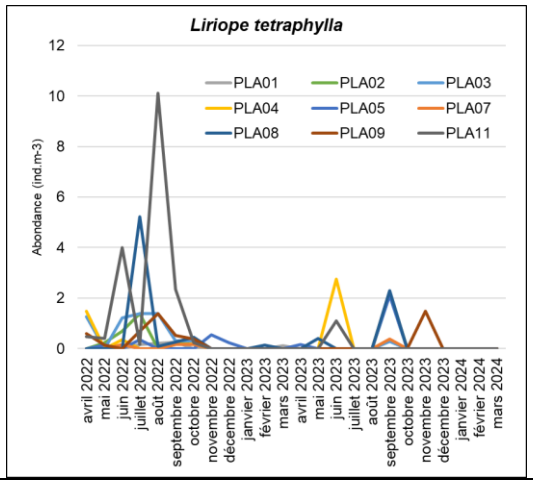
© Doris

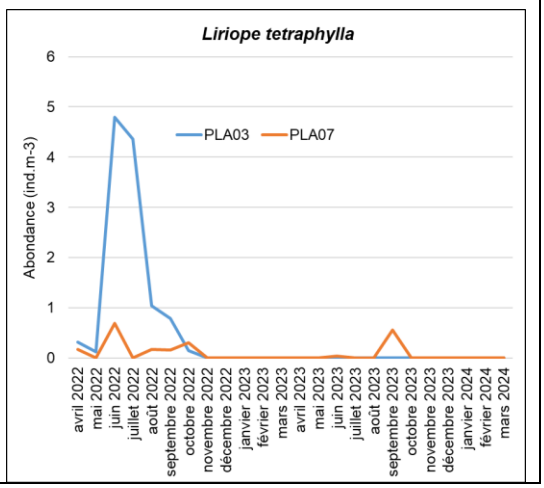


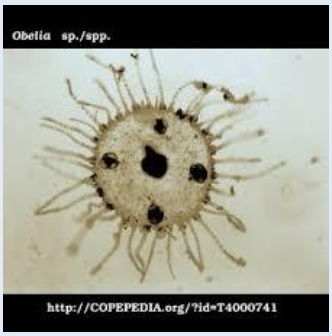
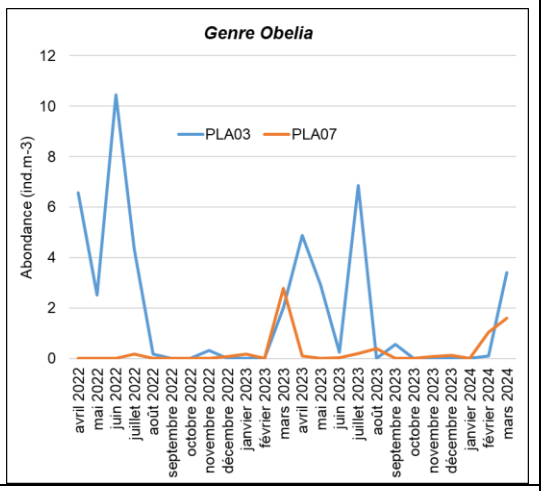
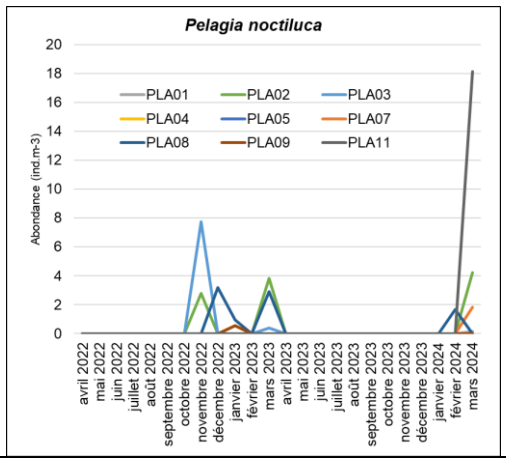
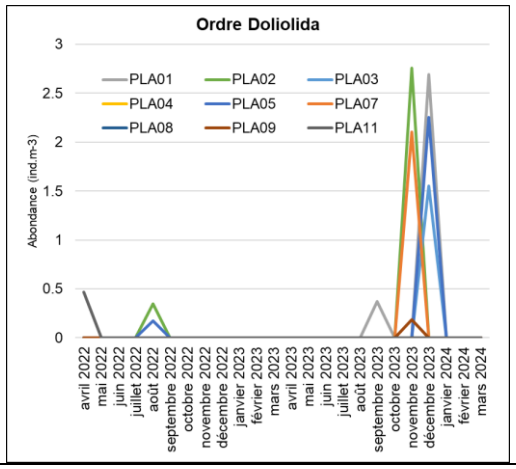
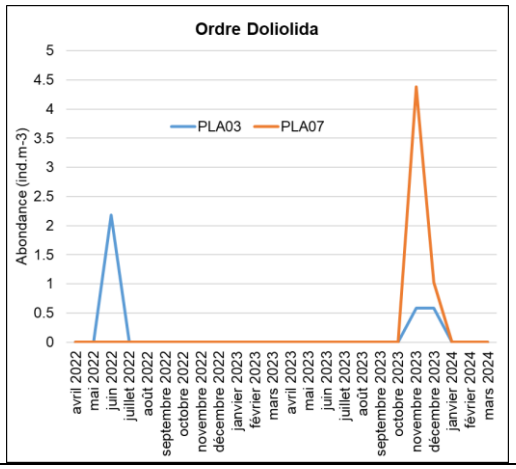


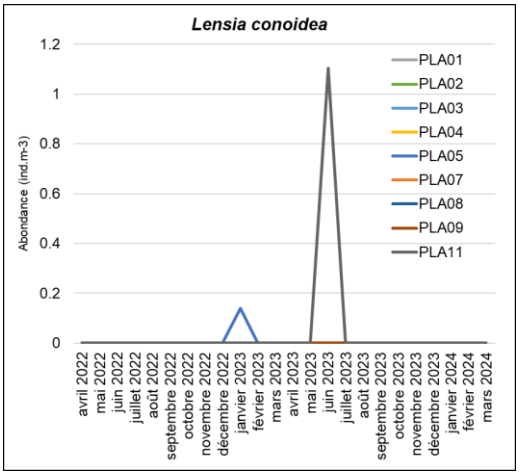
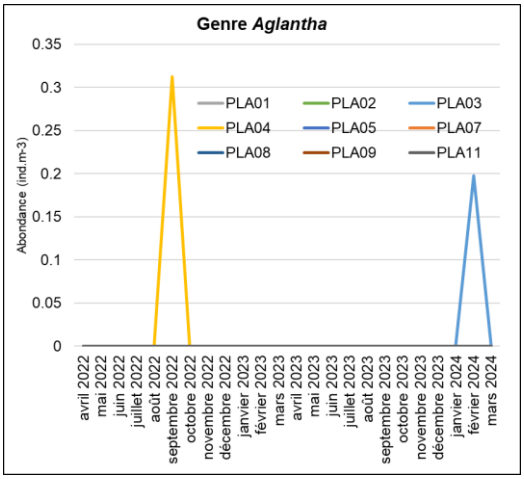
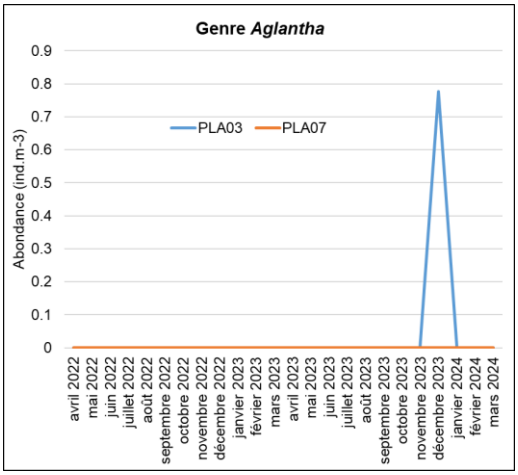
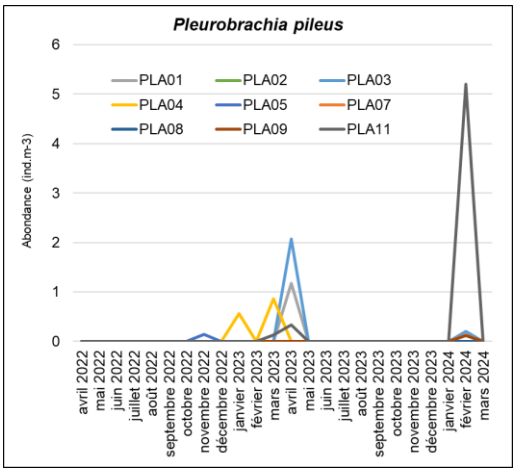
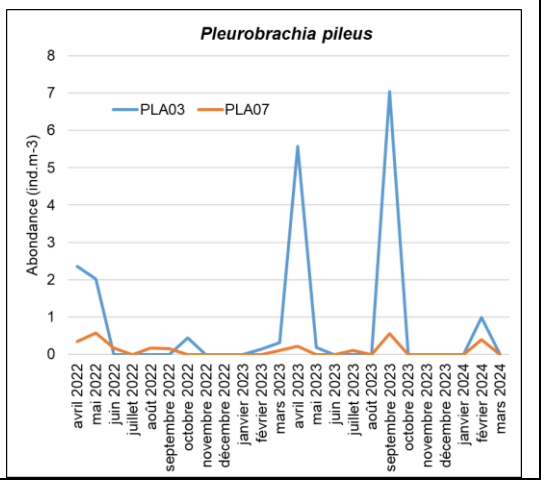
Liriope tetraphylla

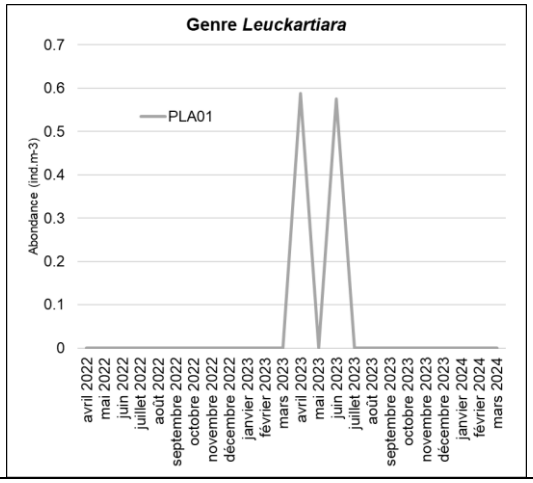
© WoRMS





Obelia spp.  © COPEPEDIA	Absent des comptages par Zooscan	
Pelagia noctiluca © Doris	 	Absent des comptages par microscopie
Doliolida © COPEPEDIA	 	

Lensia conoidea © Denis Riek		Absent des comptages par microscopie
Aglantha digitale © Alexander SEMENOV		
Pleurobrachia pileus Cf ci-dessus		

Leuckartiara octona © WoRMS	 	Absent des comptages par microscopie

Plusieurs individus appartenant aux espèces *Pelagia noctiluca* et *Pleurobrachia pileus* ont été identifiés par Zooscan et microscopie, principalement pendant les mois d'automne et hiver de la période d'étude. Cependant, certains individus appartenant à ces espèces étaient très nombreux ou bien trop volumineux pour être collecter dans les flacons de prélèvements et ont donc été remis à l'eau après photographie, comme cette pélagie à la station PLA08 en novembre 2023 :

Photo 16 : Photographie d'une Pelagie (Pelagia noctiluca) collectée à la station PLA08 en novembre 2023 puis remis à l'eau après photographie (source : setec énergie environnement, 2023)

- Organismes gélatineux pris en photo sur le terrain puis remis à l'eau :

Afin de prendre en compte les observations des taxons gélatineux remis à l'eau, une analyse semi-quantitative a pu être réalisé en utilisant un système de classe a été utilisé (Tableau 20). 4 classes ont été identifiées pour différencier les gros gélatineux qui peuvent être dénombrés sur les photos (classe 1), les gélatineux plus petits, moins facilement dénombrables, qui peuvent représenter un volume élevé dans le filet (classe 2), un volume moyen (classe 3) ou un petit volume (classe 4). Le Tableau 20 présente également les taxons concernés par les différentes classes.

Tableau 20 : Classes utilisées pour l'analyse semi-quantitative des taxons gélatineux photographiés et remis à l'eau pendant les campagnes en mer (source : setec énergie environnement, 2024)

Classe utilisée pour l'analyse semi-quantitative	Description	Taxons concernés

des organismes gélatineux remis à l'eau		
1	Gros gélatineux dénombrable	*Aequorea sp, Pelagia noctiluca* et/ou *Beroe sp*
2	Représentant un volume élevé dans le filet	Salpes
3	Représentant un volume moyen dans le filet	Salpes (dont *Salpa fusiformis*) et/ou *Pleurobrachia* (dont *Pleurobrachia pileus*)
4	Représentant un petit volume dans le filet	Salpes (dont *Salpa fusiformis*) et/ou *Pleurobrachia* (dont *Pleurobrachia pileus*)

La figure suivante montre les résultats de l'analyse semi-quantitative par classe. Des gros gélatineux dénombrables ont pu été observés de juillet à septembre 2022 ainsi qu'en novembre 2023, notamment *Aequorea sp, Beroe sp* ou *Pelagia noctiluca*. Un volume estimé élevé de taxons gélatineux, probablement des Salpes (embranchement des Chordés) a été observé en octobre 2022. Certaines Salpes, comme l'illustre la dernière photo de la Photo 15, peuvent former au stade adulte de très grandes colonies et il peut arriver que les engins de prélèvements cassent cette colonie. Alors, les parties retrouvées dans le filet sont difficilement attribuables à un ou plusieurs individus. De juin à octobre 2022 et en juin 2023, plusieurs organismes gélatineux formant un volume moyen dans le filet ont été observés. Enfin, plusieurs organismes gélatineux formant un petit volume dans le filet ont été observés en avril 2022 et 2023, d'août à octobre 2022 ainsi qu'en juillet 2023.

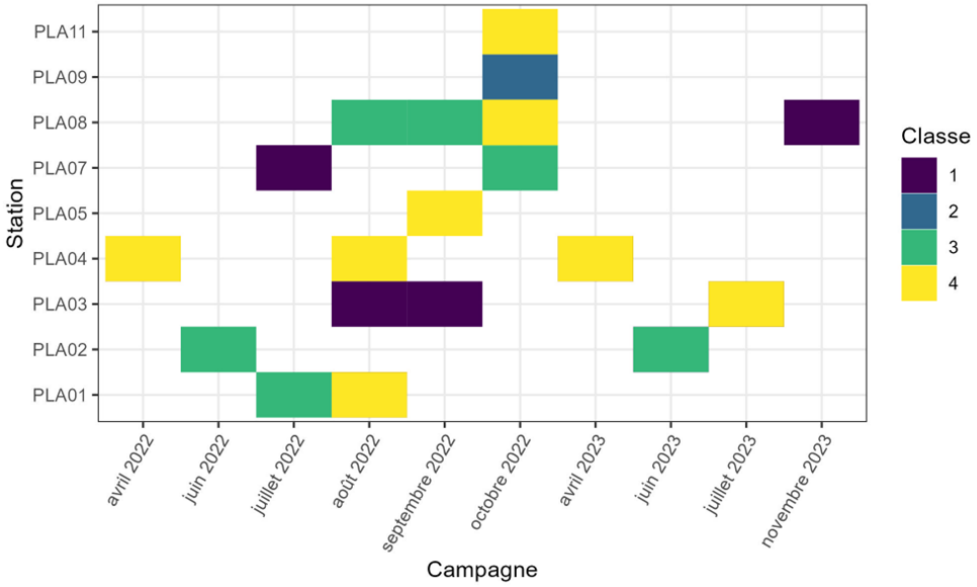


Figure 56 : Classes présentes sur les photographies prises des organismes gélatineux retirés pendant les campagnes en mer entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

3.3.4 Structure de la communauté zooplanctonique

Les analyses de regroupement permettent de mettre en évidence les regroupements naturels des échantillons et de visualiser la structure de la communauté à l'aide d'un dendrogramme. Cela facilite d'identifier le principal facteur influençant la structure de la communauté (mois, saison, année, zone ou autre), sans hypothèses préalables. La Figure 57 montre le nombre optimal de groupes selon la méthode du coude et selon les indices multiples, que indique que le nombre optimal de groupes est de 2.

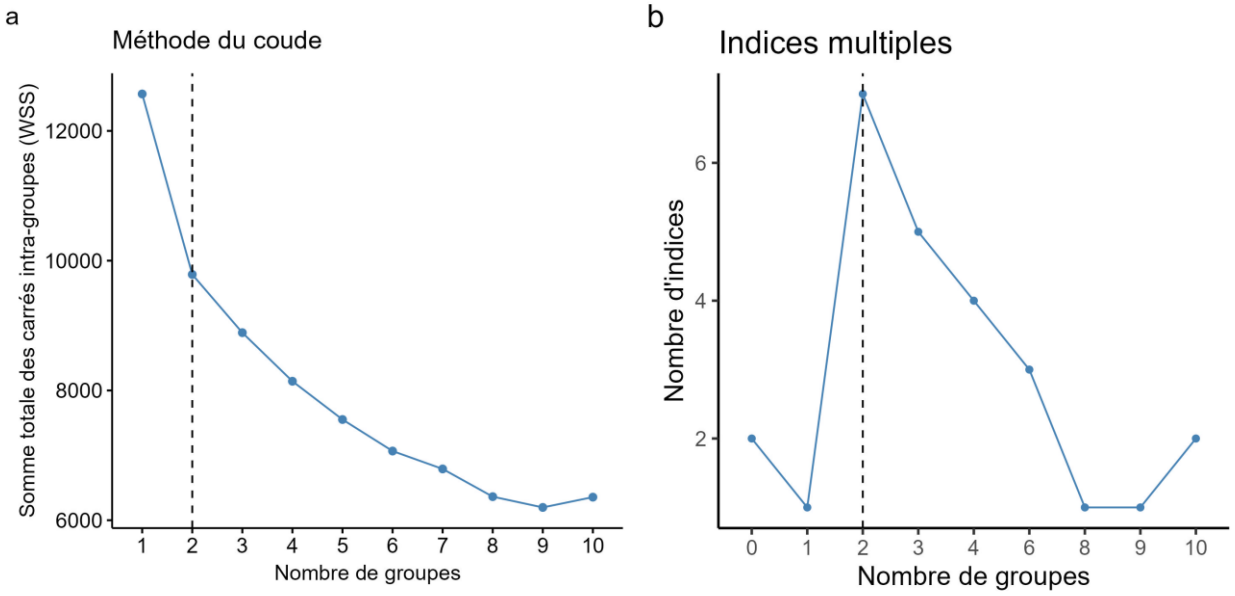


Figure 57 : Nombre optimal de groupes à partir de l'analyse CAH selon a) la méthode du coude et b) la méthode de la silhouette (source : setec énergie environnement, 2024).

La Figure 58 montre les résultats de la classification hiérarchique à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance de chaque station et chaque campagne entre avril 2022 et mars 2024.

Deux groupes principaux peuvent être observés avec une différence plus marquée dans leur structure de communauté : un groupe en vert, comprenant les échantillons du printemps, de l'été et de l'automne 2022 et 2023 (de mars à octobre), plus mars 2024 (désigné ci-après comme « groupe été ») et un groupe en bleu, regroupant les échantillons collectés pendant l'hiver 2022/2023 et 2023/2024 (de novembre 2022 à février 2023 et de novembre 2023 à février 2024). Cependant, il y eu quelques exceptions au sein de chaque groupe.

Deux groupes sont donc identifiés :

- En vert (Groupe 1) : groupe "été", composé d'échantillons d'avril à octobre 2022, de mars à septembre 2023 et mars 2024, ainsi que les stations les plus proches de la côte, PLA09 et PLA11, en février 2024.
- En bleu (Groupe 2) : groupe "hiver", composé de tous les échantillons de novembre 2022 à février 2023 et de novembre 2023 à février 2024, ainsi que les échantillons de PLA04, PLA05, PLA07 et PLA08 de juin 2022, de la station PLA01 de mars 2023 et de la station PLA07 de juin 2023.

Le groupe 1 était composé de plus d'échantillons que le groupe 2 (131 et 76, respectivement), et ses échantillons avaient une abondance moyenne presque cinq fois plus élevée que celle du groupe 2 (2494 ± 194 et 513 ± 41 ind/m^3, respectivement).

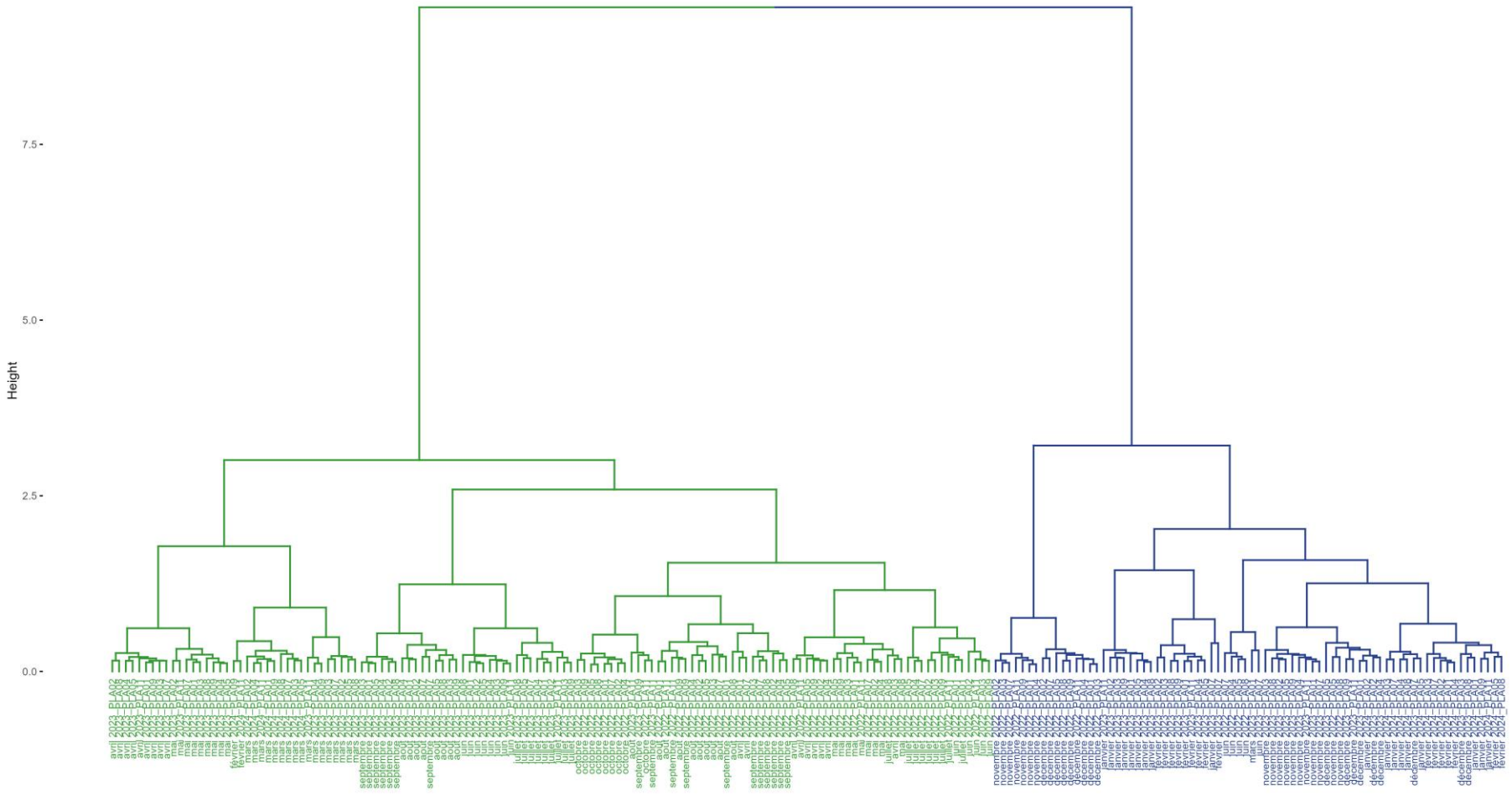


Figure 58 : Classification hiérarchique ascendante à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance du zooplancton de chaque station et chaque campagne entre avril 2022 et mars 2024 (source : setec énergie environnement, 2024)

L'utilisation d'une analyse NMDS permet de compléter l'information apportée par la classification hiérarchique. Cette analyse permet de représenter la matrice de similarité sur 2 axes et de visualiser la répartition des points en fonction de leur identification (groupe CHA, zone, mois et année) (Figure 59). Plus le chevauchement entre les ellipses est faible, plus la différence entre les groupes est importante.

L'ordination montre une **séparation nette des deux CHA groupes**, avec un **faible niveau de chevauchement entre les ellipses**, indiquant une **forte dissimilarité de la structure de la communauté entre les échantillons « hiver » et « été ».** La **zone de chevauchement** entre les deux ellipses montre que les échantillons ayant une structure de communauté plus proche entre les deux groupes sont **ceux collectés pendant les mois de transition, tels qu'octobre, novembre, février et mars .**

L'ordination met aussi en évidence une différence potentielle entre les années 1 et 2 de l'étude, principalement exprimée par le NMDS2, alors **que les différences entre les zones sont négligeables**. En effet, les ellipses des deux zones se chevauchent presque parfaitement (b). Cela indique que les **différences dans la structure de la communauté** sont **plus marquées dans le temps** (entre les saisons/mois) **que dans l'espace** (entre les zones).

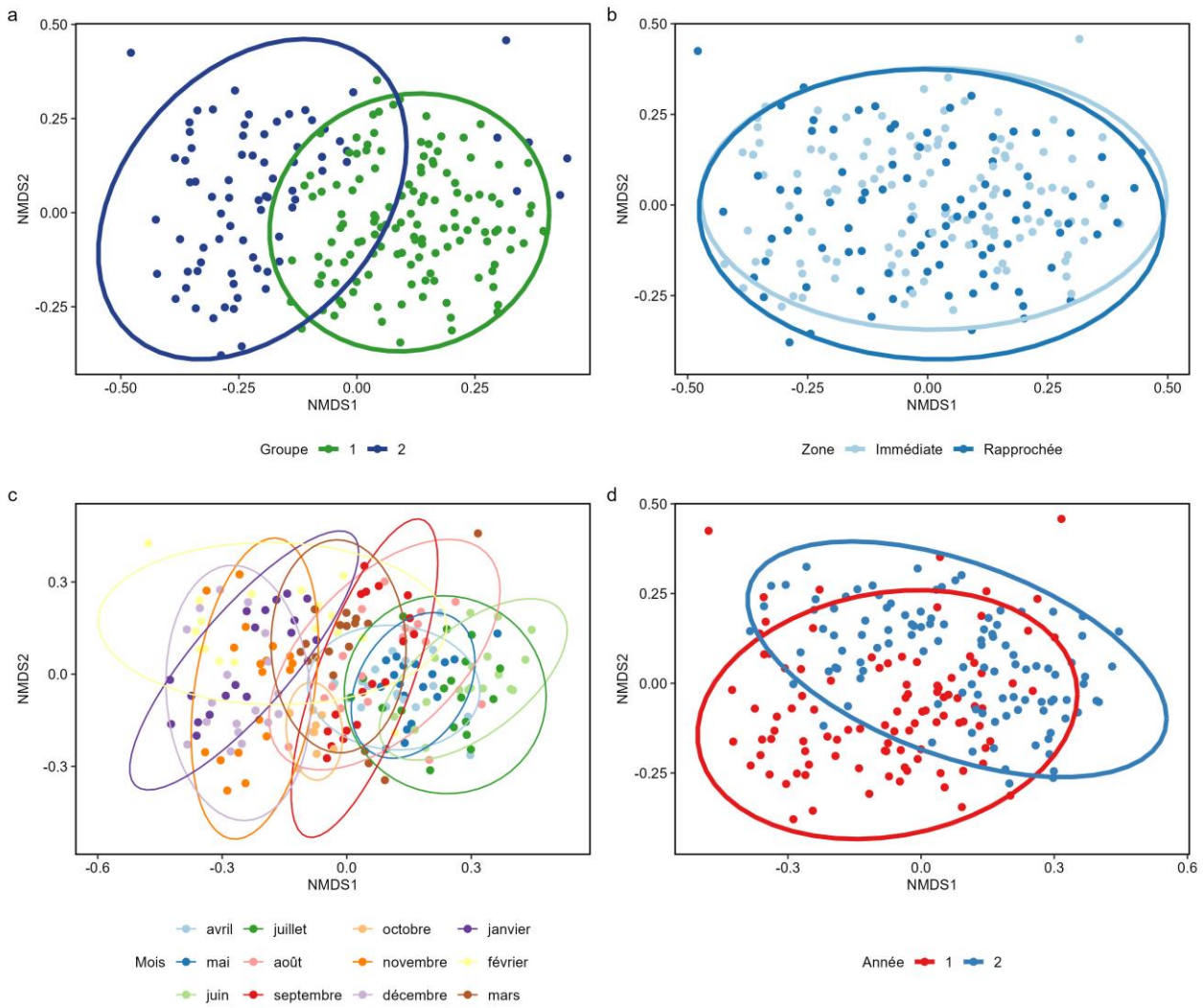


Figure 59 : NMDS à partir de la matrice de similarité réalisée avec les données d'abondance du zooplancton de chaque station entre avril 2022 et mars 2024. Les ellipses représentent les échantillons appartenant au même a) CAH groupe, b) zone, c) mois et d) année (source : setec énergie environnement, 2024)

Pour vérifier statistiquement ces différences, plusieurs analyses PERMANOVA ont été réalisées, testant les différences de la structure de la communauté entre les CAH groupes, les mois, les années (année 1 et année

2) les zones et les stations en tant qu'effets individuels. Les résultats sont résumés dans le , qui montre que les différences entre les groupes CAH, les mois et les années sont significatives (*p* values < 0,05). Le mois et le groupe expliquent respectivement 45 % et 23 % de la variabilité des données (R^2 dans le), tandis que l'année, bien que significative, n'explique que 5 % de la variabilité. L'effet individuel de la station n'était cependant pas significatif (*p* value = 0,216), confirmant l'effet plus important du temps sur la structure de la communauté par rapport à l'espace.

Sachant que les échantillons appartenaient à différents clusters, une analyse PERMANOVA supplémentaire a été réalisée pour tester si l'effet de la zone et de l'interaction entre les effets du mois et de la station au sein de chaque groupe [Cluster] sont significatives. Les résultats ont révélé que l'effet de la zone et de l'interaction n'étaient pas significatives, suggérant que la **structure de la communauté reste constante dans l'espace mais change significativement au fil du temps**.

Tableau 21 : Résultats des analyses PERMANOVA pour tester les différences de structure de la communauté entre les groupes, les mois, les années (année 1 et année 2) et les stations en tant qu'effets individuels (source : setec énergie environnement, 2024)

Variable testée	Degré de liberté	Somme des carrés	R^2	Statistique F	p-value
Groupe CAH	1	3.62	0.23	61.28	0.001
Mois	11	6.70	0.45	14.22	0.001
Année	1	0.75	0.05	10.34	0.001
Zone	1	0.04	0.002	0.48	0.904
Station	8	0.69	0.04	1.14	0.216
Zone [Groupe]	1	0.04	0.002	0.48	0.826
Station:Mois [Groupe]	88	2.44	0.16	0.49	1

L'analyse des espèces indicatrices permet de déterminer les préférences écologiques des espèces au sein des groupes. Le présente les résultats des espèces ayant une préférence élevée pour chaque groupe, c'est-à-dire celles qui sont plus communes dans un groupe et plus rares ou absentes dans l'autre.

Un plus grand nombre de taxons ont montré une **préférence élevée** (>40%) pour le **groupe « été »** (Groupe 1 avec 22 taxons) **par rapport au groupe « hiver »** (Groupe 2 avec 3 taxons). Les taxons ayant une **forte affinité pour les conditions estivales** et évitant les **conditions hivernales** étaient la famille de Copépodes des **Metridinidés** (« Metridinidae »), des genres de Copépodes ***Acartia*** et ***Calanus***, avec plus de 70% d'affinité. En revanche, l'embranchement des **Bivalves** (« Bivalvia »), la famille d'Appendiculaires des **Oikopleuridés** (« Oikopleuridae ») et de Copépodes des **Peltidiidae** (« Peltidiidae ») ont révélé des valeurs d'affinité plus élevées avec les conditions hivernales (50,4%, 50,3% et 45,0%, respectivement).

Photo 17 : Représentants de la famille de Copépodes des Metridinidés, du genre Acartia, des familles d'Appendiculaires des Oikopleuridés et de Copépodes des Peltidiidés (source : Artic Ocean Biodiversity & COPEPEDIA)

Tableau 22 : Résultats de l'analyse des espèces indicatrices sur les taxons du zooplancton (source : setec énergie environnement, 2024)

Taxon	Cluster CAH	Valeur IndVal	*p value*
Metridinidae	**1**	79.3%	0.001
Acartia	**1**	77.8%	0.001
Calanus	**1**	71.7%	0.001
Nauplii de Copépodes	**1**	67.7%	0.001
Candacia	**1**	66.9%	0.001
Hyperiidae	**1**	65.9%	0.001
Centropages	**1**	65.7%	0.001
Brachyura	**1**	63.9%	0.001
Evadne	**1**	62.3%	0.001
Temora	**1**	62.1%	0.001
Limacinidae	**1**	61.2%	0.001
Euchaetidae	**1**	60.2%	0.001
Muggiaea	**1**	59.3%	0.001
Oithona	**1**	59.0%	0.001
Euphausiacea	**1**	58.6%	0.001

Caridea	1	53.9%	0.001
Chaetognatha	1	53.9%	0.07
Oncaeidae	1	51.9%	0.072
Polychaeta	1	50.7%	0.005
Corycaeidae	1	44.6%	0.5
Gammaridae	1	42.2%	0.001
Fritillariidae	1	41.6%	0.023
Bivalvia	2	50.4%	0.014
Oikopleuridae	2	50.3%	0.319
Peltidiidae	2	45.0%	0.001

Les résultats de l'analyse SIMPER permettent d'identifier les taxons qui contribuent le plus aux différences dans la structure de la communauté entre les groupes « été » et « hiver ». Bien que significativement différents, la **similarité globale entre les deux groupes reste élevée** (43,5 %). Le présente les taxons les plus importants qui contribuent ensemble à 50 % de la dissimilarité entre les groupes. Les genres ***Acartia, Calanus, Evadne*** et ***Temora*** sont ceux qui présentent une contribution moyenne plus élevée à la dissimilarité (> 2,0 %), avec une contribution cumulative de 20 % à la dissimilarité. Tous les taxons ayant contribué à 50 % de la dissimilarité entre les groupes présentent des abondances moyennes plus élevées dans le groupe 1, **à l'exception de Bivalvia, qui présente une abondance moyenne plus élevée dans le groupe 2.**

Tableau 23 : Résultats de l'analyse SIMPER sur les taxons du zooplancton les plus importants qui contribuent ensemble à 50 % de la dissimilarité entre les groupes (source : setec énergie environnement, 2024)

Taxon	Contribution moyenne du taxon à la dissimilarité entre les groupes (±écart-type)	Abondance moyenne en $log_{10}(x+1)$ du taxon dans le groupe 1	Abondance moyenne en $log_{10}(x+1)$ du taxon dans le groupe 2	Contribution cumulative du taxon et de tous les taxons précédents dans la liste	*p value*
Acartia	2.5 ± 1.3	4.2	1.2	6%	0.001
Calanus	2.3 ± 1.2	4.3	1.7	11%	0.001
Evadne	2.1 ± 1.6	2.8	0.5	16%	0.001
Temora	2.0 ± 1.4	3.6	1.9	20%	0.001
Centropages	1.9 ± 1.3	4.1	2.1	25%	0.001
Nauplii de Copepodes	1.8 ± 1.2	3.7	1.7	29%	0.001
Limacinidae	1.6 ± 1.2	3.9	2.3	33%	0.001
Oithona	1.6 ± 1.0	6.1	4.2	36%	0.001
Oikopleuridae	1.5 ± 1.1	3.4	3.4	40%	0.08
Euchaetidae	1.5 ± 1.1	4.4	2.9	43%	0.001
Metridinidae	1.4 ± 0.9	2.1	0.5	47%	0.001
Oncaeidae	1.4 ± 1.1	4.5	4.0	50%	0.006
Bivalvia	1.3 ± 1.0	2.1	2.3	53%	0.014

3.3.5 Effet des conditions environnementales

L'effet des conditions environnementales sur l'ensemble de la communauté zooplanctonique (à l'exception des taxons de haut niveau taxonomique et des taxons très rares, comme pour les analyses multivariées) a été testé par une analyse de redondance (RDA). Cinq variables environnementales ont été incluses dans l'analyse (**Température, Salinité, Chlorophylle *a*, Turbidité et Concentration en oxygène dissous O_2**), mesurées simultanément et aux mêmes stations que le prélèvement de zooplancton (voir ci-dessus). La variabilité temporelle des variables environnementales est montrée dans la Figure 8 et décrite précédemment dans la section 3.1.

Pour la RDA, les valeurs manquantes ne sont pas autorisées. Par conséquent, les valeurs manquantes pour certaines stations (la turbidité n'étant disponible que pour les stations PLA04 et PLA07 en janvier et mars 2023) ont été remplacées par les valeurs moyennes des stations disponibles du même mois ou, lorsque les données n'étaient disponibles pour aucune des stations (août 2022 et février 2023 pour la turbidité et septembre 2022 pour la chlorophylle *a*), la valeur médiane entre la moyenne du paramètre pour les mois précédents et suivant a été utilisée.

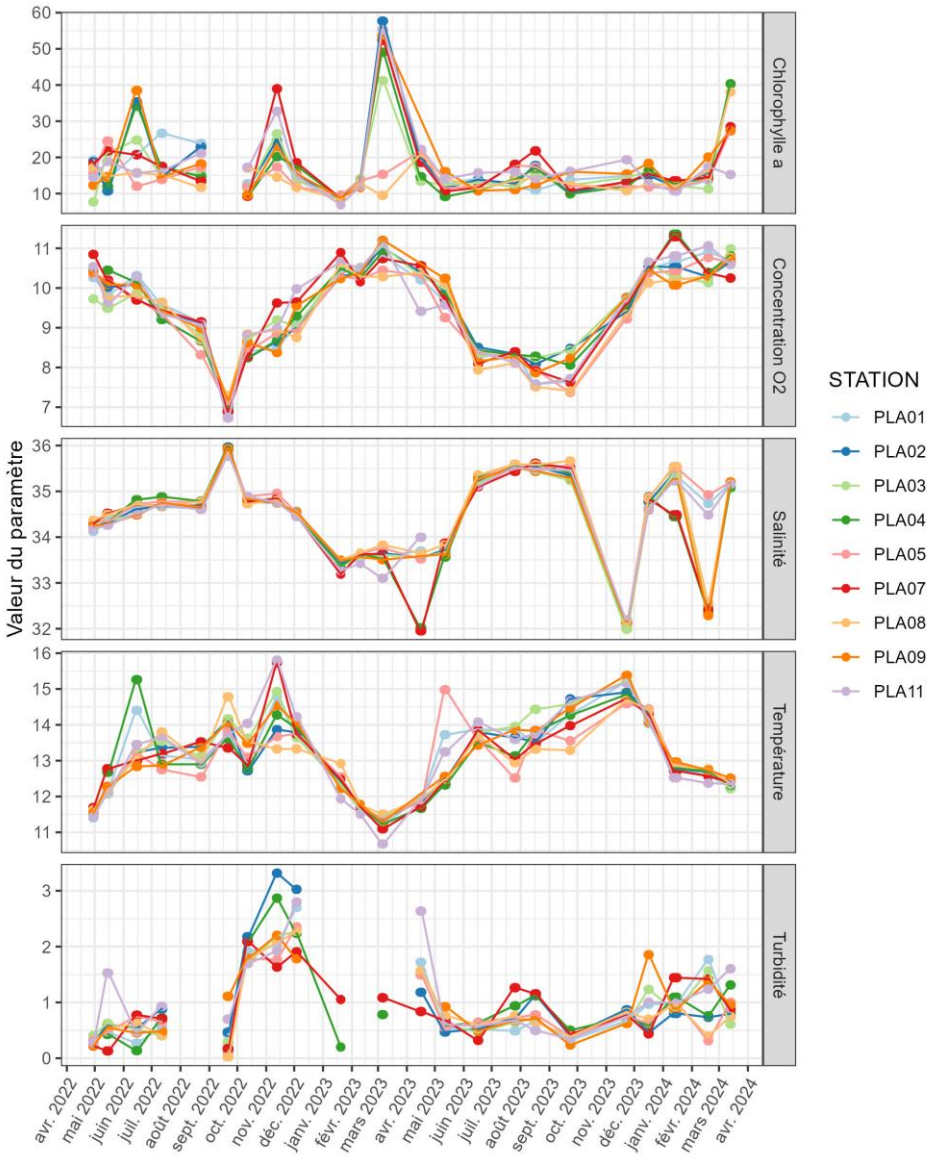


Figure 60 : Paramètres environnementaux utilisés pour l'analyse de redondance – RDA (source : setec énergie environnement, 2024)

L'analyse RDA a montré que le modèle global est significatif (F = 8,69, *p value* = 0,001), ce qui indique que les variables environnementales considérées dans cette étude ont affecté significativement la structure de la communauté zooplanctonique. Le modèle global a expliqué 16,9 % (R^2 ajusté) de la variation totale des données (Figure 61). Ce faible pourcentage de variabilité expliquée par le modèle est néanmoins attendu. Les données écologiques sont généralement très bruitées, et, en particulier pour les données de plancton, avec une dynamique des populations reconnue pour être très stochastique, il est rare d'obtenir des valeurs élevées de R^2 ajusté (Borcard et al., 2018). L'un des principaux objectifs de l'analyse RDA est d'extraire les tendances les plus évidents des données multivariées et de les représenter dans un espace réduit à quelques axes. Selon le modèle RDA, la variabilité expliquée peut être significativement représentée dans les quatre premiers axes (RDA1 à RDA4, Tableau 24), bien que les deux premiers axes soient ceux qui représentent les tendances les plus évidents. Les deux premiers axes (RDA1 et RDA2) représentent significativement 68,8 % de la variabilité expliquée par les variables environnementales (soit 11,6 % de la variabilité totale). Cela souligne que cette analyse identifie efficacement les principales variables environnementales et les taxons qui contribuent aux changements observés dans la structure de la communauté, mais que la majeure partie de la variabilité est cachée dans la complexité et le bruit des données multivariées (multiples taxons, dates, sites et variables environnementales) et reste toutefois inexpliquée.

Tableau 24 : Résultats de l'analyse RDA (source : setec énergie environnement, 2024)

Test axes RDA	Degré de liberté	Variance	Statistique F	*p value*
RDA1	1	0.020	16.801	0.001
RDA2	1	0.016	13.104	0.001
RDA3	1	0.010	8.228	0.001
RDA4	1	0.004	3.767	0.003
RDA5	1	0.002	1.541	0.121
Test paramètres	Degré de liberté	Variance	Statistique F	*p value*
Température	1	0.012	10.055	0.001
Salinité	1	0.011	8.985	0.001
Concentration en oxygène dissous	1	0.010	8.636	0.001
Turbidité	1	0.015	12.839	0.001
Chlorophylle *a*	1	0.003	2.926	0.004

Toutes les variables environnementales ont été conservées dans le modèle et ont eu un effet significatif sur la structure de la communauté zooplanctonique au fil du temps (*p value* < 0,01, Tableau 24). Cela indique que toutes les variables environnementales étaient importantes, mais l'analyse visuelle de la dispersion des échantillons (les points, identifiés par groupe CAH), des variables environnementales et des taxons dans le graphique bidimensionnel de RDA1 et RDA2 (Figure 61), peut mettre en évidence quelles variables et quels taxons sont les plus importants pour expliquer les principales tendances des données. Comme dans l'analyse NMDS, la dispersion des points dans les deux dimensions représente leur similarité plus ou moins élevée entre eux. Il est possible de percevoir que les échantillons du groupe été (groupe 1 en vert sur la Figure 61) sont plus concentrés dans la partie la plus négative de l'axe RDA1 et la partie positive de l'axe RDA2, tandis que le groupe hiver (groupe 2 en bleu) est plus concentrés dans la partie positive de l'axe RDA1 et la partie négative de l'axe RDA2. Les échantillons situés à ces extrêmes sont ceux qui contribuent le plus aux différences observées entre les groupes.

Les **échantillons les plus extrêmes** du groupe **été** (partie supérieure gauche de la Figure 61 en vert) semblent être caractérisés par des **niveaux plus élevés de salinité** (flèche dans la même direction) et des

niveaux plus faibles de concentration en O_2 et de turbidité (flèches dans la direction opposée). Le genre du sous-ordre des Cladocères ***Evadne*** et le genre de Copépodes ***Calanus*** (dans la même direction des flèches) sont **plus abondants dans ces échantillons**, suggérant leur affinité avec ces conditions et une forte corrélation positive avec les valeurs de salinité (petit angle entre les flèches des taxons et de la salinité). La même interprétation peut être faite pour les échantillons du groupe hiver (groupe 2 en bleu). Ces échantillons situés sur la partie droite du graphique semblent être caractérisés par des **niveaux plus élevés de turbidité**, avec des abondances plus élevées de la famille de Copépodes **Oncaeidae** (positivement corrélés avec les niveaux de turbidité), du genre de Cladocères ***Penilia*** et de l'embranchement des Chaetognathes (« Chaetognatha »), et des abondances plus faibles du genre de Copépodes ***Oithona*** qui semble éviter les conditions de haute turbidité. ***Acartia sp.*** semble préférer les conditions avec des niveaux élevés de chlorophylle a et des températures basses.

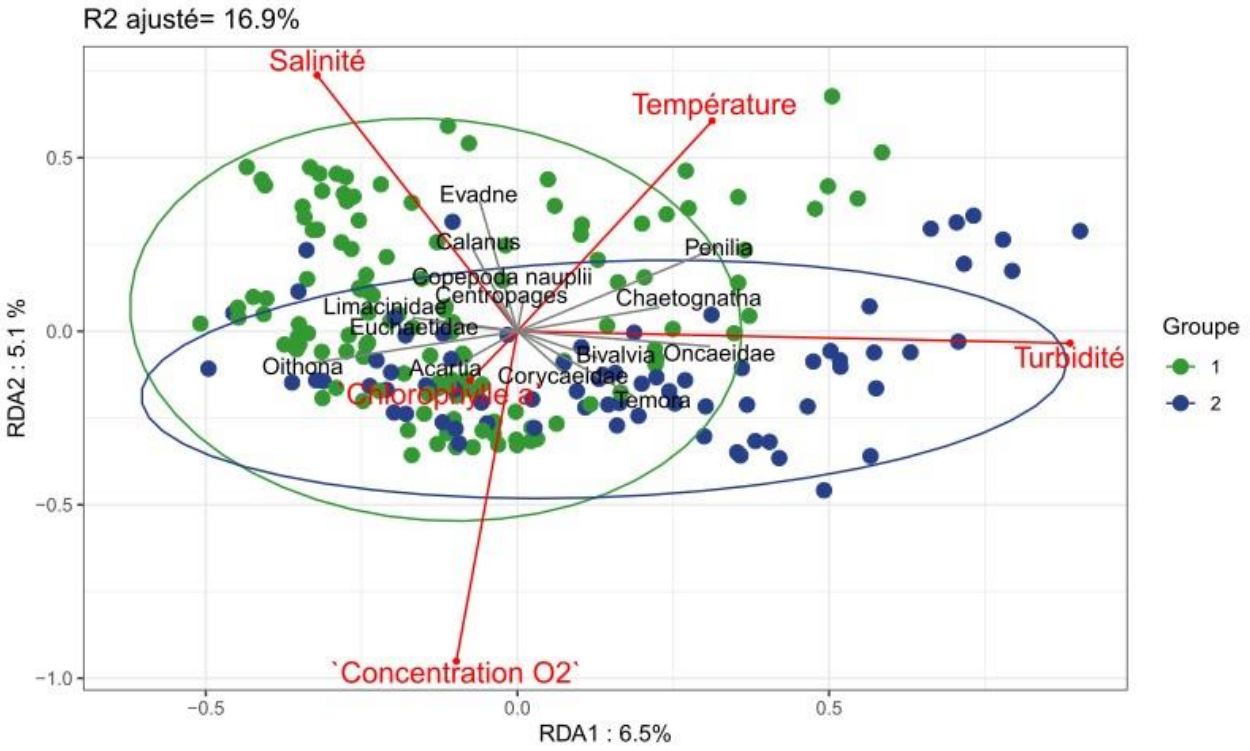


Figure 61 : Analyse de redondance – RDA. Les points représentent les échantillons identifiés par groupe CAH. Pour une meilleure visualisation, seules les espèces dont les scores RDA1 et RDA2 sont supérieurs à 0,1 ou inférieurs à -0,1 sont représentées. (source : setec énergie environnement, 2024)

Ainsi, l'angle entre les flèches (des variables environnementales et des taxons) et les axes RDA, ainsi que leurs scores associés (c'est-à-dire les coordonnées), fournissent des informations sur l'importance des variables pour expliquer les principales tendances des données. Plus l'angle est réduit et plus les scores absolus pour chaque axe sont élevés, plus la variable est importante. Cela est mieux illustré dans la Figure 62 et la Figure 63.

L'angle entre la turbidité et l'axe horizontal RDA1 est très faible (Figure 61) et les scores RDA1 de la turbidité sont très élevés (0,89, Figure 62), ce qui signifie que la turbidité est bien représentée par l'axe RDA1. Étant donné que l'axe RDA1 représente le pourcentage le plus élevé de la variabilité totale dans les données, il peut être conclu que la turbidité est la principale variable environnementale responsable des différences dans la structure de la communauté entre le groupe 1 et le groupe 2. La même interprétation peut être faite pour les taxons, ce qui montre que les abondances élevées des Oncaeidae et les faibles abondances d'*Oithona* dans le groupe 1 (et inversement pour le groupe 2) ont fortement contribué aux différences observées dans la structure de la communauté.

La même interprétation peut être appliquée à l'axe RDA2, qui identifie que des niveaux plus élevés de concentration en O_2 et des niveaux plus faibles de salinité en hiver sont les conditions environnementales

préférées de taxons tels que les Cladocères *Evadne* et *Penilia*, qui contribuent le plus aux différences entre les groupes.

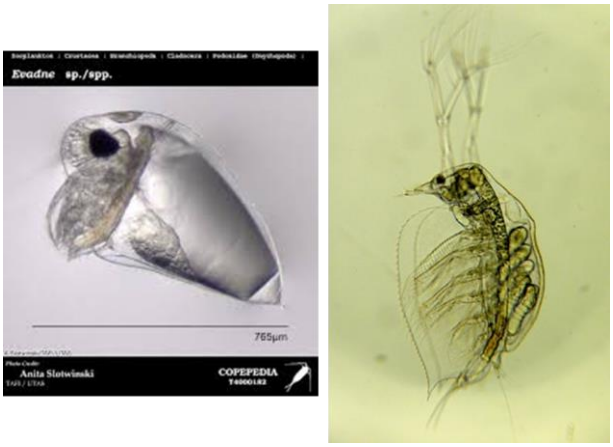


Photo 18 : Evadne sp. et Penilia avirostris (source : COPEPEDIA & PlanktonNET)

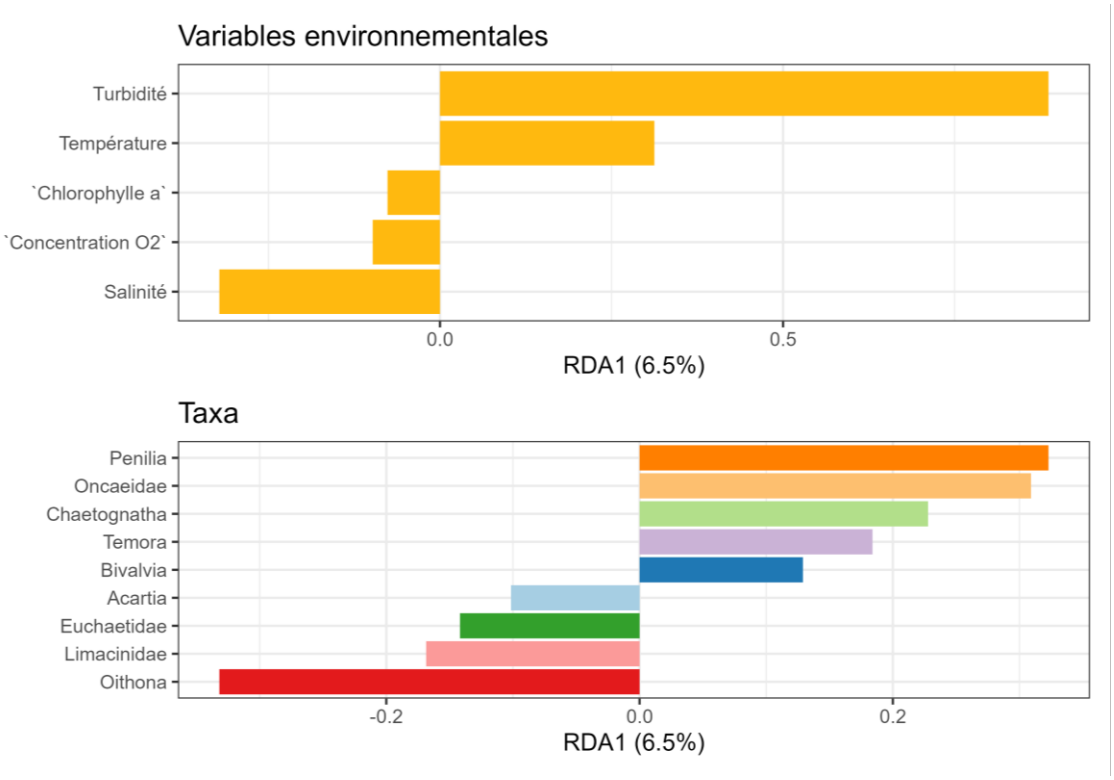


Figure 62 : Variabilité temporelle des scores du RDA1 pour les variables environnementales (en haut) et les taxons qui contribuent le plus aux principaux changements de la structure de communauté (en bas). Seul le taxon avec le score RDA1 le plus positif et le plus négatif est présenté (source : setec énergie environnement, 2024)

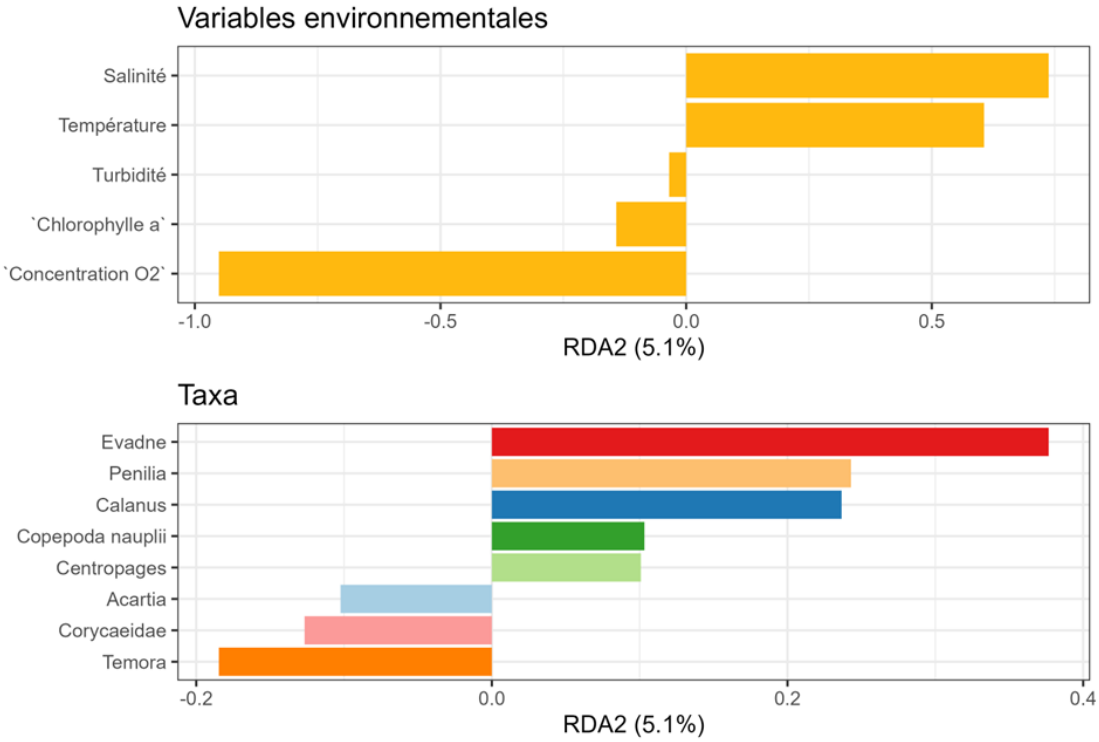


Figure 63 : Variabilité temporelle des scores du RDA2 pour les variables environnementales (en haut) et les taxons qui contribuent le plus aux principaux changements de la structure de communauté (en bas). Seul le taxon avec le score RDA2 le plus positif et le plus négatif est présenté (source : setec énergie environnement, 2024)

4. DISCUSSION ET LIEN ENTRE LES COMPARTIMENTS

L'étude des variables environnementales sur la période Avril 2022 - Mars 2024 a permis de mettre en évidence une **dynamique saisonnière dans la zone d'étude rapprochée de l'AO5**. Les variations de température ont entraîné l'apparition d'une **thermocline bien installée de la fin du printemps à l'automne** puis la **colonne d'eau s'est homogénéisée jusqu'à la fin de l'hiver** en raison de plus de turbulence dans la masse d'eau. C'est une des raisons qui a causé une **turbidité plus élevée de novembre à la fin de l'hiver**, turbidité qui sur le reste de l'année est resté en moyenne très faible. Concernant la salinité de la zone d'étude rapprochée, les plus fortes valeurs ont été mesurées à la fin de l'été et les plus faibles à la fin de l'hiver. Ces observations correspondent à ce qui est habituellement décrit pour le Golfe de Gascogne, notamment par Vandermeirsch, 2012. Le Golfe de Gascogne est marqué par une stratification saisonnière thermique en raison du bilan de chaleur positif du début du printemps à l'automne, **entraînant la mise en place à environ 20-30m de profondeur d'une thermocline**. En automne et en hiver, Vandermeirsch, 2012 précise que le régime de vents à cette période tend à pousser les panaches fluviaux des estuaires de la Loire et de la Gironde vers le nord, diminuant ainsi la stratification verticale de la partie Nord du Golfe de Gascogne. Ces paramètres de température, turbidité, salinité mais aussi l'ensoleillement et les nutriments influencent la production primaire et son évolution dans le temps et l'espace (contrôle « bottum-up », Houliez et al., 2021).

La **chlorophylle *a***, proxy de la **production primaire**, mesurée sur la colonne d'eau lors des campagnes d'échantillonnage du plancton, a suivi également une **dynamique saisonnière qui s'est répétée sur les deux années de suivi**. Cette dynamique comprend des teneurs moyennes de fluorescence plus importantes au printemps (mai-juin 2022, mars-avril-mai 2023, mars 2024), avec des pics secondaires comme en novembre 2022. Indépendamment des années et des stations, la période début du printemps – fin de l'été est marquée par un maximum de chlorophylle *a* au niveau de la thermocline saisonnière (début du printemps à la fin de l'été). À l'automne et à l'hiver, les concentrations en chlorophylle *a* sont globalement plus homogènes sur la colonne d'eau. Les simulations de la chlorophylle *a* de surface du modèle ECO-MARS 3D ont permis de voir l'évolution de la production primaire en surface à large échelle. L'étude du modèle a mis en évidence que la **concentration en chlorophylle *a* a augmenté progressivement à la fin de l'hiver**, d'abord à la côte puis sur l'ensemble de la zone pour être **maximale à la mi-avril**. Le printemps a également été marquée par **des concentrations en oxygène dissous maximales**. Pendant la **période estivale**, la chlorophylle *a* a été **maximale à la côte** et **au niveau des estuaires et décroit au large**. En automne, les concentrations ont diminué globalement et à certains moments comme à la mi-novembre 2022, **des pics de production primaire sont apparus**. Ces données modélisées témoignent également d'une répartition hétérogène de la biomasse chlorophyllienne en surface avec une distribution en patchs. En comparant les différents profils enregistrés à la sonde multi-paramètres, un léger décalage dans la variabilité temporelle de la chlorophylle *a* a été observé, probablement dû à la distribution verticale de la biomasse de phytoplancton. En effet, les résultats ont montré que, de manière générale, les **niveaux plus élevés de chlorophylle *a* au printemps et en automne** sont enregistrés dans les **couches d'eau plus superficielles**, tandis que les pics de chlorophylle *a* en été apparaissent dans des couches plus profondes et qu'en hiver, la colonne d'eau semble être bien homogénéisée. Cela souligne l'importance d'utiliser les données complémentaires d'ECO-MARS 3D (à grande échelle spatiale en surface) et de la sonde multiparamètres (profil vertical de la colonne d'eau) qui permettent une compréhension approfondie de la variabilité spatio-temporelle de la biomasse de phytoplancton dans la zone d'étude. L'emploi de la sonde multi-paramètre est essentiel car elle permet de refléter l'évolution des paramètres environnementaux de toute la colonne d'eau.

L'analyse du **phytoplancton** a révélé quatre résultats majeurs :

- Le phytoplancton est dominé par les Diatomées.
- Le phytoplancton de surface peut être divisé en 5 groupes principaux, notamment saisonniers, en raison de composition différente.
- La réalisation d'un prélèvement supplémentaire au pic de fluorescence peut parfois permettre de compléter l'information de la composition du phytoplancton de la colonne d'eau apportée par le prélèvement de surface.

- Plusieurs espèces nuisibles voire toxiques sont retrouvées dans la zone d'étude.

Le phytoplancton évolue de manière saisonnière mais non de manière spatiale au sein de la zone de l'AO5. Cela est une résultat cohérent compte tenu du fait que le phytoplancton est donc un compartiment très dynamique. Les organismes phytoplanctoniques ont une durée de vie courte, de quelques jours à quelques semaines et peuvent se multiplier très vite sous des conditions favorables et donc présente des variations parfois très importantes à court terme (Jacques, 2006).

Le **phytoplancton de surface** de la zone d'étude de l'AO5 pour la période Avril 2022 – Mars 2024 est dominé par les **Diatomées**. Les Diatomées sont responsables d'une grande majorité des blooms qui apparaissent dans la sous-région marine Golfe de Gascogne (Kraberg et al., 2010). Ces efflorescences sont observées principalement au **printemps puis à l'automne**, notamment en raison d'apports importants de nutriments en mer dus au lessivage des bassins versants par les pluies, qui constituent une des conditions favorables à leur développement (Belin et al., 2012). Parmi les 5 taxons les plus fréquemment observés sur les côtes françaises, 3 sont recensés dans la zone d'étude à des abondances saisonnièrement importantes : ***Chaetoceros***, ***Leptocylindrus*** et ***Pseudo-nitzschia***. Les Diatomées sont d'importants contributeurs de la production primaire et soutiennent nombre de producteurs secondaires (zooplancton) qui les consomment. Généralement, le premier bloom printanier est vite suivi d'un développement important de microzooplancton et de plus grandes espèces telles que les Copépodes et les larves de crustacé. Habituellement, le phytoplancton diminue l'été en raison de la thermocline bien marquée et par une baisse de la teneur en nutriments, les Dinoflagellés comme ***Tripos*** ou ***Protoperidinium*** se développant à ce moment car capables d'exploiter de plus faibles niveaux de nutriments (Kraberg et al., 2010). À l'automne, des efflorescences secondaires peuvent apparaître en raison d'un mélange vertical permettant la remontée de nutriments depuis le fond vers la surface, comme cela a été **le cas en novembre 2022 avec un bloom de *Pseudo-nitzschia*, groupe des sigmoïdes**. En hiver, les températures basses et le faible ensoleillement limitent la production primaire, mais la disponibilité en nutriments est élevée en raison du brassage des eaux de surface et de fond (Gohin et al., 2019; Hartman et al., 2014; Marquis et al., 2007).

Le phytoplancton se structure en **5 groupes principaux**, composés de taxons communément observés et recensés au sein des façades Manche-Atlantique (Belin et al., 2021, 2012). :

- La communauté du printemps-été 2022, caractérisée par de **fortes abondances des principaux taxons phytoplanctoniques.** L'échantillon de la station PLA07 de mai 2022 se distingue des autres échantillons de ce groupe printemps-été en raison de l'absence d'un très grand nombre de taxon par rapport au reste des stations de la campagne
- La communauté du mois d'août 2022, représentée principalement par les taxons de Dinoflagellés ***Karlodinium* sp.** et de la Diatomée ***Dactyliosolen fragilissimus*** et différente des autres communautés par l'absence d'UT comme les Dinoflagellés ***Tripos spp*** & les Diatomées ***Chaetoceros spp***.
- La communauté « intermédiaire » entre les communautés phytoplanctoniques du printemps et de l'hiver, qui regroupe le plus d'échantillons et principalement les échantillons des campagnes de l'été et de l'automne et qui est caractérisée par les Diatomées ***Leptocylindrus danicus*** et les UT ***Chaetoceros spp*** et ***Pseudo-nitzschia spp***
- La communauté d'une partie de l'automne 2022 et du printemps 2023, caractérisée par les Cryptophytes ***Teleaulax*** et les Dinoflagellés ***Katodinium sp.*** et ***Karenia spp.*** Comme évoqué ci-dessus, certaines espèces de Dinoflagellés (comme les genres *Protoperidinium* ou Tripos), compétitives sur l'utilisation des nutriments, peuvent être occasionnellement susceptibles de dominer temporairement la communauté planctonique à cette période.
- Et la communauté de l'hiver, marquée par la présence des UT des Diatomées ***Diploneis spp, Thalassiosira spp, Cylindrotheca closterium + Nitzschia longissima***

À partir de prélèvements supplémentaires réalisées à plus stations de mars 2023 à mars 2024, une comparaison entre la communauté phytoplanctonique de surface et celle du pic a été entreprise et a permis de voir que la **communauté de surface ne reflète pas forcément toute la communauté phytoplanctonique de la colonne d'eau.** Cette observation résulte probablement d'un biais d'échantillonnage, la méthode d'identification du pic de fluorescence manquant de suffisamment de

précision. Aussi, le prélèvement supplémentaire au maximum de fluorescence permet de conforter le fait que **le prélèvement de surface permet de collecter presque l'intégralité des taxons de la colonne d'eau** puisque seuls 2 nouveaux taxons ont été collectés au pic de fluorescence. La réalisation de 2 prélèvements d'eau, un en surface et l'autre au pic de fluorescence permet d'être exhaustif dans la description de la communauté phytoplanctonique.

De plus, l'étude de la communauté phytoplanctonique a permis d'identifier des espèces nuisibles voire toxiques pour la faune marine, notamment celles réglementées par des seuils d'alerte. Le Dinoflagellé ***Dinophysis***, dont la présence correspond au seuil d'alerte, a été recensé sous 5 formes, surtout à l'automne 2022 et à l'été 2023 : ***D. acuminata*** majoritairement, ***D. caudata***, ***D. acuta***, ***D. infudibulum*** (1 fois) et ***D. tripos*** (3 fois). Belin et al., 2012 précisent que *Dinophysis* est observé tous les ans en Bretagne sud et au nord de l'estuaire de la Loire depuis près d'une trentaine d'années, à partir de mars-avril sur des périodes durant souvent plusieurs mois. L'espèce est retrouvée parmi les taxons dominants mais elle ne semble proliférer dans aucune zone du golfe de Gascogne : les concentrations observées sont rarement au-dessus de 10 000 cellules/l. Le Dinoflagellé ***Alexandrium*** est apparu 4 fois, toujours sous le seuil d'alerte. Enfin, ***Pseudo-nitzschia***, dont certaines espèces produisent des toxines, est un genre qui prolifère tous les ans au sein de la sous-région marine Golfe de Gascogne et qui est apparu sous plusieurs espèces et complexes : majoritairement sous la forme *delicatissima*, *seriata* groupe des fines (novembre) et groupe des sigmoides (novembre). Ce dernier a dépassé le seuil d'alerte de 100 000 cellules/l en novembre 2022.

L'étude de la communauté phytoplanctonique de la zone de l'AO5 s'est concentrée sur le phytoplancton supérieur à 20µm et les comptages cellulaires n'ont pris en compte les plus petites cellules phytoplanctoniques que lorsqu'elles étaient en très grande nombre, conformément à Neaud-Masson, 2020. Ainsi, une partie du phytoplancton, à savoir les petites cellules phytoplanctoniques comme les Cyanobactéries ou les Cryptophytes, n'a pas été prise en compte dans cette étude, son importance écologique n'en étant pas moins important. Ces petites cellules pourraient dominer occasionnellement les communautés phytoplanctoniques en été et en automne, exploitant de plus faibles taux de nutriments. Leur occurrence peut également être importante pour d'autres phytoplanctons plus gros, comme c'est le cas pour *Teleaulax* : ce cryptophyte est une source importante de chloroplaste pour un Dinoflagellé collecté pendant cet état initial, *Dinophysis caudata* (Kim et al., 2015).

L'analyse du **zooplancton** a révélé 6 résultats majeurs :

- La technique Zooscan est très efficace pour effectuer un suivi à long terme des changements de la structure de la communauté de zooplancton dans la zone d'étude, mais elle a ses limites.
- La structure de la communauté de zooplancton change dans le temps, mais pas dans l'espace. L'effet de la zone n'a pas été significatif sur aucun des indicateurs de l'état écologique (à quelques exceptions près) ni sur la structure de la communauté.
- Deux périodes principales avec des structures de communauté de zooplancton différentes ont été identifiées : la période « été » et la période « hiver ».
- Les copépodes étaient le groupe taxonomique le plus abondant, affectant largement les changements intra-annuels observés dans l'ensemble de la structure de la communauté de zooplancton.
- Certains taxons ont fortement contribué à la différence en les deux groupes, telles qu'*Acartia* sp, *Calanus* sp, *Oithona* sp, *Temora* sp et Oncaeidae (Copépodes), ainsi que *Evadne* sp. et *Penilia* sp (Branchiopodes), la famille des Oikopleuridae (Appendiculaires) et l'embranchement des Chaetognathes.
- La turbidité est la principale variable environnementale responsable des différences dans la structure de la communauté entre la période « été » et la période « hiver ».

Les résultats de la comparaison entre le Zooscan et le microscope présentés dans cette étude ont indiqué que les deux méthodes sont comparables en termes d'abondance. L'analyse semi-automatique d'images d'échantillons de zooplancton par le Zooscan est un outil très utile pour détecter les changements dans la

structure de la communauté de zooplancton. L'analyse rapide de cette technique permet le traitement de nombreux échantillons et, par conséquent, l'obtention de données avec une résolution spatiale et temporelle élevée (Gorsky et al., 2010; Irigoien et al., 2009). Bien qu'approprié pour détecter les changements dans la communauté, cette technique présente cependant une résolution taxonomique inférieure par rapport à la technique de microscopie (au niveau des espèces et des genres). Il s'agit d'une limitation importante de la technique, car elle ne permet pas de calculer des indices de biodiversité précis. En effet, l'analyse par imagerie est encore limitée dans l'identification de certaines espèces, qui sont donc regroupées à des niveaux taxonomiques élevés pouvant représenter une grande proportion des abondances totales de la communauté (par exemple, les « petits copépodes »). C'est pour cette raison que les indices de biodiversité ont été calculés à partir des données de microscopie provenant de deux stations (PLA03 et PLA07). Cela a permis de calculer des indices de biodiversité corrects, mais les analyses spatiales n'ont alors pas pu être réalisées. La technique de microscopie peut en plus compléter utilement des études plus détaillées à une résolution spatiale plus faible. Par exemple, un nombre réduit d'échantillons peut être analysé par microscopie pour identifier les espèces invasives à un stade précoce, effectuer des évaluations fonctionnelles plus détaillées, ainsi qu'étudier les variations temporelles des différents stades de vie d'espèces importantes fournissant des informations importantes sur l'impact des facteurs anthropogènes sur leur reproduction et leurs taux de croissance.

Les résultats obtenus par le Zooscan ont toutefois permis de montrer que la **structure de la communauté de zooplancton change dans le temps, mais pas dans l'espace**. Plusieurs études ont démontré une variation spatiale significative dans la structure de la communauté de zooplancton dans le Golfe de Gascogne (Albaina and Irigoien, 2007, 2004; Grandremy et al., 2024, 2023; Sourisseau et al., 2012). A l'échelle du golfe dans son ensemble, la structure des communautés de zooplancton semble varier spatialement, avec des gradients marqués entre les zones côtières et offshore, ainsi que des gradients nord-sud (Grandremy et al., 2024, 2023). Trois principales zones, avec des assemblages zooplanctoniques distincts, ont été identifiées : les assemblages du nord, du sud et des zones côtières (Grandremy et al., 2023). Notre site d'étude se trouve dans la zone nord (G3), qui se caractérise principalement par des abondances plus élevées de copépodes Euchaetidae, Metrinidae et Calanidae, ainsi que par des crustacés méroplanctoniques tels que les larves de Cirripedia, Brachyura et Decapoda (Grandremy et al., 2023). La composition de la communauté présentée dans ce rapport est en accord étroit avec cette étude. Cependant, ces études ont été réalisées à des échelles spatiales élevées, englobant une partie ou l'ensemble des zones côtières et offshore des côtes atlantiques espagnoles et françaises et uniquement pendant la saison du printemps. Les différences spatiales dans les conditions environnementales sont donc très importantes. À une échelle spatiale plus petite, comme dans la zone d'étude (distance maximale entre les stations d'environ 30 km), les différences dans les conditions environnementales pélagiques sont minimes. En effet, pour tous les paramètres environnementaux évalués dans cette étude, la même variabilité temporelle a été observée pour toutes les stations. De plus, l'effet de la zone sur les indicateurs de l'état écologique étudiés (PH1, PH2 et PH3), et sur la structure globale de la communauté (évaluée par des analyses multivariées) n'a pas été significatif. Compte tenu de la petite échelle spatiale de notre étude, il n'est pas donc surprenant que les différences d'abondance et de structure de la communauté du zooplancton dans l'espace ne soient pas significatives. Ce résultat est particulièrement important, car cela montre clairement que les deux zones étudiées partagent la même communauté zooplanctonique. À la suite de cette étude de référence, des comparaisons appropriées (approche BACI) pourront donc être effectuées après l'introduction de toute structure anthropique dans la zone immédiate de l'aire d'étude.

Néanmoins, un suivi de la communauté zooplanctonique à petite échelle spatiale est essentiel, car il permet de détecter des changements particuliers importants au sein de la communauté. La seule composante de la communauté zooplanctonique ayant montré une variation spatiale significative (effet significatif de la zone) était la proportion de Mero/Holoplancton (PH1). En effet, durant certains mois, la représentation du méroplancton dans la communauté était significativement plus élevée dans la zone rapprochée que dans la zone immédiate. Il a été démontré que les stations côtières de la zone Nord et Est du parc éolien sont davantage exposées à des abondances plus élevées de larves de balanes (Thecostraca, Cirripedia), en raison du transport de leurs larves depuis les populations adultes côtières. Cela permet d'identifier les zones les plus propices au développement de ces organismes s'il existe des substrats de fixation appropriés pour ces larves.

La description des indicateurs de l'état écologique (PH1, PH2 et PH3) apporte des informations importantes sur la variabilité des principaux groupes fonctionnels au fil du temps et/ou dans l'espace. La présence de zooplancton carnivore peut exercer des effets en cascade modifiant significativement la structure de la communauté planctonique (Romagnan et al., 2015). Le méroplancton est principalement constitué des larves d'organismes benthiques. Un changement dans la proportion de méroplancton et d'holoplancton peut indiquer une variation dans la production benthique et/ou pélagique, avec des conséquences sur le couplage pélagique-benthique (Kirby et al., 2008). Le zooplancton gélatineux sont capables de développer massivement en créant de grandes proliférations ayant un fort impact sur les écosystèmes et sur plusieurs activités humaines (Purcell et al., 2007; Richardson et al., 2009). De plus, un bon nombre de ces espèces sont méroplanctoniques (Scyphozoaires et hydroméduses) et nécessitent des substrats durs pour le développement de leur stade benthique (Lucas, 2001). L'ajout de substrats durs artificiels est donc considéré comme l'une des principales raisons du développement des proliférations de méduses (Duarte et al., 2013; Marques et al., 2015). Dans cette étude, la majorité des organismes gélatineux identifiés étaient des holoplanctons, mais l'augmentation des organismes gélatineux méroplanctoniques après l'ajout de substrats artificiels peut être considérée comme un signal d'alerte. Il est donc important de les surveiller à long terme.

À ce jour, il est difficile d'évaluer l'atteinte du « bon état écologique » des habitats pélagiques, tant au niveau européen que national, en raison du manque d'informations et de cohérence à différents niveaux : absence de valeurs seuils pour l'ensemble des indicateurs, absence de méthode d'intégration des paramètres, absence de méthode d'agrégation spatiale et absence de définition harmonisée de la période de référence (Goberville et al., 2022). En effet, selon la DCSMM (Goberville et al., 2022), « les indicateurs BEE [PH1, PH2 et PH3] du programme thématique Habitats pélagiques sont des indicateurs de surveillance. Ils n'ont pas d'influence directe sur l'évaluation formelle du bon état écologique, mais leur surveillance peut fournir des informations sur les impacts plus larges des pressions anthropiques, ainsi que sur l'évolution des conditions environnementales. Par conséquent, lorsque les limites prédéfinies de leur variation sont dépassées, ils peuvent amener à définir des mesures de gestion. Ils agissent ainsi comme des signaux d'alarme à partir desquels des actions de gestion (principe de précaution) et/ou de recherche (études des liens état-pression) peuvent être entreprises. Un changement d'état n'est ainsi pas forcément synonyme d'une évolution vers un état dégradé mais plutôt d'une modification dans la structure, les rapports fonctionnels et/ou l'abondance (ou biomasse) des communautés planctoniques ». L'évaluation de l'état écologique ne peut être réalisée qu'en suivant l'évolution temporelle de ces indicateurs à long terme, comparant une période de référence (5 à 6 ans minimum, Goberville et al., 2022) et une période plus récente. Une évaluation de l'état de qualité du golfe de Gascogne et des côtes ibériques a cependant été réalisée, basée sur des données d'environ 60 ans. Les études ont déterminé que cette vaste zone est dans un état écologique « pas bon » (OSPAR, 2023b) ou dans un état « incertain » (McQuatters-Gollop et al., 2022). Toutefois, il est important de noter que ces évaluations ont été menées à une grande échelle spatiale, malgré la forte hétérogénéité spatiale reconnue (voir ci-dessus), sur la base de longues séries chronologiques (environ 60 ans), illustrant principalement les effets à long terme du changement climatique et de l'eutrophisation, avec encore des niveaux élevés d'incertitude. De plus, les zones côtières soumises à une variabilité de salinité, dans lesquelles notre étude est probablement incluse, n'ont pas été prises en compte en raison du manque de données disponibles (Goberville et al., 2022; Magliozzi et al., 2023). Pour ces raisons, à ce jour, il n'est pas possible d'évaluer l'état écologique des habitats pélagiques de la zone d'étude sur la base des indicateurs décrits, mais ils peuvent être utilisés comme indicateurs de surveillance, qui seront utiles pour détecter des changements dans la structure de la communauté zooplanctonique après impact, en se basant sur une approche BACI.

Les résultats ont indiqué que, malgré l'absence de différences spatiales, les **variations temporelles intra-annuels de la structure de la communauté zooplanctonique étaient significatives** (soit mensuelle, soit saisonnière), qui devraient être pris en compte dans les évaluations futures. Globalement, deux principales périodes avec des structures de communautés zooplanctoniques distinctes ont été détecté sur le site d'étude : un groupe en printemps, été et début automne (appelée « été », d'avril 2022 à octobre 2022, de mars 2023 à septembre 2023 et en mars 2024) et un groupe en fin automne et hiver (appelée « hiver », de novembre 2022 à février 2023 et de novembre 2023 à février 2024). La principale différence entre ces deux groupes réside dans le fait que l'abondance et la biodiversité de la communauté sont plus élevées dans le groupe « été » que dans le groupe « hiver ». Cela est soutenu par les résultats des indicateurs de l'état écologique (PH1, PH2 et PH3), qui représentent différentes composantes de la structure de la communauté basée sur

les groupes fonctionnels. L'abondance totale, fortement influencée par l'abondance des copépodes, ainsi que les indices de diversité (calculés à partir de la microscopie), ont montré des valeurs globalement plus élevées au printemps et en été (particulièrement au printemps). Les autres indicateurs de l'état écologique viennent soutenir cette variabilité temporelle générale de la structure de la communauté. Tant la proportion de carnivores/non-carnivores, que celle de méro/holoplancton et de gélatineux/non-gélatineux ont montré des valeurs globalement plus élevées en hiver et en été. Cependant, ces groupes fonctionnels étaient représentés par des taxons différents, ce qui soutient la dichotomie observée dans la structure globale de la communauté entre les communautés "hivernales" et "estivales". Ainsi, en hiver, on observe des abondances plus élevées des carnivores Chaetognatha, des gélatineux Appendicularia et des larves de Cirripedia (méroplancton), tandis qu'en été, on constate des abondances plus élevées des carnivores Euchaeta (copépode) et Dyphidae (Siphonophore), des gélatineux Hydrozoa (principalement des siphonophores) et Thaliacea, ainsi que du méroplancton Malacostraca (principalement des décapodes).

Une analyse plus détaillée a permis d'identifier certains taxons qui se distinguent par leur contribution plus importante aux différences observées entre les groupes. Ces espèces peuvent donc être considérées comme des indicateurs supplémentaires des changements de la communauté au fil du temps, et leur suivi devrait également être pris en compte. Parmi les 24 taxon de copépodes identifiées, ***Acartia sp., Calanus sp., Oithona sp*. et *Temora sp.*** étaient très abondants et très important dans la variabilité de la structure de la communauté. Le contraste dans l'abondance de ces taxons entre les deux périodes identifiées constitue donc le principal facteur à l'origine de leur différence. En effet, ces taxons ont été identifiés comme très importants, en raison de leur forte association avec les conditions de printemps et d'été et de leur évitement des conditions environnementales d'automne et d'hiver. Ces résultats sont en accord avec des études antérieures qui identifient ces taxons parmi les organismes de zooplancton les plus importants de la région (Albaina and Irigoien, 2007, 2004; Fanjul et al., 2018; Poulet et al., 1996), souvent associés aux conditions côtières de printemps et d'été (Valdés et al., 2022). En revanche, la famille de Copépodes Oncaeidae, bien qu'abondante entre août et octobre 2022, a présenté une plus grande représentation (abondance relative) dans la communauté pendant la période « hiver ». D'autres organismes n'appartenant pas aux Copépodes ont également été identifiés comme importants pour la variation de la structure de la communauté zooplanctonique dans le temps (dans les analyses IndVal, SIMPER et RDA) : les Brachiopodes (*Evadne sp.* et *Penilia sp.*), les Appendiculaires (Oikopleuridae), les larves de bivalves et les Chaetognathes. La contribution des Brachiopodes à la différence entre les périodes est particulière : alors que *Evadne sp.* a eu un poids plus important dans la communauté pendant la période « été », *Penilia sp.* a eu un poids plus important en « hiver », bien que les deux taxons soient plus fréquents pendant les mois de transition (octobre et novembre 2022, et septembre 2023). Pendant l'« hiver », la plus grande abondance relative de la famille des Oikopleuridae (Appendiculaires) et des Chaetognathes semble également contribuer à la structure communautaire différente observée au cours de cette période.

La relation entre la structure du zooplancton et les conditions environnementales a été analysé avec plusieurs variables, à savoir la température, la salinité, la chlorophylle a (comme indice phytoplanctonique), la turbidité et la concentration en oxygène dissous O_2, mesurées par la sonde multi paramètre. Les résultats ont montré que **toutes ces variables ont affecté significativement la structure de la communauté zooplanctonique**. Cependant, ces paramètres environnementaux n'expliquent de manière significative que 11,6 % de la variabilité totale. Nous ne devons pas nous attendre à des niveaux élevés de variance expliquée avec la méthode utilisée dans cette étude (RDA) (Borcard et al., 2018). Premièrement, la complexité des données (multiples taxons, dates, sites et variables environnementales) introduit une grande variabilité qui ne peut pas être parfaitement expliquée de manière mathématique. Deuxièmement, les données environnementales, et en particulier les données planctoniques, sont très bruitées, augmentant la variabilité non expliquée. Enfin, la RDA se concentre sur les régressions linéaires multivariées significatives (c'est-à-dire les valeurs ajustées), détectant les tendances les plus importantes et significatives des données, mais négligeant la variabilité restante (c'est-à-dire les résidus). Cela signifie que cette analyse a permis d'identifier efficacement les principales variables environnementales et les taxons qui contribuent aux changements observés dans la structure de la communauté, mais que une grande partie de la variabilité reste cachée dans la complexité des données multivariées. Cela signifie également que des liens écologiques importants pourraient ne pas être représentés par les variables explicatives utilisées dans cette analyse. Des paramètres environnementaux supplémentaires, connus pour affecter la communauté zooplanctonique (par exemple : indice d'upwelling, débit des rivières voisines, biomasse des poissons zooplanctivores, etc.),

pourraient donc être ajoutés au modèle afin d'augmenter la variance expliquée et de mettre en évidence d'éventuels liens écologiques non détectés.

Les données disponibles ont montré que les échantillons du groupe d'**« été »** ont été généralement caractérisés par des **niveaux plus élevés de température et salinité et plus faibles en oxygène**. En revanche, les échantillons du groupe **« hiver »** ont été associé à des **niveaux plus élevés de turbidité**. C'est par ailleurs cette variable environnementale la plus responsable des différences dans la structure des communautés zooplanctonique du groupe estival et hivernal. En effet, le Golfe de Gascogne est régulée par des processus « bottom-up » (Frank et al., 2007; Richardson and Schoeman, 2004), où l'abondance du zooplancton est généralement plus élevée au printemps et l'été (González-Gil et al., 2015; O'Brien et al., 2013). **Le brassage hivernal, le débit des rivières et les remontées d'eau (effet « upwelling ») sont souvent associée à une turbidité élevée à cause de l'apport ou la remise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau** (Anthony et al., 2004; Llope et al., 2006). Ces conditions environnementales ont été identifiés comme les principaux moteurs des changements saisonniers de la communauté zooplanctonique dans le sud du Golfe de Gascogne (González-Gil et al., 2015). À notre connaissance, une seule étude a été réalisée sur l'effet saisonnier des conditions environnementales sur la structure de la communauté zooplanctonique dans le nord du golfe de Gascogne (Benedetti et al., 2019). Les auteurs ont identifié un gradient côtier-large significative, probablement lié à des caractéristiques hydrologiques, comme les fronts thermiques induits par les marées, qui séparent les eaux ouvertes stratifiées des eaux côtières mélangées. De même, une étude menée au printemps dans l'ensemble du golfe a montré que les gradients côtier-offshore et nord-sud de la structure de la communauté sont fortement influencés par des paramètres liés à la température, à la salinité et à la stratification de la colonne d'eau (Grandremy et al., 2023). Les auteurs ont souligné l'importance particulière des apports fluviaux qui influencent la concentration en nutriments dans les zones côtières, impactant ainsi la communauté zooplanctonique via leur effet sur la communauté phytoplanctonique. Bien que les apports fluviaux n'aient pas été inclus dans notre modèle, nous émettons l'hypothèse que la forte turbidité observée en hiver pourrait refléter des niveaux élevés d'apports fluviaux côtiers. Ces processus semblent affecter les apports de nutriments aux eaux de surface, ce qui, associée à l'augmentation de la période de lumière du jour en début du printemps, soutient une forte production primaire (phytoplancton) et, par conséquent, la productivité secondaire (zooplancton) (González-Gil et al., 2015; Grandremy et al., 2023; Valdés et al., 2007).

Ceci est confirmé par l'analyse simultanée du phytoplancton et zooplancton de cette étude.

En effet, les principaux pics de zooplancton ont eu lieu environ un mois après les principaux blooms de phytoplancton (Figure 64), en particulier celles des Diatomées, classe dominante du phytoplancton de cette étude. Les Diatomées sont des grands phytoplanctons, qui forment souvent des chaines de grandes tailles (comme *Dactyliosolen fragilissimus, Pseudo-nitzschia spp., Chaetoceros spp. et Leptocylindrus danicus*) et sont typiquement favorisées en début du printemps grâce à la concentration accrue de nutriments dans les environnements mélangés (Egge and Aksnes, 1992). Les Dinoflagellés apparaissent généralement en été (Figure 64), lorsque les concentrations en nutriments sont plus faibles et que la température est plus élevée. Ces résultats sont en accord avec des rapports en Mer d'Iroise, qui ont identifié les diatomées formant de grandes chaînes comme le groupe de phytoplancton le plus abondant au printemps, tandis que les dinoflagellés caractérisaient la saison estivale (avec une variabilité interannuelle) (Benedetti et al., 2019). Les Dinoflagellés sont des phytoplanctons unicellulaires de taille plus petite que les diatomées et sont photosynthétiques, bien qu'une grande partie d'entre eux soient mixotrophes, capables de se nourrir d'autres nano- et microplanctons, qui leur permettent de prospérer dans des conditions de faible teneur en nutriments (Sommer et al., 2012). Ils sont également connus pour la présence de deux flagelles, ce qui les rend mobiles. **Ces différences de taille et de motilité des phytoplanctons ont été identifiées comme les principaux traits influençant la structure de la communauté zooplanctonique** (Boersma and Meunier, 2020; Kiørboe, 2011; Sommer et al., 2012). En général, le développement saisonnier du zooplancton suit le bloom printanier du phytoplancton, avec une succession d'organismes herbivores, omnivores et prédateurs (Sommer et al., 2012). Un développement plus récent de ce modèle classique du plancton, allant des communautés microbiennes aux prédateurs, suggère que l'empilement progressif des communautés trophiques supérieures se produit à partir du début du printemps, tandis qu'une succession d'espèces a lieu au sein de chaque communauté trophique (Romagnan et al., 2015). Le type de communauté et le moment de l'empilement des niveaux trophiques supérieurs sont probablement régulés par le type de communauté des niveaux trophiques inférieurs. Cela peut être observé dans nos résultats. Par exemple, ***Acartia sp*** et

Temora sp sont des espèces de copépodes plus petites qui se nourrissent principalement de grands phytoplanctons via une stratégie de filtration (Kiørboe et al., 1996; Saiz and Kiørboe, 1995). Cette stratégie alimentaire est plus efficace pour capturer des proies de grande taille non mobiles, telles que les diatomées (Kiørboe, 2011), ce que peut expliquer leur pic d'abondance après la production élevée de Diatomées au début du printemps. Le Copépode ***Calanus sp*****,** est principalement herbivore, mais semble avoir un régime alimentaire plus diversifié, se nourrissant de Diatomées, de Dinoflagellés, mais aussi de nanophytoplancton (2-20µm) comme les Cryptophytes (Harris et al., 2000). En effet, dans notre étude, le pic maximal de ***Calanus sp*** est survenu pendant le pic des Dinoflagellés ***Torodinium spp*** et après le bloom marqué des Cryptophytes (***Teleulax sp.***). Enfin, la famille des Oncaeidae, avec une représentation importante dans la communauté pendant la période « hiver », a un régime omnivore, capable de se nourrir d'une grande variété de phyto- et zooplanctons, notamment de diverses diatomées, dinoflagellés, microzooplanctons, picoplancton (<2µm), de fragments d'organismes plus grandes (Cnidaires, larves de poissons, Chaetognathes, Crustacés variés, Appendiculaires, etc…), de particules sédimentaires et pellets fécaux (Böttger-Schnack and Schnack, 2023; Sun et al., 2022), ce qui permet de développer leur populations pendant les périodes de basse productivité primaire. Malgré certaines divergences (par exemple les larves de bivalves), la variation saisonnière de la structure de la communauté du phyto- et zooplancton observé dans notre zone d'étude semble être cohérente avec les zones environnantes (Benedetti et al., 2019).

Les résultats présentés dans ce rapport permettent une **description générale** et une **vue d'ensemble de la saisonnalité de la communauté planctonique, de leurs principales interactions avec les conditions environnementales, ainsi que des liens internes au sein du réseau trophique pélagique** (Figure 64 ci-dessous). Cela fournit des informations précieuses sur la structure locale et la variabilité temporelle de la base du réseau alimentaire, et sur la manière dont cela pourrait affecter les autres compartiments de l'écosystème (l'ichtyoplancton, communauté des poissons pélagiques, communauté benthique, etc...).

Cependant, **beaucoup reste encore inexpliqué**. Le plancton est considéré comme un **bon indicateur des changements environnementales** en raison de ses cycles de vie courts (quelques jours à quelques semaines pour le phytoplancton et semaines pour le zooplancton - Gillooly, 2000). Il constitue donc un compartiment important à étudier dans le contexte des changements structurels des habitats. Toutefois, **cette réponse rapide aux conditions environnementales, combinée à la grande complexité du système** (multiples taxons soumis à de nombreux facteurs de stress dans un environnement tridimensionnel évoluant au fil du temps), **limite une compréhension complète de la dynamique des interactions interspécifiques**. De plus, des limites techniques (chronophage et dépendante de l'expertise) freinent une évaluation plus détaillée de cette communauté, car les échantillonnages ponctuels mensuels risquent de manquer d'importantes variabilités à petite échelle temporelles. Des nouvelles technologies sont aujourd'hui disponibles pour surmonter ces obstacles et réaliser un suivi de manière qualitative, en utilisant des outils génomiques (Giordano et al., 2024) ou bien de manière plus quantitative, en utilisant des moyens d'acquisition continue comme les capteurs optiques in situ (comme l'Underwater Vision Profiler – UVP ou FlowCam). Ces techniques sont capables de surveiller en continu les communautés planctoniques à haute fréquence temporelle, en se basant sur l'acquisition d'images, similaire au fonctionnement du ZooScan (Lombard et al., 2019, Picheral et al., 2022). Le développement rapide de ces dispositifs offre une opportunité précieuse pour une évaluation continue, plus rapide et adaptée au suivi des changements environnementaux, notamment à de petites échelles spatiales et temporelles, comme les modifications locales des composants structurels de l'écosystème.

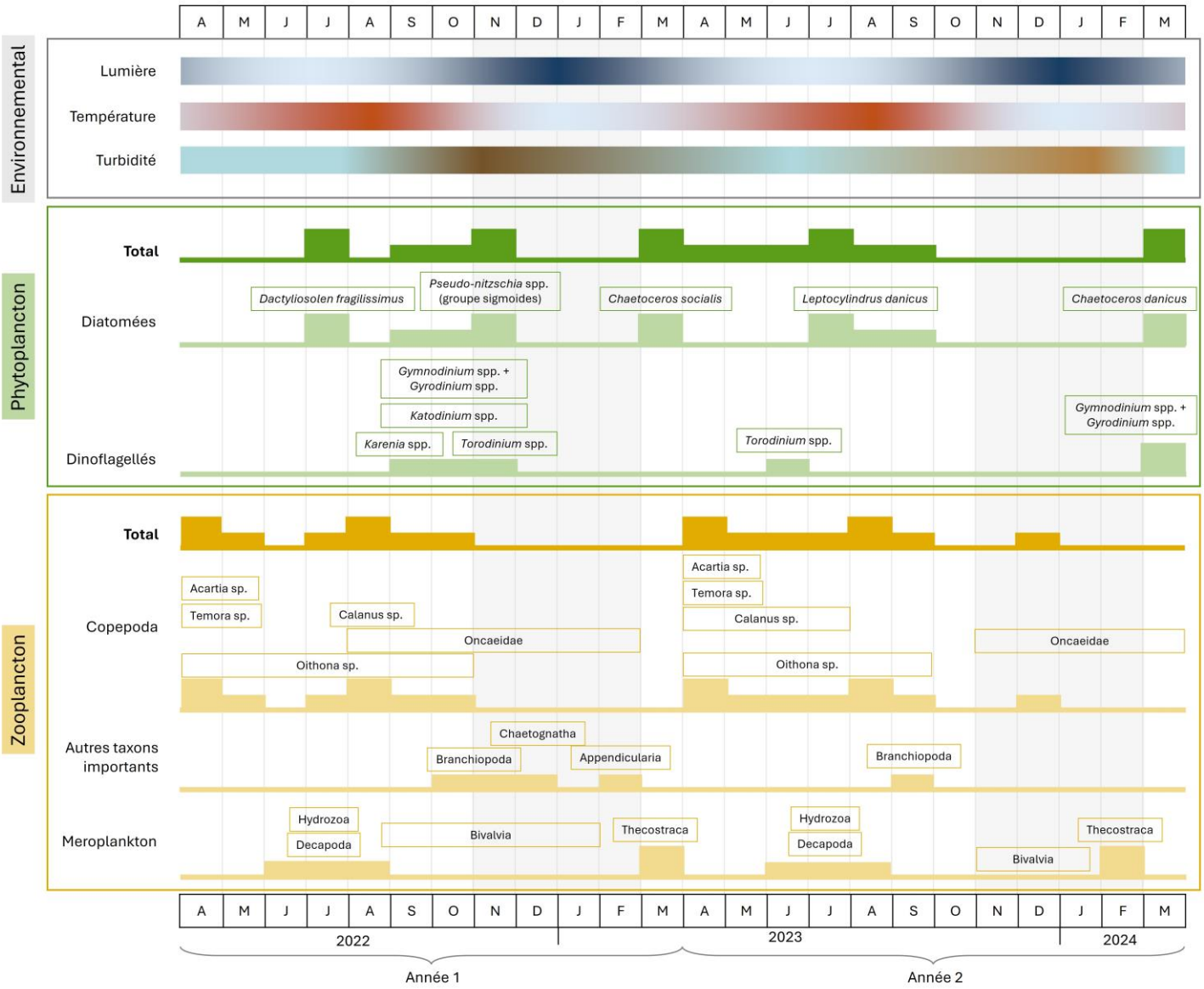


Figure 64 : Schéma bilan conceptuel représentant la variabilité saisonnière des paramètres environnementaux structurants, du phytoplancton et du zooplancton dans la zone d'étude de l'AO5 sur la durée de l'état initial (source : setec énergie environnement, 2024)

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Albaina, A., Irigoien, X., 2007. Fine scale zooplankton distribution in the Bay of Biscay in spring 2004. Journal of Plankton Research 29, 851–870. https://doi.org/10.1093/plankt/fbm064

Albaina, A., Irigoien, X., 2004. Relationships between frontal structures and zooplankton communities along a cross-shelf transect in the Bay of Biscay (1995 to 2003). Marine Ecology Progress Series 284, 65–75. https://doi.org/10.3354/meps284065

Anderson, M.J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance.

Anger, K., Harzsch, S., Thiel, M., 2020. The Natural History of the Crustacea: Developmental Biology and Larval Ecology, Volume 7. Oxford University Press.

Anthony, K.R.N., Ridd, P.V., Orpin, A.R., Larcombe, P., Lough, J., 2004. Temporal variation of light availability in coastal benthic habitats: Effects of clouds, turbidity, and tides. Limnology & Oceanography 49, 2201–2211. https://doi.org/10.4319/lo.2004.49.6.2201

Ardura, A., Borrell, Y., Fernández, S., González Arenales, M., Martínez, J., Garcia-Vazquez, E., 2020. Nuisance Algae in Ballast Water Facing International Conventions. Insights from DNA Metabarcoding in Ships Arriving in Bay of Biscay. Water 12, 2168. https://doi.org/10.3390/w12082168

Belin, C., Chapelle, A., Delmas, D., Nézan, E., Siano, R., 2013. DYNAmiques des effloresences et de la toxicité des espèces phytoplanctoniques nuisibles du genre PSEudo-nitzschia en région Loire-Bretagne. IFREMER ODE Dyneco Pelagos.

Belin, C., Haberkorn, H., Ménesguen, A., 2012. Les communautés du phytoplancton. Sous-région marine Golfe de Gascogne. Evaluation initiale DCSMM.

Belin, C., Soudant, D., Amzil, Z., 2021. Three decades of data on phytoplankton and phycotoxins on the French coast: Lessons from REPHY and REPHYTOX. Harmful Algae 102, 101733. https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101733

Benedetti, F., Gasparini, S., Ayata, S.-D., 2016. Identifying copepod functional groups from species functional traits. Journal of Plankton Research 38, 159–166. https://doi.org/10.1093/plankt/fbv096

Benedetti, F., Jalabert, L., Sourisseau, M., Becker, B., Cailliau, C., Desnos, C., Elineau, A., Irisson, J.-O., Lombard, F., Picheral, M., Stemmann, L., Pouline, P., 2019. The Seasonal and Inter-Annual Fluctuations of Plankton Abundance and Community Structure in a North Atlantic Marine Protected Area. Front. Mar. Sci. 6. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00214

Boersma, M., Meunier, C.L., 2020. Zooplankton-Phytoplankton Interactions in a Changing World, in: Zooplankton Ecology. CRC Press.

Bolar, K., 2019. STAT: Interactive Document for Working with Basic Statistical Analysis.

Borcard, D., Gillet, F., Legendre, P., 2018. Numerical Ecology with R. Springer.

Böttger-Schnack, R., Schnack, D., 2023. The microcopepod family Oncaeidae: state of knowledge and perspectives. Mar Biol 170, 110. https://doi.org/10.1007/s00227-023-04249-6

Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., Niknafs, A., 2014. NbClust: Determining the Best Number of Clusters in a Data Set.

Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology 18, 117–143. https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x

Costello, J.H., Colin, S.P., Dabiri, J.O., 2008. Medusan morphospace: phylogenetic constraints, biomechanical solutions, and ecological consequences. Invertebrate Biology 127, 265–290. https://doi.org/10.1111/j.1744-7410.2008.00126.x

Diebel, C.E., 1988. Observations on the Anatomy and Behavior of Phronima Sedentaria (Forskal) (Amphipoda: Hyperiidea). Journal of Crustacean Biology 8, 79–90. https://doi.org/10.1163/193724088X00107

Duarte, C.M., Pitt, K.A., Lucas, C.H., Purcell, J.E., Uye, S., Robinson, K., Brotz, L., Decker, M.B., Sutherland, K.R., Malej, A., Madin, L., Mianzan, H., Gili, J.-M., Fuentes, V., Atienza, D., Pagés, F., Breitburg, D.,

Malek, J., Graham, W.M., Condon, R.H., 2013. Is global ocean sprawl a cause of jellyfish blooms? Frontiers in Ecology and the Environment 11, 91–97. https://doi.org/10.1890/110246

Dufrêne, M., Legendre, P., 1997. Species Assemblages and Indicator Species : The Need for a Flexible Asymmetrical Approach. Ecological Monographs 67.

Egge, J., Aksnes, D., 1992. Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. Mar. Ecol. Prog. Ser. 83, 281–289. https://doi.org/10.3354/meps083281

Fanjul, A., Iriarte, A., Villate, F., Uriarte, I., Atkinson, A., Cook, K., 2018. Zooplankton seasonality across a latitudinal gradient in the Northeast Atlantic Shelves Province. Continental Shelf Research 160, 49–62. https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.03.009

Field, J., Clarke, K., Warwick, R., 1982. A Practical Strategy for Analysing Multispecies Distribution Patterns. Mar. Ecol. Prog. Ser. 8, 37–52. https://doi.org/10.3354/meps008037

Frank, K.T., Petrie, B., Shackell, N.L., 2007. The ups and downs of trophic control in continental shelf ecosystems. Trends in Ecology & Evolution 22, 236–242. https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.03.002

Gillooly, J.F., 2000. Effect of body size and temperature on generation time in zooplankton. Journal of Plankton Research 22, 241–251. https://doi.org/10.1093/plankt/22.2.241

Gilmer, R.W., Harbison, G.R., 1986. Morphology and field behavior of pteropod molluscs: feeding methods in the families Cavoliniidae, Limacinidae and Peraclididae (Gastropoda: Thecosomata). Mar. Biol. 91, 47–57. https://doi.org/10.1007/BF00397570

Giordano, N., Gaudin, M., Trottier, C., Delage, E., Nef, C., Bowler, C., Chaffron, S., 2024. Genome-scale community modelling reveals conserved metabolic cross-feedings in epipelagic bacterioplankton communities. Nat Commun 15, 2721. https://doi.org/10.1038/s41467-024-46374-w

Goberville, E., Goffart, A., Vilan, M., Vincent, D., 2022. Evaluation du Descripteur 1 Biodiversité « Habitats pélagiques » en France Métropolitaine. Rapport scientifique pour l'évaluation cycle 3 au titre de la DCSMM. Etat d'avancement des travaux sur le programme thématique « Habitats pélagiques ». Sorbonne Univ. – BOREA / Univ. Liège / OFB.

Gohin, F., Van der Zande, D., Tilstone, G., Eleveld, M.A., Lefebvre, A., Andrieux-Loyer, F., Blauw, A.N., Bryère, P., Devreker, D., Garnesson, P., Hernández Fariñas, T., Lamaury, Y., Lampert, L., Lavigne, H., Menet-Nedelec, F., Pardo, S., Saulquin, B., 2019. Twenty years of satellite and in situ observations of surface chlorophyll-a from the northern Bay of Biscay to the eastern English Channel. Is the water quality improving? Remote Sensing of Environment 233, 111343. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111343

González-Gil, R., Taboada, F., Höfer, J., Anadón, R., 2015. Winter mixing and coastal upwelling drive long-term changes in zooplankton in the Bay of Biscay (1993-2010). Journal of Plankton Research 37. https://doi.org/10.1093/plankt/fbv001

Gorokhova, E., Lehtiniemi, M., Postel, L., Rubene, G., Amid, C., Lesutiene, J., Uusitalo, L., Strake, S., Demereckiene, N., 2016. Indicator Properties of Baltic Zooplankton for Classification of Environmental Status within Marine Strategy Framework Directive. PLOS ONE 11, e0158326. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158326

Gorsky, G., Ohman, M.D., Picheral, M., Gasparini, S., Stemmann, L., Romagnan, J.-B., Cawood, A., Pesant, S., García-Comas, C., Prejger, F., 2010. Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. Journal of Plankton Research 32, 285–303. https://doi.org/10.1093/plankt/fbp124

Grandremy, N., Bourriau, P., Daché, E., Danielou, M.-M., Doray, M., Dupuy, C., Forest, B., Jalabert, L., Huret, M., Le Mestre, S., Nowaczyk, A., Petitgas, P., Pineau, P., Rouxel, J., Tardivel, M., Romagnan, J.-B., 2024. Metazoan zooplankton in the Bay of Biscay: a 16-year record of individual sizes and abundances obtained using the ZooScan and ZooCAM imaging systems. Earth System Science Data 16, 1265–1282. https://doi.org/10.5194/essd-16-1265-2024

Grandremy, N., Romagnan, J.-B., Dupuy, C., Doray, M., Huret, M., Petitgas, P., 2023. Hydrology and small pelagic fish drive the spatio–temporal dynamics of springtime zooplankton assemblages over the Bay of Biscay continental shelf. Progress in Oceanography 210, 102949. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102949

Hartman, S.E., Hartman, M.C., Hydes, D.J., Jiang, Z.-P., Smythe-Wright, D., González-Pola, C., 2014. Seasonal and inter-annual variability in nutrient supply in relation to mixing in the Bay of Biscay. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 106, 68–75. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.09.032

Houliez, E., Lefebvre, S., Dessier, A., Huret, M., Marquis, E., Bréret, M., Dupuy, C., 2021. Spatio-temporal drivers of microphytoplankton community in the Bay of Biscay: Do species ecological niches matter? Progress in Oceanography 194, 102558. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102558

Ifremer, University of Brest, CNRS, IRD, Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS), IUEM, 2021. Données issues des simulations du modèle ECO-MARS3D, projet « Modélisation et Analyse pour le Recherche Côtière » (MARC) [WWW Document]. URL https://marc.ifremer.fr/en/results/primary_production/eco_mars3d_bay_of_biscay_model/(typevisu)/map/(zoneid)/sudbzh#variable0 (accessed 1.11.23).

Irigoien, X., Fernandes, J.A., Grosjean, P., Denis, K., Albaina, A., Santos, M., 2009. Spring zooplankton distribution in the Bay of Biscay from 1998 to 2006 in relation with anchovy recruitment. Journal of Plankton Research 31, 1–17. https://doi.org/10.1093/plankt/fbn096

Jacques, G., 2006. Ecologie du Plancton, Editions TEC&DOC Lavoisier. ed.

Kassambara, A., Mundt, F., 2020. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package.

Kay, M., Elkin, L.A., Higgins, J.J., Wobbrock, J.O., 2021. ARTool: Aligned Rank Transform.

Kim, J.I., Yoon, H.S., Yi, G., Kim, H.S., Yih, W., Shin, W., 2015. The Plastid Genome of the Cryptomonad Teleaulax amphioxeia. PLoS ONE 10, e0129284. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129284

Kiørboe, T., 2011. How zooplankton feed: mechanisms, traits and trade-offs. Biological Reviews 86, 311–339. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00148.x

Kiørboe, T., Saiz, E., Viitasalo, M., 1996. Prey switching behaviour in the planktonic copepod Acartia tonsa. Mar. Ecol. Prog. Ser. 143, 65–75. https://doi.org/10.3354/meps143065

Kirby, R.R., Beaugrand, G., Lindley, J.A., 2009. Synergistic Effects of Climate and Fishing in a Marine Ecosystem. Ecosystems 12, 548–561. https://doi.org/10.1007/s10021-009-9241-9

Kirby, R.R., Beaugrand, G., Lindley, J.A., 2008. Climate-induced effects on the meroplankton and the benthic-pelagic ecology of the North Sea. Limnology and Oceanography 53, 1805–1815. https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.5.1805

Kraberg, A., Baumann, M., Dürselen, C.-D., 2010. Coastal phytoplankton : photo guide for Northern European seas, Verlag Dr. Friedrich Pfeil München.

Legendre, P., Legendre, L., 2012. Numerical Ecology. Elsevier.

Llope, M., Anadón, R., Viesca, L., Quevedo, M., Gonzalez-Quiros, R., Stenseth C., N., 2006. Hydrography of the southern Bay of Biscay shelf-break region : Integrating the multiscale physical variability over the periode 1993-20023. Journal of Geophysical Research 111.

Lombard, F., Boss, E., Waite, A.M., Vogt, M., Uitz, J., Stemmann, L., Sosik, H.M., Schulz, J., Romagnan, J.-B., Picheral, M., Pearlman, J., Ohman, M.D., Niehoff, B., Möller, K.O., Miloslavich, P., Lara-Lpez, A., Kudela, R., Lopes, R.M., Kiko, R., Karp-Boss, L., Jaffe, J.S., Iversen, M.H., Irisson, J.-O., Fennel, K., Hauss, H., Guidi, L., Gorsky, G., Giering, S.L.C., Gaube, P., Gallager, S., Dubelaar, G., Cowen, R.K., Carlotti, F., Briseño-Avena, C., Berline, L., Benoit-Bird, K., Bax, N., Batten, S., Ayata, S.D., Artigas, L.F., Appeltans, W., 2019. Globally Consistent Quantitative Observations of Planktonic Ecosystems. Front. Mar. Sci. 6, 196. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00196

López-Urrutia, Á., Irigoien, X., Acuña, J.L., Harris, R., 2003. In situ feeding physiology and grazing impact of the appendicularian community in temperate waters. Marine Ecology Progress Series 252, 125–141. https://doi.org/10.3354/meps252125

Lucas, C.H., 2001. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, Aurelia aurita, in relation to its ambient environment. Hydrobiologia 451, 229–246. https://doi.org/10.1023/A:1011836326717

Lucas, C.H., Jones, D.O.B., Hollyhead, C.J., Condon, R.H., Duarte, C.M., Graham, W.M., Robinson, K.L., Pitt, K.A., Schildhauer, M., Regetz, J., 2014. Gelatinous zooplankton biomass in the global oceans:

geographic variation and environmental drivers. Global Ecology and Biogeography 23, 701–714. https://doi.org/10.1111/geb.12169

Magliozzi, C., Druon, J.N., Palialexis, A., Aguzzi, L., Alexande, B., Antoniadis, K., Artigas, L.F., Azzellino, A., Bisinicu, E., Boicenco, L., Bojanic, N., Borrello, P., Boschetti, S., Carmo, V., Cervantes, P., Coll, M., Curmi, M., Del Amo, Y., Dutz, J., Francé, J., Garcés, E., Gea, G., Giannakourou, A., Goberville, E., Goffart, A., Gomes Pereira, J.N., González-Quirós, R., Gorokhova, E., Helaouet, P., Henriques, F., Heyden, B., Jaanus, A., Jakobsen, H., Johansen, M., Jurgensone, I., Korpinen, S., Kremp, A., Kuosa, H., Labayle, L., Lazar, L., Guglielmo, L., McQuatters-Gollop, A., Nincevic, Z., Pagou, K., Penna, A., Pettersson, K., Ruiter, H., Skejić, S., Spada, E., Spinu, A., Tew-Kai, E., Totti, C., Tunesi, L., Vadrucci, M.R., Valavanis, V., Varkitzi, I., Vasiliades, L., Veldeki, G., Vidjak, O., Vincent, D., Zervoudaki, S., 2021. Pelagic habitats under the MSFD D1: scientific advice of policy relevance. European Commission, Luxembourg. https://doi.org/10.2760/081368

Magliozzi, C., Palma, M., Druon, J.-N., Palialexis, A., Abigail, M.-G., Ioanna, V., Rafael, G.-Q., Elena, G., Birgit, H., Laura, B., Felipe, A.L., 2023. Status of pelagic habitats within the EU-Marine Strategy Framework Directive: Proposals for improving consistency and representativeness of the assessment. Marine Policy 148, 105467. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105467

Marques, R., Albouy-Boyer, S., Delpy, F., Carré, C., Le Floc'h, É., Roques, C., Molinero, J.-C., Bonnet, D., 2015. Pelagic population dynamics of *Aurelia* sp. in French Mediterranean lagoons. J. Plankton Res. 37, 1019–1035. https://doi.org/10.1093/plankt/fbv059

Marquis, E., Niquil, N., Delmas, D., Hartmann, H.J., Bonnet, D., Carlotti, F., Herbland, A., Labry, C., Sautour, B., Laborde, P., Vézina, A., Dupuy, C., 2007. Inverse analysis of the planktonic food web dynamics related to phytoplankton bloom development on the continental shelf of the Bay of Biscay, French coast. Estuarine, Coastal and Shelf Science 73, 223–235. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.01.003

McQuatters-Gollop, A., Atkinson, A., Aubert, A., Bedford, J., Best, M., Bresnan, E., Cook, K., Devlin, M., Gowen, R., Johns, D.G., Machairopoulou, M., McKinney, A., Mellor, A., Ostle, C., Scherer, C., Tett, P., 2019. Plankton lifeforms as a biodiversity indicator for regional-scale assessment of pelagic habitats for policy. Ecological Indicators 101, 913–925. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.010

McQuatters-Gollop, A., Guérin, L., Arroyo, N.L., Aubert, A., Artigas, L.F., Bedford, J., Corcoran, E., Dierschke, V., Elliott, S.A.M., Geelhoed, S.C.V., Gilles, A., González-Irusta, J.M., Haelters, J., Johansen, M., Le Loc'h, F., Lynam, C.P., Niquil, N., Meakins, B., Mitchell, I., Padegimas, B., Pesch, R., Preciado, I., Rombouts, I., Safi, G., Schmitt, P., Schückel, U., Serrano, A., Stebbing, P., De la Torriente, A., Vina-Herbon, C., 2022. Assessing the state of marine biodiversity in the Northeast Atlantic. Ecological Indicators 141, 109148. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109148

Nagendra, H., 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. Applied Geography 22, 175–186. https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00002-4

Ndah, A.B., Meunier, C.L., Kirstein, I.V., Göbel, J., Rönn, L., Boersma, M., 2022. A systematic study of zooplankton-based indices of marine ecological change and water quality: Application to the European marine strategy framework Directive (MSFD). Ecological Indicators 135, 108587. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108587

Neaud-Masson, N., 2020. Observation et dénombrement du phytoplancton marin par microscopie optique. Spécifications techniques et méthodologiques appliquées au REPHY. Version 2 - Février 2020.

O'Brien, T.D., Wiebe, P.H., Falkenhaug, T. (Eds.), 2013. ICES zooplankton status report. 2010/11, ICES cooperative research report Spec. Iss. Internat. Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.

Oksanen, J., Blanchet, G., Friendly, M., Roeland, K., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P., O'Hara, R.B., Simpson, G., Solymos, P., Stevens, H., Szoecs, E., Wagner, H., 2022. vegan : Community Ecology Package. R package version 2.6-4.

OSPAR, 2023a. CEMP Guideline for Pelagic Habitats thematic assessment integration method (No. Agreement 2023-07). OSPAR Commission.

OSPAR, 2023b. Pelagic Habitats Thematic Assessment, OSPAR, 2023: Quality Status Report 2023. OSPAR Commission, London.

Ostle, C., Paxman, K., Graves, C.A., Arnold, M., Artigas, L.F., Atkinson, A., Aubert, A., Baptie, M., Bear, B., Bedford, J., Best, M., Bresnan, E., Brittain, R., Broughton, D., Budria, A., Cook, K., Devlin, M., Graham, G., Halliday, N., Hélaouët, P., Johansen, M., Johns, D.G., Lear, D., Machairopoulou, M., McKinney, A., Mellor, A., Milligan, A., Pitois, S., Rombouts, I., Scherer, C., Tett, P., Widdicombe, C., McQuatters-Gollop, A., 2021. The Plankton Lifeform Extraction Tool: a digital tool to increase the discoverability and usability of plankton time-series data. Earth System Science Data 13, 5617–5642. https://doi.org/10.5194/essd-13-5617-2021

Pasternak, A.F., Drits, A.V., Flint, M.V., 2017. Feeding, egg production, and respiration rate of pteropods Limacina in Arctic seas. Oceanology 57, 122–129. https://doi.org/10.1134/S000143701701012X

Pielou, E.C., 1966. Shannon's Formula as a Measure of Specific Diversity: Its Use and Misuse. The American Naturalist 100, 463–465. https://doi.org/10.1086/282439

Pinheiro, J., Bates, D., R Core Team, 2024. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models.

Poulet, S., Laabir, M., CHAUDRON, Y., 1996. Characteristic features of zooplankton in the Bay of Biscay. Scientia Marina 60.

Purcell, J.E., Arai, M.N., 2001. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review. Hydrobiologia 451, 27–44. https://doi.org/10.1023/A:1011883905394

Purcell, J.E., Clarkin, E., Doyle, T.K., 2012. Foods of Velella velella (Cnidaria: Hydrozoa) in algal rafts and its distribution in Irish seas, in: Purcell, J., Mianzan, H., Frost, J.R. (Eds.), Jellyfish Blooms IV: Interactions with Humans and Fisheries. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 47–55. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5316-7_4

Purcell, J.E., Uye, S., Lo, W.-T., 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. Marine Ecology Progress Series 350, 153–174. https://doi.org/10.3354/meps07093

Richardson, A.J., Bakun, A., Hays, G.C., Gibbons, M.J., 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. Trends in Ecology & Evolution 24, 312–322. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.01.010

Richardson, A.J., Schoeman, D.S., 2004. Climate Impact on Plankton Ecosystems in the Northeast Atlantic. Science 305, 1609–1612. https://doi.org/10.1126/science.1100958

Riisgård, H.U., Svane, I., 1999. Filter Feeding in Lancelets (Amphioxus), Branchiostoma lanceolatum. Invertebrate Biology 118, 423–432. https://doi.org/10.2307/3227011

Roberts, D.W., 2023. labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology 2.1–0. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.labdsv

Romagnan, J.-B., Legendre, L., Guidi, L., Jamet, J.-L., Jamet, D., Mousseau, L., Pedrotti, M.-L., Picheral, M., Gorsky, G., Sardet, C., Stemmann, L., 2015. Comprehensive Model of Annual Plankton Succession Based on the Whole-Plankton Time Series Approach. PLOS ONE 10, e0119219. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119219

Rombouts, I., Beaugrand, G., Fizzala, X., Gaill, F., Greenstreet, S.P.R., Lamare, S., Le Loc'h, F., McQuatters-Gollop, A., Mialet, B., Niquil, N., Percelay, J., Renaud, F., Rossberg, A.G., Féral, J.P., 2013. Food web indicators under the Marine Strategy Framework Directive: From complexity to simplicity? Ecological Indicators 29, 246–254. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.021

Saiz, E., Kiørboe, T., 1995. Predatory and suspension feeding of the copepod Acartia tonsa in turbulent environments. Mar. Ecol. Prog. Ser. 122, 147–158. https://doi.org/10.3354/meps122147

Shannon, C., Weaver, W., 1963. The mathematical theory of communication. University Illinois Press, Urbana, Illinois.

Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity.

Smith, A., Batson, P., Echilleos, K., Tamberg, Y., 2022. Collecting and Culturing Bryozoans for Regenerative Studies, in: Whole-Body Regeneration: Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology.

Sommer, U., Adrian, R., De Senerpont Domis, L., Elser, J.J., Gaedke, U., Ibelings, B., Jeppesen, E., Lürling, M., Molinero, J.C., Mooij, W.M., Van Donk, E., Winder, M., 2012. Beyond the Plankton Ecology

Group (PEG) Model: Mechanisms Driving Plankton Succession. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 43, 429–448. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110411-160251

Sourisseau, M., Daniel, A., Rogé, M., 2012. Caractéristiques et état écologique - Golfe de Gascogne - ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE - Caractéristiques chimiques : Répartition spatio-temporelle de l'oxygène. Ifremer.

Strathmann, R.R., 1971. The feeding behavior of planktotrophic echinoderm larvae: Mechanisms, regulation, and rates of suspensionfeeding. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 6, 109–160. https://doi.org/10.1016/0022-0981(71)90054-2

Suárez-Morales, E., 2018. Monstrilloid Copepods: the Best of Three Worlds. soca 117, 92–103. https://doi.org/10.3160/3646.1

Sun, R., Wang, Y., Wang, C., Xiang, P., Chen, X., Xing, B., 2022. Research advance in the taxonomy and ecology of Oncaeidae Giesbrecht, 1893. Front. Mar. Sci. 9, 919877. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.919877

Takahashi, K., 2004. Feeding ecology of mysids in freshwater and coastal marine habitats; A review. Bulletin of Plankton Society of Japan (Japan) 51.

Thibault, D., 2024. Campagnes de suivi 2022-2024 du zooplancton préalablement a l'installation d'un champ éolien au large de Belle-Ile (Bretagne sud). Rapport final. (MIO publ. No. 1–15).

Tito, O., Traifalgar, R., Pan, M., 2015. Feeding Responses of Cuttlefish (Sepia pharaonis) at Early Hatchling Stages. Asian Journal of Animal Sciences 9, 396–403. https://doi.org/10.3923/ajas.2015.396.403

Valdés, L., López-Urrutia, A., Beaugrand, G., Harris, R.P., Irigoien, X., 2022. Seasonality and interannual variability of copepods in the Western English Channel, Celtic Sea, Bay of Biscay, and Cantabrian Sea with a special emphasis to *Calanus helgolandicus* and *Acartia clausi*. ICES Journal of Marine Science 79, 727–740. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac052

Valdés, L., López-Urrutia, A., Cabal, J., Alvarez-Ossorio, M., Bode, A., Miranda, A., Cabanas, M., Huskin, I., Anadón, R., Alvarez-Marqués, F., Llope, M., Rodríguez, N., 2007. A decade of sampling in the Bay of Biscay: What are the zooplankton time series telling us? Progress in Oceanography, Ecological Functioning of the Iberian Seas: A synthesis of GLOBEC Research in Spain and Portugal 74, 98–114. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.04.016

Vandermeirsch, F., 2012. Caractéristiques et état écologique. Golfe de Gascogne. Etat physique et chimique. Catactéristiques physiques : répartitition spatio-temporelle de la température et de la salinité. Ifremer.

Whittaker, R.H., 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. Ecological Monographs 30, 279–338. https://doi.org/10.2307/1943563

Wobbrock, J.O., Findlater, L., Gergle, D., Higgins, J.J., 2011. The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures, in: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 143–146. https://doi.org/10.1145/1978942.1978963

Zaldua-Mendizabal, N., Louzao, M., Doyle, T.K., Cotano, U., 2021. Community structure of gelatinous zooplankton in a temperate ecosystem: Spatial patterns and underlying drivers. Regional Studies in Marine Science 43, 101673. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101673

Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A., Smith, G.M., 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R, Statistics for Biology and Health. Springer, New York, NY.

6. ANNEXES

6.1 ANNEXE 1 : METADONNEES ASSOCIEES AUX CAMPAGNES PLANCTON (SOURCE : SETEC ENERGIE ENVIRONNEMENT, 2024)

					PHYTOPLANCTON								ZOOPLANCTON					
ID Campagne	Campagne	Station	Zone d'étude	Profondeur station	Date	Prof_surface	Heure_surface	Prof_pic	Heure_pic	Coeff de marée	Type_marée	Courant_marée	Date	Câble_filé	Heure_filage	Coeff_marée	Type_marée	Courant_marée
1	Avril22	PLA01	ZEI	83	25/04/2022	5	17:38	Sans objet	Sans objet	48	Mortes-eaux	marée descendante	30/04/2022	35	02:25	87	Vives-eaux	marée montante
1	Avril22	PLA02	ZEI	92.8	25/04/2022	5	13:48	Sans objet	Sans objet	48	Mortes-eaux	marée montante	29/04/2022	45	06:20	84	Vives-eaux	marée descendante
1	Avril22	PLA03	ZEI	88	25/04/2022	5	17:10	Sans objet	Sans objet	48	Mortes-eaux	marée descendante	29/04/2022	45	07:00	84	Vives-eaux	marée descendante
1	Avril22	PLA04	ZEI	93.1	25/04/2022	5	12:41	Sans objet	Sans objet	48	Mortes-eaux	marée montante	29/04/2022	45	05:20	84	Vives-eaux	marée descendante
1	Avril22	PLA05	ZEI	96	25/04/2022	5	14:20	Sans objet	Sans objet	48	Mortes-eaux	marée descendante	30/04/2022	45	01:30	87	Vives-eaux	marée montante
1	Avril22	PLA07	ZER	93.9	25/04/2022	5	11:40	Sans objet	Sans objet	48	Mortes-eaux	marée montante	29/04/2022	45	04:20	84	Vives-eaux	marée montante
1	Avril22	PLA08	ZER	105	25/04/2022	5	14:52	Sans objet	Sans objet	48	Mortes-eaux	marée descendante	30/04/2022	45	00:20	87	Vives-eaux	marée montante
1	Avril22	PLA09	ZER	89.5	25/04/2022	5	16:41	Sans objet	Sans objet	48	Mortes-eaux	marée descendante	29/04/2022	45	07:45	84	Vives-eaux	marée descendante
1	Avril22	PLA11	ZER	78.6	25/04/2022	5	18:07	Sans objet	Sans objet	48	Mortes-eaux	marée descendante	30/04/2022	35	03:00	87	Vives-eaux	marée montante
2	Mai22	PLA01	ZEI	83	19/05/2022	5	13:59	Sans objet	Sans objet	86	Vives-eaux	marée montante	15/05/2022	45	22:35	94	Vives-eaux	marée descendante
2	Mai22	PLA02	ZEI	92.8	19/05/2022	5	11:12	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	14/05/2022	45	03:40	78	Vives-eaux	marée montante
2	Mai22	PLA03	ZEI	88	19/05/2022	5	13:37	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	14/05/2022	45	05:00	78	Vives-eaux	marée descendante
2	Mai22	PLA04	ZEI	93.1	19/05/2022	5	10:42	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	14/05/2022	45	02:30	78	Vives-eaux	marée montante
2	Mai22	PLA05	ZEI	96	19/05/2022	5	11:34	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	14/05/2022	45	09:30	78	Vives-eaux	marée descendante
2	Mai22	PLA07	ZER	93.9	19/05/2022	5	10:14	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	14/05/2022	45	00:50	78	Vives-eaux	marée montante
2	Mai22	PLA08	ZER	105	19/05/2022	5	12:13	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	14/05/2022	45	08:15	78	Vives-eaux	marée descendante
2	Mai22	PLA09	ZER	89.5	19/05/2022	5	13:07	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	14/05/2022	45	06:00	78	Vives-eaux	marée descendante
2	Mai22	PLA11	ZER	78.6	19/05/2022	5	14:27	Sans objet	Sans objet	86	Vives-eaux	marée montante	16/05/2022	45	00:10	97	Vives-eaux	marée montante
3	Juin22	PLA01	ZEI	83	16/06/2022	5	02:22	Sans objet	Sans objet	96	Vives-eaux	marée montante	16/06/2022	45	02:49	96	Vives-eaux	marée montante
3	Juin22	PLA02	ZEI	92.8	15/06/2022	5	03:08	Sans objet	Sans objet	95	Vives-eaux	marée montante	15/06/2022	45	03:30	95	Vives-eaux	marée montante
3	Juin22	PLA03	ZEI	88	15/06/2022	5	04:14	Sans objet	Sans objet	95	Vives-eaux	marée montante	15/06/2022	45	04:47	95	Vives-eaux	marée montante
3	Juin22	PLA04	ZEI	93.1	15/06/2022	5	01:43	Sans objet	Sans objet	95	Vives-eaux	marée montante	15/06/2022	45	02:10	95	Vives-eaux	marée montante
3	Juin22	PLA05	ZEI	96	16/06/2022	5	00:55	Sans objet	Sans objet	96	Vives-eaux	marée montante	16/06/2022	45	01:27	96	Vives-eaux	marée montante
3	Juin22	PLA07	ZER	93.9	15/06/2022	5	00:04	Sans objet	Sans objet	95	Vives-eaux	marée montante	15/06/2022	45	00:30	95	Vives-eaux	marée montante
3	Juin22	PLA08	ZER	105	15/06/2022	5	22:45	Sans objet	Sans objet	96	Vives-eaux	marée descendante	16/06/2022	45	00:02	96	Vives-eaux	marée montante
3	Juin22	PLA09	ZER	89.5	15/06/2022	5	05:39	Sans objet	Sans objet	95	Vives-eaux	marée montante	15/06/2022	45	06:05	95	Vives-eaux	marée montante
3	Juin22	PLA11	ZER	78.6	16/06/2022	5	03:39	Sans objet	Sans objet	96	Vives-eaux	marée montante	16/06/2022	45	03:59	96	Vives-eaux	marée montante
4	Juillet22	PLA01	ZEI	83	13/07/2022	5	01:28	Sans objet	Sans objet	85	Vives-eaux	marée montante	13/07/2022	45	01:37	85	Vives-eaux	marée montante
4	Juillet22	PLA02	ZEI	92.8	12/07/2022	5	03:14	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée montante	12/07/2022	45	03:23	75	Vives-eaux	marée montante
4	Juillet22	PLA03	ZEI	88	12/07/2022	5	04:18	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée descendante	12/07/2022	45	04:30	75	Vives-eaux	marée montante
4	Juillet22	PLA04	ZEI	93.1	12/07/2022	5	01:47	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée montante	12/07/2022	45	02:00	75	Vives-eaux	marée montante
4	Juillet22	PLA05	ZEI	96	13/07/2022	5	00:09	Sans objet	Sans objet	85	Vives-eaux	marée montante	13/07/2022	45	00:25	85	Vives-eaux	marée montante
4	Juillet22	PLA07	ZER	93.9	12/07/2022	5	00:30	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée montante	12/07/2022	45	00:30	75	Vives-eaux	marée montante
4	Juillet22	PLA08	ZER	105	12/07/2022	5	22:52	Sans objet	Sans objet	85	Vives-eaux	marée montante	12/07/2022	45	23:16	85	Vives-eaux	marée montante
4	Juillet22	PLA09	ZER	89.5	12/07/2022	5	05:17	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée descendante	12/07/2022	45	05:30	75	Vives-eaux	marée descendante
4	Juillet22	PLA11	ZER	78.6	13/07/2022	5	02:36	Sans objet	Sans objet	85	Vives-eaux	marée montante	13/07/2022	45	02:35	85	Vives-eaux	marée montante
5	Août22	PLA01	ZEI	83	24/08/2022	5	00:30	Sans objet	Sans objet	44	Mortes-eaux	marée montante	24/08/2022	45	00:44	49	Mortes-eaux	marée montante
5	Août22	PLA02	ZEI	92.8	23/08/2022	5	02:09	Sans objet	Sans objet	39	Mortes-eaux	marée montante	23/08/2022	45	02:26	39	Mortes-eaux	marée montante
5	Août22	PLA03	ZEI	88	23/08/2022	5	03:19	Sans objet	Sans objet	39	Mortes-eaux	marée montante	23/08/2022	45	03:34	39	Mortes-eaux	marée descendante
5	Août22	PLA04	ZEI	93.1	23/08/2022	5	00:57	Sans objet	Sans objet	39	Mortes-eaux	marée montante	23/08/2022	45	01:08	39	Mortes-eaux	marée montante
5	Août22	PLA05	ZEI	96	24/08/2022	5	23:09	Sans objet	Sans objet	44	Mortes-eaux	marée montante	23/08/2022	45	23:25	49	Mortes-eaux	marée montante
5	Août22	PLA07	ZER	93.9	22/08/2022	5	23:34	Sans objet	Sans objet	39	Mortes-eaux	marée montante	22/08/2022	45	23:57	39	Mortes-eaux	marée montante
5	Août22	PLA08	ZER	105	23/08/2022	5	21:52	Sans objet	Sans objet	49	Mortes-eaux	marée montante	23/08/2022	45	22:05	49	Mortes-eaux	marée montante
5	Août22	PLA09	ZER	89.5	23/08/2022	5	04:27	Sans objet	Sans objet	39	Mortes-eaux	marée descendante	23/08/2022	45	04:41	39	Mortes-eaux	marée descendante
5	Août22	PLA11	ZER	78.6	24/08/2022	5	01:49	Sans objet	Sans objet	44	Mortes-eaux	marée montante	24/08/2022	45	02:01	49	Mortes-eaux	marée montante
6	Sept22	PLA01	ZEI	83	22/09/2022	5	01:20	Sans objet	Sans objet	47	Mortes-eaux	marée montante	22/09/2022	45	01:28	47	Mortes-eaux	marée montante
6	Sept22	PLA02	ZEI	92.8	21/09/2022	5	00:07	Sans objet	Sans objet	34	Mortes-eaux	marée montante	21/09/2022	45	00:23	34	Mortes-eaux	marée montante
6	Sept22	PLA03	ZEI	88	21/09/2022	5	01:15	Sans objet	Sans objet	34	Mortes-eaux	marée montante	21/09/2022	45	01:31	34	Mortes-eaux	marée montante
6	Sept22	PLA04	ZEI	93.1	20/09/2022	5	22:54	Sans objet	Sans objet	34	Mortes-eaux	marée montante	20/09/2022	45	23:03	34	Mortes-eaux	marée montante
6	Sept22	PLA05	ZEI	96	22/09/2022	5	00:02	Sans objet	Sans objet	47	Mortes-eaux	marée montante	22/09/2022	45	00:13	47	Mortes-eaux	marée montante
6	Sept22	PLA07	ZER	93.9	20/09/2022	5	21:44	Sans objet	Sans objet	34	Mortes-eaux	marée montante	20/09/2022	45	21:53	34	Mortes-eaux	marée montante
6	Sept22	PLA08	ZER	105	21/09/2022	5	22:43	Sans objet	Sans objet	47	Mortes-eaux	marée montante	21/09/2022	45	22:53	47	Mortes-eaux	marée montante
6	Sept22	PLA09	ZER	89.5	21/09/2022	5	02:22	Sans objet	Sans objet	34	Mortes-eaux	marée montante	21/09/2022	45	02:34	34	Mortes-eaux	marée montante

6	Sept22	PLA11	ZER	78.6	22/09/2022	5	02:30	Sans objet	Sans objet	47	Mortes-eaux	marée montante	22/09/2022	45	02:36	47	Mortes-eaux	marée montante
7	Oct22	PLA01	ZEI	83	11/10/2022	5	23:11	Sans objet	Sans objet	98	Vives-eaux	marée descendante	12/10/2022	45	23:24	91	Vives-eaux	marée descendante
7	Oct22	PLA02	ZEI	92.8	12/10/2022	5	00:30	Sans objet	Sans objet	98	Vives-eaux	marée descendante	12/10/2022	45	02:08	95	Vives-eaux	marée montante
7	Oct22	PLA03	ZEI	88	12/10/2022	5	01:45	Sans objet	Sans objet	95	Vives-eaux	marée montante	12/10/2022	45	03:14	95	Vives-eaux	marée montante
7	Oct22	PLA04	ZEI	93.1	12/10/2022	5	02:56	Sans objet	Sans objet	95	Vives-eaux	marée montante	12/10/2022	45	00:46	95	Vives-eaux	marée montante
7	Oct22	PLA05	ZEI	96	12/10/2022	5	04:03	Sans objet	Sans objet	95	Vives-eaux	marée montante	12/10/2022	45	22:05	91	Vives-eaux	marée descendante
7	Oct22	PLA07	ZER	93.9	12/10/2022	5	20:42	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	11/10/2022	45	23:26	98	Vives-eaux	marée descendante
7	Oct22	PLA08	ZER	105	12/10/2022	5	21:56	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	12/10/2022	45	20:54	91	Vives-eaux	marée descendante
7	Oct22	PLA09	ZER	89.5	12/10/2022	5	23:13	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	12/10/2022	45	04:17	95	Vives-eaux	marée montante
7	Oct22	PLA11	ZER	78.6	13/10/2022	5	00:29	Sans objet	Sans objet	91	Vives-eaux	marée descendante	13/10/2022	45	00:37	91	Vives-eaux	marée descendante
8	Nov22	PLA01	ZEI	83	13/11/2022	5	22:02	Sans objet	Sans objet	55	Mortes-eaux	marée descendante	13/11/2022	50	22:08	55	Mortes-eaux	marée descendante
8	Nov22	PLA02	ZEI	92.8	13/11/2022	5	03:11	Sans objet	Sans objet	61	Mortes-eaux	marée montante	13/11/2022	50	03:24	61	Mortes-eaux	marée montante
8	Nov22	PLA03	ZEI	88	13/11/2022	5	04:35	Sans objet	Sans objet	61	Mortes-eaux	marée montante	13/11/2022	50	04:49	61	Mortes-eaux	marée montante
8	Nov22	PLA04	ZEI	93.1	13/11/2022	5	01:20	Sans objet	Sans objet	61	Mortes-eaux	marée montante	12/11/2022	50	01:32	61	Mortes-eaux	marée montante
8	Nov22	PLA05	ZEI	96	13/11/2022	5	20:41	Sans objet	Sans objet	55	Mortes-eaux	marée descendante	13/11/2022	50	20:52	55	Mortes-eaux	marée descendante
8	Nov22	PLA07	ZER	93.9	12/11/2022	5	23:16	Sans objet	Sans objet	66	Mortes-eaux	marée descendante	12/11/2022	50	23:52	66	Mortes-eaux	marée descendante
8	Nov22	PLA08	ZER	105	13/11/2022	5	19:15	Sans objet	Sans objet	55	Mortes-eaux	marée descendante	13/11/2022	50	19:34	55	Mortes-eaux	marée descendante
8	Nov22	PLA09	ZER	89.5	13/11/2022	5	06:15	Sans objet	Sans objet	61	Mortes-eaux	marée montante	13/11/2022	50	06:20	61	Mortes-eaux	marée montante
8	Nov22	PLA11	ZER	78.6	13/11/2022	5	23:10	Sans objet	Sans objet	55	Mortes-eaux	marée descendante	13/11/2022	50	23:17	55	Mortes-eaux	marée descendante
9	Dec22	PLA01	ZEI	83	04/12/2022	5	21:38	Sans objet	Sans objet	70	Vives-eaux	marée montante	04/12/2022	50	21:45	70	Mortes-eaux	marée montante
9	Dec22	PLA02	ZEI	92.8	04/12/2022	5	00:55	Sans objet	Sans objet	63	Mortes-eaux	marée montante	04/12/2022	50	01:06	63	Mortes-eaux	marée montante
9	Dec22	PLA03	ZEI	88	04/12/2022	5	02:13	Sans objet	Sans objet	63	Mortes-eaux	marée descendante	04/12/2022	50	02:24	63	Mortes-eaux	marée descendante
9	Dec22	PLA04	ZEI	93.1	03/12/2022	5	23:20	Sans objet	Sans objet	63	Mortes-eaux	marée montante	03/12/2022	50	23:33	63	Mortes-eaux	marée montante
9	Dec22	PLA05	ZEI	96	04/12/2022	5	20:10	Sans objet	Sans objet	67	Mortes-eaux	marée descendante	04/12/2022	50	20:22	70	Mortes-eaux	marée montante
9	Dec22	PLA07	ZER	93.9	03/12/2022	5	22:00	Sans objet	Sans objet	63	Mortes-eaux	marée montante	03/12/2022	50	22:15	63	Mortes-eaux	marée montante
9	Dec22	PLA08	ZER	105	04/12/2022	5	18:38	Sans objet	Sans objet	67	Mortes-eaux	marée descendante	04/12/2022	50	18:50	67	Mortes-eaux	marée descendante
9	Dec22	PLA09	ZER	89.5	04/12/2022	5	03:20	Sans objet	Sans objet	63	Mortes-eaux	marée descendante	04/12/2022	50	03:52	63	Mortes-eaux	marée descendante
9	Dec22	PLA11	ZER	78.6	04/12/2022	5	22:50	Sans objet	Sans objet	70	Vives-eaux	marée montante	04/12/2022	50	23:08	70	Mortes-eaux	marée montante
10	Janv23	PLA01	ZEI	83	20/01/2023	5	17:05	Sans objet	Sans objet	79	Vives-eaux	marée descendante	20/01/2023	50	17:15	79	Vives-eaux	marée descendante
10	Janv23	PLA02	ZEI	92.8	20/01/2023	5	14:20	Sans objet	Sans objet	79	Vives-eaux	marée montante	20/01/2023	50	14:30	79	Vives-eaux	marée montante
10	Janv23	PLA03	ZEI	88	20/01/2023	5	16:15	Sans objet	Sans objet	79	Vives-eaux	marée descendante	20/01/2023	50	16:30	79	Vives-eaux	marée descendante
10	Janv23	PLA04	ZEI	93.1	20/01/2023	5	11:20	Sans objet	Sans objet	79	Vives-eaux	marée montante	20/01/2023	50	11:30	79	Vives-eaux	marée montante
10	Janv23	PLA05	ZEI	96	20/01/2023	5	13:40	Sans objet	Sans objet	79	Vives-eaux	marée montante	20/01/2023	50	13:40	79	Vives-eaux	marée montante
10	Janv23	PLA07	ZER	93.9	20/01/2023	5	10:05	Sans objet	Sans objet	79	Vives-eaux	marée montante	20/01/2023	50	10:15	79	Vives-eaux	marée montante
10	Janv23	PLA08	ZER	105	20/01/2023	5	12:40	Sans objet	Sans objet	79	Vives-eaux	marée montante	20/01/2023	50	12:50	79	Vives-eaux	marée montante
10	Janv23	PLA09	ZER	89.5	20/01/2023	5	15:20	Sans objet	Sans objet	79	Vives-eaux	marée montante	20/01/2023	50	15:30	79	Vives-eaux	marée montante
10	Janv23	PLA11	ZER	78.6	20/01/2023	5	18:00	Sans objet	Sans objet	79	Vives-eaux	marée descendante	20/01/2023	50	18:05	79	Vives-eaux	marée descendante
11	Fev23	PLA01	ZEI	83	10/02/2023	5	16:50	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée montante	10/02/2023	44	16:55	75	Vives-eaux	marée montante
11	Fev23	PLA02	ZEI	92.8	10/02/2023	5	14:00	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée montante	10/02/2023	44	14:10	75	Vives-eaux	marée montante
11	Fev23	PLA03	ZEI	88	10/02/2023	5	14:58	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée montante	10/02/2023	44	15:02	75	Vives-eaux	marée montante
11	Fev23	PLA04	ZEI	93.1	10/02/2023	5	10:40	Sans objet	Sans objet	78	Vives-eaux	marée descendante	10/02/2023	44	10:50	78	Vives-eaux	marée descendante
11	Fev23	PLA05	ZEI	96	10/02/2023	5	13:10	Sans objet	Sans objet	78	Vives-eaux	marée descendante	10/02/2023	44	13:20	78	Vives-eaux	marée descendante
11	Fev23	PLA07	ZER	93.9	10/02/2023	5	09:30	Sans objet	Sans objet	78	Vives-eaux	marée descendante	10/02/2023	44	09:45	78	Vives-eaux	marée descendante
11	Fev23	PLA08	ZER	105	10/02/2023	5	11:55	Sans objet	Sans objet	78	Vives-eaux	marée descendante	10/02/2023	44	12:10	78	Vives-eaux	marée descendante
11	Fev23	PLA09	ZER	89.5	10/02/2023	5	15:50	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée montante	10/02/2023	44	15:55	75	Vives-eaux	marée montante
11	Fev23	PLA11	ZER	78.6	10/02/2023	5	17:45	Sans objet	Sans objet	75	Vives-eaux	marée montante	10/02/2023	44	17:50	75	Vives-eaux	marée montante
12	Mars23	PLA01	ZEI	83	06/03/2023	5	23:20	Sans objet	Sans objet	81	Vives-eaux	marée montante	06/03/2023	50	23:30	81	Vives-eaux	marée montante
12	Mars23	PLA02	ZEI	92.8	06/03/2023	5	01:40	Sans objet	Sans objet	73	Vives-eaux	marée montante	06/03/2023	50	01:49	73	Vives-eaux	marée montante
12	Mars23	PLA03	ZEI	88	06/03/2023	5	03:49	Sans objet	Sans objet	73	Vives-eaux	marée montante	06/03/2023	50	03:57	73	Vives-eaux	marée montante
12	Mars23	PLA04	ZEI	93.1	06/03/2023	5	00:25	Sans objet	Sans objet	73	Vives-eaux	marée montante	06/03/2023	50	00:35	73	Vives-eaux	marée montante
12	Mars23	PLA05	ZEI	96	06/03/2023	5	21:52	Sans objet	Sans objet	78	Vives-eaux	marée descendante	06/03/2023	50	22:03	78	Vives-eaux	marée descendante
12	Mars23	PLA07	ZER	93.9	05/03/2023	5	22:15	Sans objet	Sans objet	73	Vives-eaux	marée montante	05/03/2023	50	-	73	Vives-eaux	marée montante
12	Mars23	PLA08	ZER	105	06/03/2023	5	20:28	Sans objet	Sans objet	78	Vives-eaux	marée descendante	06/03/2023	50	20:35	78	Vives-eaux	marée descendante
12	Mars23	PLA09	ZER	89.5	06/03/2023	5	04:49	Sans objet	Sans objet	73	Vives-eaux	marée descendante	06/03/2023	50	05:00	73	Vives-eaux	marée descendante
12	Mars23	PLA11	ZER	78.6	07/03/2023	5	00:35	Sans objet	Sans objet	81	Vives-eaux	marée montante	07/03/2023	50	00:45	81	Vives-eaux	marée montante

13	Avril23	PLA01	ZEI	83	17/04/2023	5	23:17	Sans objet	Sans objet	72	Vives-eaux	marée montante	17/04/2023	50	01:23	72	Vives-eaux	marée montante
13	Avril23	PLA02	ZEI	92.8	16/04/2023	5	02:08	Sans objet	Sans objet	56	Mortes-eaux	marée montante	16/04/2023	50	02:18	56	Mortes-eaux	marée montante
13	Avril23	PLA03	ZEI	88	16/04/2023	5	03:03	Sans objet	Sans objet	56	Mortes-eaux	marée descendante	16/04/2023	50	03:13	56	Mortes-eaux	marée descendante
13	Avril23	PLA04	ZEI	93.1	16/04/2023	5	00:33	Sans objet	Sans objet	56	Mortes-eaux	marée montante	16/04/2023	50	00:44	56	Mortes-eaux	marée montante
13	Avril23	PLA05	ZEI	96	19/04/2023	5	02:44	Sans objet	Sans objet	72	Vives-eaux	marée montante	16/04/2023	50	23:38	72	Vives-eaux	marée montante
13	Avril23	PLA07	ZER	93.9	15/04/2023	5	23:10	Sans objet	Sans objet	56	Mortes-eaux	marée montante	15/04/2023	50	23:24	56	Mortes-eaux	marée montante
13	Avril23	PLA08	ZER	105	16/04/2023	5	21:48	Sans objet	Sans objet	72	Vives-eaux	marée montante	16/04/2023	50	21:58	72	Vives-eaux	marée montante
13	Avril23	PLA09	ZER	89.5	16/04/2023	5	03:55	Sans objet	Sans objet	56	Mortes-eaux	marée descendante	16/04/2023	50	04:05	56	Mortes-eaux	marée descendante
13	Avril23	PLA11	ZER	78.6	17/04/2023	5	01:13	Sans objet	Sans objet	72	Vives-eaux	marée montante	17/04/2023	50	02:54	72	Vives-eaux	marée montante
14	Mai23	PLA01	ZEI	83	12/05/2023	5	23:48	Pas de pic	Pas de pic	48	Mortes-eaux	marée descendante	13/05/2023	70	00:05	48	Mortes-eaux	marée descendante
14	Mai23	PLA02	ZEI	92.8	12/05/2023	5	01:04	Pas de pic	Pas de pic	54	Mortes-eaux	marée descendante	12/05/2023	70	01:18	54	Mortes-eaux	marée descendante
14	Mai23	PLA03	ZEI	88	12/05/2023	5	02:13	Pas de pic	Pas de pic	54	Mortes-eaux	marée descendante	12/05/2023	70	02:33	54	Mortes-eaux	marée descendante
14	Mai23	PLA04	ZEI	93.1	11/05/2023	5	23:39	Pas de pic	Pas de pic	54	Mortes-eaux	marée descendante	11/05/2023	70	23:52	54	Mortes-eaux	marée descendante
14	Mai23	PLA05	ZEI	96	12/05/2023	5	22:12	Pas de pic	Pas de pic	48	Mortes-eaux	marée montante	12/05/2023	70	22:23	48	Mortes-eaux	marée montante
14	Mai23	PLA07	ZER	93.9	11/05/2023	5	22:24	Pas de pic	Pas de pic	54	Mortes-eaux	marée descendante	11/05/2023	70	22:40	54	Mortes-eaux	marée descendante
14	Mai23	PLA08	ZER	105	12/05/2023	5	05:46	Pas de pic	Pas de pic	51	Mortes-eaux	marée montante	12/05/2023	70	05:57	54	Mortes-eaux	marée montante
14	Mai23	PLA09	ZER	89.5	12/05/2023	5	03:30	Pas de pic	Pas de pic	54	Mortes-eaux	marée descendante	12/05/2023	70	03:41	54	Mortes-eaux	marée descendante
14	Mai23	PLA11	ZER	78.6	13/05/2023	5	01:18	25	01:30	48	Mortes-eaux	marée descendante	13/05/2023	70	01:29	48	Mortes-eaux	marée descendante
15	Juin23	PLA01	ZEI	83	17/06/2023	5	01:19	17-20	01:20	72	Vives-eaux	marée montante	17/06/2023	50	01:25	72	Vives-eaux	marée montante
15	Juin23	PLA02	ZEI	92.8	16/06/2023	5	02:48	20	02:55	70	Vives-eaux	marée montante	16/06/2023	50	02:57	70	Vives-eaux	marée montante
15	Juin23	PLA03	ZEI	88	16/06/2023	5	03:46	20	03:50	70	Vives-eaux	marée montante	16/06/2023	50	03:53	70	Vives-eaux	marée montante
15	Juin23	PLA04	ZEI	93.1	16/06/2023	5	01:28	20	01:40	70	Vives-eaux	marée montante	16/06/2023	50	01:42	70	Vives-eaux	marée montante
15	Juin23	PLA05	ZEI	96	17/06/2023	5	00:07	17-20	00:15	72	Vives-eaux	marée montante	17/06/2023	50	00:19	72	Vives-eaux	marée montante
15	Juin23	PLA07	ZER	93.9	16/06/2023	5	00:00	20	00:15	70	Vives-eaux	marée montante	16/06/2023	50	00:19	70	Vives-eaux	marée montante
15	Juin23	PLA08	ZER	105	16/06/2023	5	22:52	Pas de pic	Pas de pic	72	Vives-eaux	marée montante	16/06/2023	50	23:00	72	Vives-eaux	marée montante
15	Juin23	PLA09	ZER	89.5	16/06/2023	5	04:42	20	04:45	70	Vives-eaux	marée descendante	16/06/2023	50	04:49	70	Vives-eaux	marée descendante
15	Juin23	PLA11	ZER	78.6	17/06/2023	5	02:15	20	02:25	72	Vives-eaux	marée montante	17/06/2023	50	02:28	72	Vives-eaux	marée montante
16	Juillet23	PLA01	ZEI	83	27/07/2023	5	01:21	Pas de pic	Pas de pic	44	Mortes-eaux	marée descendante	27/07/2023	50	01:29	44	Mortes-eaux	marée descendante
16	Juillet23	PLA02	ZEI	92.8	26/07/2023	5	01:26	Pas de pic	Pas de pic	49	Mortes-eaux	marée descendante	26/07/2023	50	01:36	49	Mortes-eaux	marée descendante
16	Juillet23	PLA03	ZEI	88	26/07/2023	5	02:42	Pas de pic	Pas de pic	49	Mortes-eaux	marée descendante	26/07/2023	50	02:53	49	Mortes-eaux	marée descendante
16	Juillet23	PLA04	ZEI	93.1	26/07/2023	5	23:58	Pas de pic	Pas de pic	49	Mortes-eaux	marée descendante	26/07/2023	50	00:09	49	Mortes-eaux	marée descendante
16	Juillet23	PLA05	ZEI	96	27/07/2023	5	00:04	32	00:04	44	Mortes-eaux	marée descendante	27/07/2023	50	00:19	44	Mortes-eaux	marée descendante
16	Juillet23	PLA07	ZER	93.9	25/07/2023	5	22:39	Pas de pic	Pas de pic	49	Mortes-eaux	marée descendante	25/07/2023	50	22:49	49	Mortes-eaux	marée descendante
16	Juillet23	PLA08	ZER	105	26/07/2023	5	22:46	35	22:46	44	Mortes-eaux	marée montante	26/07/2023	50	23:00	44	Mortes-eaux	marée montante
16	Juillet23	PLA09	ZER	89.5	26/07/2023	5	03:54	40	03:54	49	Mortes-eaux	marée descendante	26/07/2023	50	04:02	49	Mortes-eaux	marée descendante
16	Juillet23	PLA11	ZER	78.6	27/07/2023	5	02:28	Pas de pic	Pas de pic	44	Mortes-eaux	marée descendante	27/07/2023	50	02:37	44	Mortes-eaux	marée descendante
17	Août23	PLA01	ZEI	83	18/08/2023	5	00:43	Pas de pic	Pas de pic	80	Vives-eaux	marée descendante	18/08/2023	50	00:43	80	Vives-eaux	marée descendante
17	Août23	PLA02	ZEI	92.8	17/08/2023	5	01:21	30	01:31	78	Vives-eaux	marée montante	17/08/2023	50	01:31	78	Vives-eaux	marée montante
17	Août23	PLA03	ZEI	88	17/08/2023	5	02:28	Pas de pic	Pas de pic	78	Vives-eaux	marée montante	17/08/2023	50	02:38	78	Vives-eaux	marée montante
17	Août23	PLA04	ZEI	93.1	17/08/2023	5	00:08	30	00:18	76	Vives-eaux	marée descendante	17/08/2023	50	00:18	78	Vives-eaux	marée montante
17	Août23	PLA05	ZEI	96	17/08/2023	5	23:22	32	23:33	80	Vives-eaux	marée descendante	17/08/2023	50	23:33	80	Vives-eaux	marée descendante
17	Août23	PLA07	ZER	93.9	16/08/2023	5	22:58	30	23:13	76	Vives-eaux	marée descendante	16/08/2023	50	23:13	76	Vives-eaux	marée descendante
17	Août23	PLA08	ZER	105	17/08/2023	5	22:05	27	22:15	80	Vives-eaux	marée descendante	17/08/2023	50	22:15	80	Vives-eaux	marée descendante
17	Août23	PLA09	ZER	89.5	17/08/2023	5	03:28	30	03:37	78	Vives-eaux	marée montante	17/08/2023	50	03:37	78	Vives-eaux	marée montante
17	Août23	PLA11	ZER	78.6	18/08/2023	5	01:52	24	02:00	81	Vives-eaux	marée montante	18/08/2023	50	01:52	81	Vives-eaux	marée montante
18	Sept23	PLA01	ZEI	83	23/09/2023	5	23:40	30-35	23:45	35	Mortes-eaux	marée montante	23/09/2023	50	23:47	35	Mortes-eaux	marée montante
18	Sept23	PLA02	ZEI	92.8	23/09/2023	5	02:31	40	02:36	43	Mortes-eaux	marée descendante	23/09/2023	50	02:39	43	Mortes-eaux	marée descendante
18	Sept23	PLA03	ZEI	88	23/09/2023	5	03:40	40	03:45	43	Mortes-eaux	marée descendante	23/09/2023	50	03:48	43	Mortes-eaux	marée descendante
18	Sept23	PLA04	ZEI	93.1	23/09/2023	5	01:14	37	01:20	43	Mortes-eaux	marée descendante	23/09/2023	50	01:25	43	Mortes-eaux	marée descendante
18	Sept23	PLA05	ZEI	96	23/09/2023	5	22:20	35	22:25	35	Mortes-eaux	marée montante	23/09/2023	50	22:25	35	Mortes-eaux	marée montante
18	Sept23	PLA07	ZER	93.9	23/09/2023	5	00:00	35	00:05	43	Mortes-eaux	marée descendante	23/09/2023	50	00:13	43	Mortes-eaux	marée descendante
18	Sept23	PLA08	ZER	105	23/09/2023	5	21:02	35	21:07	35	Mortes-eaux	marée montante	23/09/2023	50	21:16	35	Mortes-eaux	marée montante
18	Sept23	PLA09	ZER	89.5	23/09/2023	5	04:47	30-35	04:52	38	Mortes-eaux	marée montante	23/09/2023	50	04:56	38	Mortes-eaux	marée montante
18	Sept23	PLA11	ZER	78.6	24/09/2023	5	00:52	35	00:57	35	Mortes-eaux	marée descendante	24/09/2023	50	01:01	35	Mortes-eaux	marée descendante
19	Oct23	pas de campagne																

20	Nov23	PLA01	ZEI	83	23/11/2023	5	21:09	Pas de pic	Pas de pic	72	Mortes-eaux	marée montante	23/11/2023	50	21:17	72	Vives-eaux	marée montante
20	Nov23	PLA02	ZEI	92.8	23/11/2023	5	01:55	Pas de pic	Pas de pic	61	Mortes-eaux	marée descendante	23/11/2023	50	02:03	61	Mortes-eaux	marée descendante
20	Nov23	PLA03	ZEI	88	23/11/2023	5	00:25	Pas de pic	Pas de pic	61	Mortes-eaux	marée montante	23/11/2023	50	00:30	61	Mortes-eaux	marée montante
20	Nov23	PLA04	ZEI	93.1	23/11/2023	5	03:15	Pas de pic	Pas de pic	61	Mortes-eaux	marée descendante	23/11/2023	50	03:26	61	Mortes-eaux	marée descendante
20	Nov23	PLA05	ZEI	96	23/11/2023	5	22:30	Pas de pic	Pas de pic	72	Mortes-eaux	marée montante	23/11/2023	50	22:41	72	Vives-eaux	marée montante
20	Nov23	PLA07	ZER	93.9	23/11/2023	5	04:34	Pas de pic	Pas de pic	61	Mortes-eaux	marée descendante	23/11/2023	50	04:43	61	Mortes-eaux	marée descendante
20	Nov23	PLA08	ZER	105	24/11/2023	5	00:35	Pas de pic	Pas de pic	72	Mortes-eaux	marée montante	24/11/2023	50	00:49	72	Vives-eaux	marée montante
20	Nov23	PLA09	ZER	89.5	22/11/2023	5	22:31	Pas de pic	Pas de pic	61	Mortes-eaux	marée montante	22/11/2023	50	22:37	61	Mortes-eaux	marée montante
20	Nov23	PLA11	ZER	78.6	23/11/2023	5	19:50	Pas de pic	Pas de pic	72	Mortes-eaux	marée montante	23/11/2023	50	19:58	67	Mortes-eaux	marée descendante
21	Dec23	PLA01	ZEI	83	17/12/2023	5	02 :24	Pas de pic	Pas de pic	77	Vives-eaux	marée montante	17/12/2023	50	02 :32	77	Vives-eaux	marée montante
21	Dec23	PLA02	ZEI	92.8	16/12/2023	5	19 :54	Pas de pic	Pas de pic	80	Vives-eaux	marée descendante	16/12/2023	50	19 :57	80	Vives-eaux	marée descendante
21	Dec23	PLA03	ZEI	88	16/12/2023	5	18 :45	Pas de pic	Pas de pic	80	Vives-eaux	marée montante	16/12/2023	50	18 :53	80	Vives-eaux	marée montante
21	Dec23	PLA04	ZEI	93.1	16/12/2023	5	21 :06	Pas de pic	Pas de pic	80	Vives-eaux	marée descendante	16/12/2023	50	21 :15	80	Vives-eaux	marée descendante
21	Dec23	PLA05	ZEI	96	17/12/2023	5	01 :12	Pas de pic	Pas de pic	80	Vives-eaux	marée descendante	17/12/2023	50	01 :19	80	Vives-eaux	marée descendante
21	Dec23	PLA07	ZER	93.9	16/12/2023	5	22 :08	Pas de pic	Pas de pic	80	Vives-eaux	marée descendante	16/12/2023	50	22 :15	80	Vives-eaux	marée descendante
21	Dec23	PLA08	ZER	105	16/12/2023	5	23 :58	20	23:58	80	Vives-eaux	marée descendante	16/12/2023	50	00 :08	80	Vives-eaux	marée descendante
21	Dec23	PLA09	ZER	89.5	16/12/2023	5	17 :35	10	17:35	80	Vives-eaux	marée montante	16/12/2023	50	17 :45	80	Vives-eaux	marée montante
21	Dec23	PLA11	ZER	78.6	17/12/2023	5	03 :44	Pas de pic	Pas de pic	77	Vives-eaux	marée montante	17/12/2023	50	03 :44	77	Vives-eaux	marée montante
22	Janv24	PLA01	ZEI	83	16/01/2024	5	00:57	Pas de pic	Pas de pic	91	Vives-eaux	marée descendante	16/01/2024	50	01:04	91	Vives-eaux	marée descendante
22	Janv24	PLA02	ZEI	92.8	15/01/2024	5	23:57	Pas de pic	Pas de pic	91	Vives-eaux	marée descendante	16/01/2024	50	00:05	91	Vives-eaux	marée descendante
22	Janv24	PLA03	ZEI	88	15/01/2024	5	19:37	Pas de pic	Pas de pic	91	Vives-eaux	marée montante	15/01/2024	50	19:50	91	Vives-eaux	marée descendante
22	Janv24	PLA04	ZEI	93.1	13/01/2024	5	00:39	Pas de pic	Pas de pic	95	Vives-eaux	marée montante	13/01/2024	50	00:50	95	Vives-eaux	marée montante
22	Janv24	PLA05	ZEI	96	15/01/2024	5	22:50	Pas de pic	Pas de pic	91	Vives-eaux	marée descendante	15/01/2024	50	23:00	91	Vives-eaux	marée descendante
22	Janv24	PLA07	ZER	93.9	12/01/2024	5	23:19	Pas de pic	Pas de pic	92	Vives-eaux	marée descendante	12/01/2024	50	23:26	92	Vives-eaux	marée montante
22	Janv24	PLA08	ZER	105	15/01/2024	5	21:33	Pas de pic	Pas de pic	91	Vives-eaux	marée descendante	15/01/2024	50	21:42	91	Vives-eaux	marée descendante
22	Janv24	PLA09	ZER	89.5	15/01/2024	5	18:33	Pas de pic	Pas de pic	91	Vives-eaux	marée montante	15/01/2024	50	18:41	91	Vives-eaux	marée montante
22	Janv24	PLA11	ZER	78.6	16/01/2024	5	02:09	Pas de pic	Pas de pic	87	Vives-eaux	marée montante	16/01/2024	50	02:15	87	Vives-eaux	marée montante
23	Fev24	PLA01	ZEI	83	19/02/2024	5	04:44	Pas de pic	Pas de pic	35	Mortes-eaux	marée descendante	19/02/2024	50	04:45	35	Mortes-eaux	marée descendante
23	Fev24	PLA02	ZEI	92.8	18/02/2024	5	21:28	Pas de pic	Pas de pic	35	Mortes-eaux	marée montante	18/02/2024	50	21:35	35	Mortes-eaux	marée montante
23	Fev24	PLA03	ZEI	88	18/02/2024	5	20:05	43	20:05	35	Mortes-eaux	marée montante	18/02/2024	50	20:10	35	Mortes-eaux	marée montante
23	Fev24	PLA04	ZEI	93.1	18/02/2024	5	22:43	Pas de pic	Pas de pic	35	Mortes-eaux	marée montante	18/02/2024	50	22:48	35	Mortes-eaux	marée montante
23	Fev24	PLA05	ZEI	96	19/02/2024	5	03:15	Pas de pic	Pas de pic	35	Mortes-eaux	marée descendante	19/02/2024	50	03:24	35	Mortes-eaux	marée descendante
23	Fev24	PLA07	ZER	93.9	18/02/2024	5	23:52	Pas de pic	Pas de pic	35	Mortes-eaux	marée montante	19/02/2024	50	23:59	35	Mortes-eaux	marée montante
23	Fev24	PLA08	ZER	105	19/02/2024	5	01:55	Pas de pic	Pas de pic	35	Mortes-eaux	marée descendante	19/02/2024	50	02:02	35	Mortes-eaux	marée descendante
23	Fev24	PLA09	ZER	89.5	18/02/2024	5	18:50	Pas de pic	Pas de pic	35	Mortes-eaux	marée montante	18/02/2024	50	19:00	35	Mortes-eaux	marée montante
23	Fev24	PLA11	ZER	78.6	19/02/2024	5	05:50	Pas de pic	Pas de pic	35	Mortes-eaux	marée descendante	19/02/2024	50	05:56	35	Mortes-eaux	marée descendante
24	Mars24	PLA01	ZEI	83	13/03/2024	5	04:50	10	04:50	111	Vives-eaux	marée montante	13/03/2024	50	05:01	111	Vives-eaux	marée montante
24	Mars24	PLA02	ZEI	92.8	13/03/2024	5	03:31	8	03:31	111	Vives-eaux	marée montante	13/03/2024	50	03:43	111	Vives-eaux	marée montante
24	Mars24	PLA03	ZEI	88	13/03/2024	5	20:30	10	20:30	106	Vives-eaux	marée descendante	13/03/2024	50	20:45	106	Vives-eaux	marée descendante
24	Mars24	PLA04	ZEI	93.1	13/03/2024	5	02:05	12	02:05	111	Vives-eaux	marée montante	13/03/2024	50	20:20	111	Vives-eaux	marée montante
24	Mars24	PLA05	ZEI	96	14/03/2024	5	01:30	10	01:30	99	Vives-eaux	marée montante	14/03/2024	50	01:46	106	Vives-eaux	marée descendante
24	Mars24	PLA07	ZER	93.9	13/03/2024	5	01:13	18	01:13	111	Vives-eaux	marée montante	13/03/2024	50	00:35	111	Vives-eaux	marée montante
24	Mars24	PLA08	ZER	105	14/03/2024	5	00:13	8	00:13	106	Vives-eaux	marée descendante	13/03/2024	50	22:04	106	Vives-eaux	marée descendante
24	Mars24	PLA09	ZER	89.5	13/03/2024	5	21:50	8	21:50	106	Vives-eaux	marée descendante	14/03/2024	50	00:24	106	Vives-eaux	marée descendante
24	Mars24	PLA11	ZER	78.6	13/03/2024	5	06:14	Pas de pic	Pas de pic	111	Vives-eaux	marée montante	13/03/2024	50	06:30	111	Vives-eaux	marée montante

NOTE : Une valeur de la "Câble_filé" supérieure à 50, indique une dérive du filet.

6.2 Annexe 2 : Regroupement des taxons phytoplanctoniques en unites taxonomiques (source : setec energie environnement, 2024)

Unité taxonomique	Nombre de taxons regroupés	Taxons
Actinocyclus	1	*« Actinocyclus »*
Actinoptychus sp	1	*« Actinoptychus senarius »*
Amphora	1	*« Amphora »*
Asterionella sp	1	*« Asterionella notata »*
Asteromphalus spp	3	*« Asteromphalus » / « Asteromphalus flabellatus » / « Asteromphalus pettersonii »*
Bacillaria sp	1	*« Bacillaria paxillifera »*
Bacteriastrum	1	*« Bacteriastrum »*
Cerataulina spp	2	*« Cerataulina bicornis » / « Cerataulina pelagica »*
Chaetoceros spp	30	*« Chaetoceros » / « C. anastomosans » / « C. armatus » / « C. affinis » / « C. compressus » / « C. concavicornis » / « C. constrictus » / « C. curvisetus + debilis + pseudocurvisetus » / « C. dadayi » / « C. danicus » / « C. debilis » / « C. decipiens » / « C. densus + eibenii + borealis + castracanei » / « C. didymus » / « C. diadema » / « C. diversus » / « C. fragilis » / « C. laciniosus » / « C. lauderi » / « C. lorenzianus » / « C. neapolitanus » / « C. perpusillus » / « C. peruvianus » / « C. pseudocrinitus » / « C. protuberans » / « C. rostratus » / « C. similis » / « C. socialis » / « C. subtilis » / « C. tortissimus »*
Corethron sp	1	*« Corethron hystrix »*
Coscinodiscus	1	*« Coscinodiscus »*
Cyclotella	1	*« Cyclotella »*
Cylindrotheca closterium - Nitzschia longissima	1	*« Cylindrotheca closterium + Nitzschia longissima »*
Dactyliosolen spp	4	*« Dactyliosolen » / « D. blavyanus » / « D. fragilissimus » / « D. phuketensis »*
Delphineis spp	2	*« Delphineis minutissima » / « Delphineis surirella group »*
Detonula sp	1	*« Detonula pumila »*
Diploneis spp	3	*« Diploneis » / « D. bombus » / « D. constricta »*
Ditylum sp	2	*« Ditylum brightwellii » / « D. sol »*
Entomoneis	1	*« Entomoneis »*
Eucampia sp	2	*« Eucampia zodiacus » /« Eucampia cornuta »*
Fragilaria	1	*« Fragilaria »*
Guinardia spp	2	*« Guinardia flaccida » / « Guinardia striata »*
Haslea	1	*« Haslea »*
Helicotheca sp	1	*« Helicotheca tamesis »*
Hemiaulus spp	3	*« Hemiaulus hauckii » / « Hemiaulus membranaceus » / « Hemiaulus sinensis »*
Lauderia spp	2	*« Lauderia + Detonula » / « Lauderia annulata »*
Leptocylindrus danicus	1	*« Leptocylindrus, complexe danicus groupe des larges »*
Leptocylindrus minimus	1	*« Leptocylindrus, complexe minimus groupe des fines »*
Leptocylindrus sp	2	*« Leptocylindrus » / « Leptocylindrus mediterraneus »*

Licmophora	1	*« Licmophora »*
Lioloma	1	*« Lioloma »*
Mastogloia	1	*« Mastogloia »*
Melosira spp	3	*« Melosira » / « Melosira nummuloides » / « Melosira varians »*
Meuniera sp	1	*« Meuniera membranacea »*
Navicula	1	*« Navicula »*
Nitzschia spp	2	*« Nitzschia » / « Nitzschia panduriformis »*
Paralia	1	*« Paralia »*
Pleurosigma - Gyrosigma	1	*« Pleurosigma + Gyrosigma »*
Proboscia spp	2	*« Proboscia alata » / « Proboscia indica »*
Pseudo-nitzschia spp	7	*« Pseudo nitzschia » / « P-n. galaxiae » / « P-n. complexe americana » / « P-n. complexe delicatissima, groupe des fines » / « P-n. complexe seriata, groupe des effilées » / « P-n. complexe seriata, groupe des larges » / « P-n., groupe des sigmoides »*
Pseudosolenia sp	1	*Pseudosolenia calcar-avis*
Rhizosolenia spp	7	*« Rhizosolenia cylindrus » / « R. delicatula » / « R. imbricata + styliformis » / « R. styliformis » / « R. pungens » / « R. robusta » / « R. setigera »*
Skeletonema	1	*« Skeletonema »*
Stauroneis sp	1	*« Stauroneis biblos »*
Surirella	1	*« Surirella »*
Thalassionema/ Thalassiothrix	2	*« Thalassionema » / « Thalassiothrix »*
Thalassiosira spp	2	*« Thalassiosira » / « Thalassiosira subtilis »*
Trachyneis	1	*« Trachyneis »*
Pterosperma	1	*« Pterosperma »*
Pyramimonas	1	*« Pyramimonas »*
Alexandrium spp	2	*« Alexandrium » / « Alexandrium minutum »*
Akashiwo spp	2	*« Akashiwo » / « Akashiwo sanguinea »*
Amphidinium spp	2	*« Amphidinium » / « Amphidinium carterae »*
Achradina	1	*« Achradina »*
Azadinium spp	3	*« Azadinium » / « Azadinium caudatum » / « Azadinium spinosum »*
Blepharocysta	1	*« Blepharocysta »*
Ceratocorys	1	*« Ceratocorys »*
Cochlodinium	1	*« Cochlodinium »*
Oxytoxum - Corythodinium	10	*« Corythodinium » / « C. mucronatum » / « Oxytoxum » / « O. gracile » / « O. caudatum » / « O. gladiolus » / « O. mediterraneum » / « O. sceptrum » / « O. variabile » / « O. parvum »*
Dinophysis / Phalacroma	7	*« Dinophysis » / « D. acuminata » / « D. acuta » / « D. caudata » / « D. infundibulum » / « Phalacroma » / « P.rotundatum »*
Diplopsalis - Diplopelta – Diplopsalopsis - Preperidinium - Oblea	1	*« Diplopsalis + Diplopelta + Diplopsalopsis + Preperidinium + Oblea »*
Goniodoma sp	1	*« Goniodoma polyedricum »*
Gonyaulax / Protoceratium	6	*« Gonyaulax » / « G. diegensis » / « G. digitalis » / « G. polygramma » / « G. spinifera » / « P. reticulatum »*

Gymnodinium spp / Gyrodinium spp	5	*« Gymnodinium » / « Gymnodinium impudicum » / « Gyrodinium » / « G. fusus » / « G. spirale »*
Heterocapsa spp	3	*« Heterocapsa » / « Heterocapsa minima » / « Heterocapsa triquetra »*
Karenia spp	4	*« Karenia » / « K. brevisulcata » / « K. mikimotoi » / « K. papilionacea »*
Karlodinium	1	*Karlodinium*
Katodinium spp	2	*« Katodinium » / « Katodinium glaucum »*
Lingulodinium sp	1	*« Lingulodinium polyedra »*
Mesoporos sp	1	*« Mesoporos perforatus »*
Nematodinium	1	*« Nematodinium »*
Noctiluca spp	2	*« Noctiluca » / « Noctiluca scintillans »*
Protoperidinium / Peridinium	7	*« Peridinium quadridentatum » / « Protoperidinium » / « P. bipes » / « P. crassipes » / « P. depressum » / « P. divergens » / « P. steinii »*
Podolampas spp	2	*« Podolampas palmipes » / « Podolampas spinifera »*
Polykrikos sp	1	*« Polykrikos schwartzii »*
Pronoctiluca sp	1	*« Pronoctiluca pelagica »*
Prorocentrum spp	9	*« Prorocentrum » / « P. compressum » / « P. cordatum » / « P. dentatum » / « P. micans » / « P. rhathymum » / « P. triestinum » / « P. rostratum » /« P. vaginula »*
Pyrocystis spp	2	*« Pyrocystis » / « Pyrocystis lunula »*
Pyrophacus spp	2	*« Pyrophacus » / « Pyrophacus horologium »*
Scrippsiella - Ensiculifera - Pentapharsodinium	1	*« Scrippsiella + Ensiculifera + Pentapharsodinium »*
Takayama (seulement dans les comptages au pic)	1	*« Takayama »*
Torodinium spp	2	*« Torodinium robustum » / « Torodinium teredo »*
Trieres spp	2	*« Trieres mobiliensis » / « Trieres sinensis »*
Tripos spp	11	*« Tripos » / « T. furca » / « T. fusus » / « T.hexacanthus » / « T. horridus » / « T. lineatus » / « T. longirostrum » / « T. macroceros » / « T. massiliensis f. armatus » / « T. muelleri » / « T. teres »*
Ebria	1	*« Ebria »*
Hermesinum	1	*« Hermesinum »*
Eutreptia	1	*« Eutreptia »*
Eutreptiella	1	*« Eutreptiella »*
Chattonella	1	*« Chattonella »*
Dictyocha spp	2	*« Dictyocha fibula » / « Dictyocha speculum »*
Dinobryon	1	*« Dinobryon »*
Distephanopsis sp (seulement dans les comptages au pic)	1	*« Distephanopsis staurodon »*
Octactis sp	1	*« Octactis octonaria / var. pulchra »*

6.3 Annexe 3 : Repartition des taxons dans les groupes fonctionnels (source : setec energie environnement, 2024)

Phylum	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce	Taxa	Diete	Reference	Categorie	Crustacés	Meroplanctonique	Gelatineux
Annelida	Polychaeta					Polychaeta	Omnivore	Ostle et al., 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Arthropoda	Branchiopoda	Onychopoda	Podonidae	Evadne		Evadne	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Branchiopoda	Ctenopoda	Podonidae	Penilia	Penilia avirostris	Penilia avirostris	Herbivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Hyperiidae			Hyperiidae	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Phronimidae	Phronima		Phronima	Carnivore	Diebel, 1988	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae			Gammaridae	omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Cumacea				Cumacea	Ambiguous	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda				Decapoda	Omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Solenoceridae			Solenoceridae	Omnivore	Anger et al., 2020	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Luciferidae			Luciferidae	Omnivore	Anger et al., 2020	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda				Pleocyemata	Omnivore	Anger et al., 2020	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda				Achelata	Omnivore	Anger et al., 2020	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda				Anomura	Omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda				Astacidea	Omnivore	Anger et al., 2020	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda				Axiidea	Omnivore	Anger et al., 2020	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda				Brachyura	Omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda				Caridea	Omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Laomediidae			Laomediidae	Omnivore	Anger et al., 2020	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Thalassinidae			Thalassinidae	Omnivore	Anger et al., 2020	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Euphausiacea				Euphausiacea	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Malacostraca	Isopoda				Isopoda	Ambiguous	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Malacostraca	Mysida	Mysidae			Mysidae	Omnivore	Takahashi, 2004	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Malacostraca	Stomatopoda				Stomatopoda	Carnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida				Copepoda	Ambiguous	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida				Calanoida	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Acartiidae	Acartia		Acartia	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Aetideidae			Aetideidae	Ambiguous	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Calanidae	Calanus	Calanus helgolandicus	Calanus helgolandicus	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Calanidae	Neocalanus	Neocalanus gracilis	Neocalanus gracilis	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non

Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Candaciidae	Candacia		Candacia	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Centropagidae	Centropages		Centropages	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Eucalanidae			Eucalanidae	Herbivore - Omnivore	Benedetti et al., 2016*	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Euchaetidae			Euchaetidae	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Metridinidae			Metridinidae	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Paracalanidae	Mecynocera	Mecynocera clausi	Mecynocera clausi	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Pontellidae			Pontellidae	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Subeucalanidae	Subeucalanus		Subeucalanus	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida	Temoridae	Temora		Temora	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Cyclopoida	Oithonidae	Oithona		Oithona	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Harpacticoida	Euterpina	Euterpina		Euterpina	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Harpacticoida	Microsetella	Microsetella		Microsetella	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Harpacticoida	Peltidiidae			Peltidiidae	Herbivore - Omnivore	Benedetti et al., 2016*	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Monstrilloida				Monstrilloida	Ambiguous	Suárez-Morales, 2018	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda					Copepoda nauplii	Herbivore - Omnivore	Benedetti et al., 2016*	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Cyclopoida	Corycaeidae			Corycaeidae	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Cyclopoida	Oncaeidae			Oncaeidae	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Copepoda	Calanoida				Copepoda small	Ambiguous		holoplanctonique	Oui	Non	Non
Arthropoda	Thecostraca					Cirripedia	Ambiguous	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Thecostraca					Cirripedia nauplii	Ambiguous	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Oui	Oui	Non
Arthropoda	Ostracoda					Ostracoda	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Oui	Non	Non
Bryozoa						Bryozoa	Herbivore - Omnivore	Smith et al., 2022	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Chaetognatha						Chaetognatha	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Non
Chordata	Leptocardii		Branchiostomatidae			Branchiostomatidae	Herbivore - Omnivore	Riisgård and Svane, 1999	holoplanctonique	Non	Non	Non
Chordata	Appendicularia		Fritillariidae			Fritillariidae	Herbivore	López-Urrutia et al., 2003	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Chordata	Appendicularia		Oikopleuridae			Oikopleuridae	Herbivore	López-Urrutia et al., 2003	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Chordata	Thaliacea	Doliolida				Doliolida	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Chordata	Thaliacea	Salpida	Salpidae			Salpidae	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Chordata	Thaliacea	Salpida	Salpidae	Salpa	Salpa fusiformis	Salpa fusiformis	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Chordata	Thaliacea	Salpida	Salpidae	Thalia	Thalia democratica	Thalia democratica	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria						Anthozoa	Omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Oui
Cnidaria	Hydrozoa					Hydrozoa	Carnivore	Ostle et al. 2021*	meroplanctonique	Non	Oui	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Anthoathecata	Pandeidae	Leuckartiara		Leuckartiara	Carnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Oui

Cnidaria	Hydrozoa	Anthoathecata	Porpitidae	Velella	Velella velella	Velella velella	Carnivore	Purcell et al., 2012	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Leptothecata				Leptothecata	Carnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Abylidae	Bassia	Bassia bassensis	Bassia bassensis	Carnivore	Ostle et al. 2021*	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Diphyidae	Chelophyes	Chelophyes contorta	Chelophyes contorta	Carnivore	Ostle et al. 2021*	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Diphyidae	Chelophyes	Chelophyes appendiculata	Chelophyes appendiculata	Carnivore	Ostle et al. 2021*	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Diphyidae			Diphyidae	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Diphyidae	Lensia	Lensia conoidea	Lensia conoidea	Carnivore	Ostle et al. 2021*	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Diphyidae	Muggiaea	Muggiaea atlantica	Muggiaea atlantica	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Diphyidae	Muggiaea	Muggiaea kochii	Muggiaea kochii	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Diphyidae	Muggiaea		Muggiaea	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Prayidae			Prayidae	Carnivore	Ostle et al. 2021*	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Rhizophysidae	Rhizophysa		Rhizophysa	Carnivore	Ostle et al. 2021*	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae				Physonectae	Carnivore	Ostle et al. 2021*	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Agalmatidae			Agalmatidae	Carnivore	Ostle et al. 2021*	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Agalmatidae	Agalma	Agalma elegans	Agalma elegans	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Agalmatidae	Agalma	Agalma okenii	Agalma okenii	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Agalmatidae	Halistemma	Halistemma rubrum	Halistemma rubrum	Carnivore	Ostle et al. 2021*	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae	Agalmatidae	Nanomia	Nanomia bijuga	Nanomia bijuga	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Limnomedusae	Geryoniidae	Liriope	Liriope tetraphylla	Liriope tetraphylla	Carnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Trachymedusae	Rhopalonematidae	Aglantha		Aglantha	Carnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Oui
Cnidaria	Hydrozoa	Trachymedusae	Rhopalonematidae	Aglaura		Aglaura	Carnivore	Costello et al., 2008	meroplanctonique	Non	Oui	Oui
Cnidaria	Scyphozoa	Coronatae				Coronatae	Carnivore	Costello et al., 2008	meroplanctonique	Non	Oui	Oui
Cnidaria	Scyphozoa	Pelagiidae	Pelagia	Pelagia	Pelagia noctiluca	Pelagia noctiluca	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Ctenophora	Nuda	Beroida	Beroidae	Beroe		Beroe	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Ctenophora	Tentaculata	Cydippida	Cydippidae	Pleurobrachia	Pleurobrachia pileus	Pleurobrachia pileus	Carnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Oui
Echinodermata						Echinodermata	Ambiguous	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Echinodermata	Asteroidea					Asteroidea	Omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Echinodermata	Echinoidea					Echinoidea	Herbivore - Omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Echinodermata	Holothuroidea	Holothuriida	Holothuriidae			Holothuriidae	Herbivore - Omnivore	Strathmann, 1971	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Echinodermata	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophiuridae			Ophiuridae	Herbivore - Omnivore	Strathmann, 1971	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Hemichordata	Enteropneusta					Enteropneusta	Herbivore - Omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Mollusca	Bivalvia					Bivalvia	Omnivore	Ostle et al. 2021	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Mollusca	Cephalopoda	Sepiida		Sepia		Sepia	Carnivore	Tito et al., 2015	meroplanctonique	Non	Oui	Non
Mollusca	Gastropoda	Pteropoda				Gymnosomata	Herbivore - Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Non

Mollusca	Gastropoda	Pteropoda	Cavoliniidae			Cavoliniidae	Herbivore - Omnivore	Gilmer and Harbison, 1986	holoplanctonique	Non	Non	Non
Mollusca	Gastropoda	Pteropoda	Cliidae	Clio		Clio	Herbivore - Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Non
Mollusca	Gastropoda	Pteropoda	Creseidae	Hyalocylis		Hyalocylis	Herbivore - Omnivore	Pasternak et al., 2017*	holoplanctonique	Non	Non	Non
Mollusca	Gastropoda	Pteropoda	Limacinidae			Limacinidae	Herbivore - Omnivore	Pasternak et al., 2017	holoplanctonique	Non	Non	Non
Phoronida						Phoronida	Omnivore	Ostle et al. 2021	holoplanctonique	Non	Non	Non

*par approximation taxonomique

Références :

Albaina, A., Irigoien, X., 2007. Fine scale zooplankton distribution in the Bay of Biscay in spring 2004. Journal of Plankton Research 29, 851–870. https://doi.org/10.1093/plankt/fbm064

Albaina, A., Irigoien, X., 2004. Relationships between frontal structures and zooplankton communities along a cross-shelf transect in the Bay of Biscay (1995 to 2003). Marine Ecology Progress Series 284, 65–75. https://doi.org/10.3354/meps284065

Anderson, M.J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance.

Anger, K., Harzsch, S., Thiel, M., 2020. The Natural History of the Crustacea: Developmental Biology and Larval Ecology, Volume 7. Oxford University Press.

Anthony, K.R.N., Ridd, P.V., Orpin, A.R., Larcombe, P., Lough, J., 2004. Temporal variation of light availability in coastal benthic habitats: Effects of clouds, turbidity, and tides. Limnology & Oceanography 49, 2201–2211. https://doi.org/10.4319/lo.2004.49.6.2201

Ardura, A., Borrell, Y., Fernández, S., González Arenales, M., Martínez, J., Garcia-Vazquez, E., 2020. Nuisance Algae in Ballast Water Facing International Conventions. Insights from DNA Metabarcoding in Ships Arriving in Bay of Biscay. Water 12, 2168. https://doi.org/10.3390/w12082168

Belin, C., Chapelle, A., Delmas, D., Nézan, E., Siano, R., 2013. DYNAmiques des effloresences et de la toxicité des espèces phytoplanctoniques nuisibles du genre PSEudo-nitzschia en région Loire-Bretagne. IFREMER ODE Dyneco Pelagos.

Belin, C., Haberkorn, H., Ménesguen, A., 2012. Les communautés du phytoplancton. Sous-région marine Golfe de Gascogne. Evaluation initiale DCSMM.

Belin, C., Soudant, D., Amzil, Z., 2021. Three decades of data on phytoplankton and phycotoxins on the French coast: Lessons from REPHY and REPHYTOX. Harmful Algae 102, 101733. https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101733

Benedetti, F., Gasparini, S., Ayata, S.-D., 2016. Identifying copepod functional groups from species functional traits. Journal of Plankton Research 38, 159–166. https://doi.org/10.1093/plankt/fbv096

Benedetti, F., Jalabert, L., Sourisseau, M., Becker, B., Cailliau, C., Desnos, C., Elineau, A., Irisson, J.-O., Lombard, F., Picheral, M., Stemmann, L., Pouline, P., 2019. The Seasonal and Inter-Annual Fluctuations of Plankton Abundance and Community Structure in a North Atlantic Marine Protected Area. Front. Mar. Sci. 6. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00214

Boersma, M., Meunier, C.L., 2020. Zooplankton-Phytoplankton Interactions in a Changing World, in: Zooplankton Ecology. CRC Press.

Bolar, K., 2019. STAT: Interactive Document for Working with Basic Statistical Analysis.

Borcard, D., Gillet, F., Legendre, P., 2018. Numerical Ecology with R. Springer.

Böttger-Schnack, R., Schnack, D., 2023. The microcopepod family Oncaeidae: state of knowledge and perspectives. Mar Biol 170, 110. https://doi.org/10.1007/s00227-023-04249-6

Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., Niknafs, A., 2014. NbClust: Determining the Best Number of Clusters in a Data Set.

Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology 18, 117–143. https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x

Costello, J.H., Colin, S.P., Dabiri, J.O., 2008. Medusan morphospace: phylogenetic constraints, biomechanical solutions, and ecological consequences. Invertebrate Biology 127, 265–290. https://doi.org/10.1111/j.1744-7410.2008.00126.x

Diebel, C.E., 1988. Observations on the Anatomy and Behavior of Phronima Sedentaria (Forskal) (Amphipoda: Hyperiidea). Journal of Crustacean Biology 8, 79–90. https://doi.org/10.1163/193724088X00107

Duarte, C.M., Pitt, K.A., Lucas, C.H., Purcell, J.E., Uye, S., Robinson, K., Brotz, L., Decker, M.B., Sutherland, K.R., Malej, A., Madin, L., Mianzan, H., Gili, J.-M., Fuentes, V., Atienza, D., Pagés, F., Breitburg, D., Malek, J., Graham, W.M., Condon, R.H., 2013. Is global ocean sprawl a cause of jellyfish blooms? Frontiers in Ecology and the Environment 11, 91–97. https://doi.org/10.1890/110246

Dufrêne, M., Legendre, P., 1997. Species Assemblages and Indicator Species : The Need for a Flexible Asymmetrical Approach. Ecological Monographs 67.

Egge, J., Aksnes, D., 1992. Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. Mar. Ecol. Prog. Ser. 83, 281–289. https://doi.org/10.3354/meps083281

Fanjul, A., Iriarte, A., Villate, F., Uriarte, I., Atkinson, A., Cook, K., 2018. Zooplankton seasonality across a latitudinal gradient in the Northeast Atlantic Shelves Province. Continental Shelf Research 160, 49–62. https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.03.009

Field, J., Clarke, K., Warwick, R., 1982. A Practical Strategy for Analysing Multispecies Distribution Patterns. Mar. Ecol. Prog. Ser. 8, 37–52. https://doi.org/10.3354/meps008037

Frank, K.T., Petrie, B., Shackell, N.L., 2007. The ups and downs of trophic control in continental shelf ecosystems. Trends in Ecology & Evolution 22, 236–242. https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.03.002

Gillooly, J.F., 2000. Effect of body size and temperature on generation time in zooplankton. Journal of Plankton Research 22, 241–251. https://doi.org/10.1093/plankt/22.2.241

Gilmer, R.W., Harbison, G.R., 1986. Morphology and field behavior of pteropod molluscs: feeding methods in the families Cavoliniidae, Limacinidae and Peraclididae (Gastropoda: Thecosomata). Mar. Biol. 91, 47–57. https://doi.org/10.1007/BF00397570

Giordano, N., Gaudin, M., Trottier, C., Delage, E., Nef, C., Bowler, C., Chaffron, S., 2024. Genome-scale community modelling reveals conserved metabolic cross-feedings in epipelagic bacterioplankton communities. Nat Commun 15, 2721. https://doi.org/10.1038/s41467-024-46374-w

Goberville, E., Goffart, A., Vilan, M., Vincent, D., 2022. Evaluation du Descripteur 1 Biodiversité « Habitats pélagiques » en France Métropolitaine. Rapport scientifique pour l'évaluation cycle 3 au titre de la DCSMM. Etat d'avancement des travaux sur le programme thématique « Habitats pélagiques ». Sorbonne Univ. – BOREA / Univ. Liège / OFB.

Gohin, F., Van der Zande, D., Tilstone, G., Eleveld, M.A., Lefebvre, A., Andrieux-Loyer, F., Blauw, A.N., Bryère, P., Devreker, D., Garnesson, P., Hernández Fariñas, T., Lamaury, Y., Lampert, L., Lavigne, H., Menet-Nedelec, F., Pardo, S., Saulquin, B., 2019. Twenty years of satellite and in situ observations of surface chlorophyll-a from the northern Bay of Biscay to the eastern English Channel. Is the water quality improving? Remote Sensing of Environment 233, 111343. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111343

González-Gil, R., Taboada, F., Höfer, J., Anadón, R., 2015. Winter mixing and coastal upwelling drive long-term changes in zooplankton in the Bay of Biscay (1993-2010). Journal of Plankton Research 37. https://doi.org/10.1093/plankt/fbv001

Gorokhova, E., Lehtiniemi, M., Postel, L., Rubene, G., Amid, C., Lesutiene, J., Uusitalo, L., Strake, S., Demereckiene, N., 2016. Indicator Properties of Baltic Zooplankton for Classification of Environmental Status within Marine Strategy Framework Directive. PLOS ONE 11, e0158326. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158326

Gorsky, G., Ohman, M.D., Picheral, M., Gasparini, S., Stemmann, L., Romagnan, J.-B., Cawood, A., Pesant, S., García-Comas, C., Prejger, F., 2010. Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. Journal of Plankton Research 32, 285–303. https://doi.org/10.1093/plankt/fbp124

Grandremy, N., Bourriau, P., Daché, E., Danielou, M.-M., Doray, M., Dupuy, C., Forest, B., Jalabert, L., Huret, M., Le Mestre, S., Nowaczyk, A., Petitgas, P., Pineau, P., Rouxel, J., Tardivel, M., Romagnan, J.-B., 2024. Metazoan zooplankton in the Bay of Biscay: a 16-year record of individual sizes and abundances obtained using the ZooScan and ZooCAM imaging systems. Earth System Science Data 16, 1265–1282. https://doi.org/10.5194/essd-16-1265-2024

Grandremy, N., Romagnan, J.-B., Dupuy, C., Doray, M., Huret, M., Petitgas, P., 2023. Hydrology and small pelagic fish drive the spatio–temporal dynamics of springtime zooplankton assemblages over the Bay of Biscay continental shelf. Progress in Oceanography 210, 102949. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102949

Hartman, S.E., Hartman, M.C., Hydes, D.J., Jiang, Z.-P., Smythe-Wright, D., González-Pola, C., 2014. Seasonal and inter-annual variability in nutrient supply in relation to mixing in the Bay of Biscay. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 106, 68–75. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.09.032

Houliez, E., Lefebvre, S., Dessier, A., Huret, M., Marquis, E., Bréret, M., Dupuy, C., 2021. Spatio-temporal drivers of microphytoplankton community in the Bay of Biscay: Do species ecological niches matter? Progress in Oceanography 194, 102558. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102558

Ifremer, University of Brest, CNRS, IRD, Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS), IUEM, 2021. Données issues des simulations du modèle ECO-MARS3D, projet « Modélisation et Analyse pour le Recherche Côtière » (MARC) [WWW Document]. URL https://marc.ifremer.fr/en/results/primary_production/eco_mars3d_bay_of_biscay_model/(typevisu)/map/(zoneid)/sudbzh#variable0 (accessed 1.11.23).

Irigoien, X., Fernandes, J.A., Grosjean, P., Denis, K., Albaina, A., Santos, M., 2009. Spring zooplankton distribution in the Bay of Biscay from 1998 to 2006 in relation with anchovy recruitment. Journal of Plankton Research 31, 1–17. https://doi.org/10.1093/plankt/fbn096

Jacques, G., 2006. Ecologie du Plancton, Editions TEC&DOC Lavoisier. ed.

Kassambara, A., Mundt, F., 2020. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package.

Kay, M., Elkin, L.A., Higgins, J.J., Wobbrock, J.O., 2021. ARTool: Aligned Rank Transform.

Kim, J.I., Yoon, H.S., Yi, G., Kim, H.S., Yih, W., Shin, W., 2015. The Plastid Genome of the Cryptomonad Teleaulax amphioxeia. PLoS ONE 10, e0129284. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129284

Kiørboe, T., 2011. How zooplankton feed: mechanisms, traits and trade-offs. Biological Reviews 86, 311–339. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00148.x

Kiørboe, T., Saiz, E., Viitasalo, M., 1996. Prey switching behaviour in the planktonic copepod Acartia tonsa. Mar. Ecol. Prog. Ser. 143, 65–75. https://doi.org/10.3354/meps143065

Kirby, R.R., Beaugrand, G., Lindley, J.A., 2009. Synergistic Effects of Climate and Fishing in a Marine Ecosystem. Ecosystems 12, 548–561. https://doi.org/10.1007/s10021-009-9241-9

Kirby, R.R., Beaugrand, G., Lindley, J.A., 2008. Climate-induced effects on the meroplankton and the benthic-pelagic ecology of the North Sea. Limnology and Oceanography 53, 1805–1815. https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.5.1805

Kraberg, A., Baumann, M., Dürselen, C.-D., 2010. Coastal phytoplankton : photo guide for Northern European seas, Verlag Dr. Friedrich Pfeil München.

Legendre, P., Legendre, L., 2012. Numerical Ecology. Elsevier.

Llope, M., Anadón, R., Viesca, L., Quevedo, M., Gonzalez-Quiros, R., Stenseth C., N., 2006. Hydrography of the southern Bay of Biscay shelf-break region : Integrating the multiscale physical variability over the periode 1993-20023. Journal of Geophysical Research 111.

Lombard, F., Boss, E., Waite, A.M., Vogt, M., Uitz, J., Stemmann, L., Sosik, H.M., Schulz, J., Romagnan, J.-B., Picheral, M., Pearlman, J., Ohman, M.D., Niehoff, B., Möller, K.O., Miloslavich, P., Lara-Lpez, A., Kudela, R., Lopes, R.M., Kiko, R., Karp-Boss, L., Jaffe, J.S., Iversen, M.H., Irisson, J.-O., Fennel, K., Hauss, H., Guidi, L., Gorsky, G., Giering, S.L.C., Gaube, P., Gallager, S., Dubelaar, G., Cowen, R.K., Carlotti, F., Briseño-Avena, C., Berline, L., Benoit-Bird, K., Bax, N., Batten, S., Ayata, S.D., Artigas, L.F., Appeltans, W., 2019. Globally Consistent Quantitative Observations of Planktonic Ecosystems. Front. Mar. Sci. 6, 196. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00196

López-Urrutia, Á., Irigoien, X., Acuña, J.L., Harris, R., 2003. In situ feeding physiology and grazing impact of the appendicularian community in temperate waters. Marine Ecology Progress Series 252, 125–141. https://doi.org/10.3354/meps252125

Lucas, C.H., 2001. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, Aurelia aurita, in relation to its ambient environment. Hydrobiologia 451, 229–246. https://doi.org/10.1023/A:1011836326717

Lucas, C.H., Jones, D.O.B., Hollyhead, C.J., Condon, R.H., Duarte, C.M., Graham, W.M., Robinson, K.L., Pitt, K.A., Schildhauer, M., Regetz, J., 2014. Gelatinous zooplankton biomass in the global oceans: geographic variation and environmental drivers. Global Ecology and Biogeography 23, 701–714. https://doi.org/10.1111/geb.12169

Magliozzi, C., Druon, J.N., Palialexis, A., Aguzzi, L., Alexande, B., Antoniadis, K., Artigas, L.F., Azzellino, A., Bisinicu, E., Boicenco, L., Bojanic, N., Borrello, P., Boschetti, S., Carmo, V., Cervantes, P., Coll, M., Curmi, M., Del Amo, Y., Dutz, J., Francé, J., Garcés, E., Gea, G., Giannakourou, A., Goberville, E., Goffart, A., Gomes Pereira, J.N., González-Quirós, R., Gorokhova, E., Helaouet, P., Henriques, F., Heyden, B., Jaanus, A., Jakobsen, H., Johansen, M., Jurgensone, I., Korpinen, S., Kremp, A., Kuosa, H., Labayle, L., Lazar, L., Guglielmo, L., McQuatters-Gollop, A., Nincevic, Z., Pagou, K., Penna, A., Pettersson, K., Ruiter, H., Skejić, S., Spada, E., Spinu, A., Tew-Kai, E., Totti, C., Tunesi, L., Vadrucci, M.R., Valavanis, V., Varkitzi, I., Vasiliades, L., Veldeki, G., Vidjak, O., Vincent, D., Zervoudaki, S., 2021. Pelagic habitats under the MSFD D1: scientific advice of policy relevance. European Commission, Luxembourg. https://doi.org/10.2760/081368

Magliozzi, C., Palma, M., Druon, J.-N., Palialexis, A., Abigail, M.-G., Ioanna, V., Rafael, G.-Q., Elena, G., Birgit, H., Laura, B., Felipe, A.L., 2023. Status of pelagic habitats within the EU-Marine Strategy Framework Directive: Proposals for improving consistency and representativeness of the assessment. Marine Policy 148, 105467. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105467

Marques, R., Albouy-Boyer, S., Delpy, F., Carré, C., Le Floc'h, É., Roques, C., Molinero, J.-C., Bonnet, D., 2015. Pelagic population dynamics of *Aurelia* sp. in French Mediterranean lagoons. J. Plankton Res. 37, 1019–1035. https://doi.org/10.1093/plankt/fbv059

Marquis, E., Niquil, N., Delmas, D., Hartmann, H.J., Bonnet, D., Carlotti, F., Herbland, A., Labry, C., Sautour, B., Laborde, P., Vézina, A., Dupuy, C., 2007. Inverse analysis of the planktonic food web dynamics related to phytoplankton bloom development on the continental shelf of the Bay of Biscay, French coast. Estuarine, Coastal and Shelf Science 73, 223–235. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.01.003

McQuatters-Gollop, A., Atkinson, A., Aubert, A., Bedford, J., Best, M., Bresnan, E., Cook, K., Devlin, M., Gowen, R., Johns, D.G., Machairopoulou, M., McKinney, A., Mellor, A., Ostle, C., Scherer, C., Tett, P., 2019. Plankton lifeforms as a biodiversity indicator for regional-scale assessment of pelagic habitats for policy. Ecological Indicators 101, 913–925. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.010

McQuatters-Gollop, A., Guérin, L., Arroyo, N.L., Aubert, A., Artigas, L.F., Bedford, J., Corcoran, E., Dierschke, V., Elliott, S.A.M., Geelhoed, S.C.V., Gilles, A., González-Irusta, J.M., Haelters, J., Johansen, M., Le Loc'h, F., Lynam, C.P., Niquil, N., Meakins, B., Mitchell, I., Padegimas, B., Pesch, R., Preciado, I., Rombouts, I., Safi, G., Schmitt, P., Schückel, U., Serrano, A., Stebbing, P., De la Torriente, A., Vina-Herbon, C., 2022. Assessing the state of marine biodiversity in the Northeast Atlantic. Ecological Indicators 141, 109148. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109148

Nagendra, H., 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. Applied Geography 22, 175–186. https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00002-4

Ndah, A.B., Meunier, C.L., Kirstein, I.V., Göbel, J., Rönn, L., Boersma, M., 2022. A systematic study of zooplankton-based indices of marine ecological change and water quality: Application to the European marine strategy framework Directive (MSFD). Ecological Indicators 135, 108587. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108587

Neaud-Masson, N., 2020. Observation et dénombrement du phytoplancton marin par microscopie optique. Spécifications techniques et méthodologiques appliquées au REPHY. Version 2 - Février 2020.

O'Brien, T.D., Wiebe, P.H., Falkenhaug, T. (Eds.), 2013. ICES zooplankton status report. 2010/11, ICES cooperative research report Spec. Iss. Internat. Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.

Oksanen, J., Blanchet, G., Friendly, M., Roeland, K., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P., O'Hara, R.B., Simpson, G., Solymos, P., Stevens, H., Szoecs, E., Wagner, H., 2022. vegan : Community Ecology Package. R package version 2.6-4.

OSPAR, 2023a. CEMP Guideline for Pelagic Habitats thematic assessment integration method (No. Agreement 2023-07). OSPAR Commission.

OSPAR, 2023b. Pelagic Habitats Thematic Assessment, OSPAR, 2023: Quality Status Report 2023. OSPAR Commission, London.

Ostle, C., Paxman, K., Graves, C.A., Arnold, M., Artigas, L.F., Atkinson, A., Aubert, A., Baptie, M., Bear, B., Bedford, J., Best, M., Bresnan, E., Brittain, R., Broughton, D., Budria, A., Cook, K., Devlin, M., Graham, G., Halliday, N., Hélaouët, P., Johansen, M., Johns, D.G., Lear, D., Machairopoulou, M., McKinney, A., Mellor, A., Milligan, A., Pitois, S., Rombouts, I., Scherer, C., Tett, P., Widdicombe, C., McQuatters-Gollop, A., 2021. The Plankton Lifeform Extraction Tool: a digital tool to increase the discoverability and usability of plankton time-series data. Earth System Science Data 13, 5617–5642. https://doi.org/10.5194/essd-13-5617-2021

Pasternak, A.F., Drits, A.V., Flint, M.V., 2017. Feeding, egg production, and respiration rate of pteropods Limacina in Arctic seas. Oceanology 57, 122–129. https://doi.org/10.1134/S000143701701012X

Pielou, E.C., 1966. Shannon's Formula as a Measure of Specific Diversity: Its Use and Misuse. The American Naturalist 100, 463–465. https://doi.org/10.1086/282439

Pinheiro, J., Bates, D., R Core Team, 2024. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models.

Poulet, S., Laabir, M., CHAUDRON, Y., 1996. Characteristic features of zooplankton in the Bay of Biscay. Scientia Marina 60.

Purcell, J.E., Arai, M.N., 2001. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review. Hydrobiologia 451, 27–44. https://doi.org/10.1023/A:1011883905394

Purcell, J.E., Clarkin, E., Doyle, T.K., 2012. Foods of Velella velella (Cnidaria: Hydrozoa) in algal rafts and its distribution in Irish seas, in: Purcell, J., Mianzan, H., Frost, J.R. (Eds.), Jellyfish Blooms IV: Interactions with Humans and Fisheries. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 47–55. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5316-7_4

Purcell, J.E., Uye, S., Lo, W.-T., 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. Marine Ecology Progress Series 350, 153–174. https://doi.org/10.3354/meps07093

Richardson, A.J., Bakun, A., Hays, G.C., Gibbons, M.J., 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. Trends in Ecology & Evolution 24, 312–322. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.01.010

Richardson, A.J., Schoeman, D.S., 2004. Climate Impact on Plankton Ecosystems in the Northeast Atlantic. Science 305, 1609–1612. https://doi.org/10.1126/science.1100958

Riisgård, H.U., Svane, I., 1999. Filter Feeding in Lancelets (Amphioxus), Branchiostoma lanceolatum. Invertebrate Biology 118, 423–432. https://doi.org/10.2307/3227011

Roberts, D.W., 2023. labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology 2.1–0. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.labdsv

Romagnan, J.-B., Legendre, L., Guidi, L., Jamet, J.-L., Jamet, D., Mousseau, L., Pedrotti, M.-L., Picheral, M., Gorsky, G., Sardet, C., Stemmann, L., 2015. Comprehensive Model of Annual Plankton Succession Based on the Whole-Plankton Time Series Approach. PLOS ONE 10, e0119219. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119219

Rombouts, I., Beaugrand, G., Fizzala, X., Gaill, F., Greenstreet, S.P.R., Lamare, S., Le Loc'h, F., McQuatters-Gollop, A., Mialet, B., Niquil, N., Percelay, J., Renaud, F., Rossberg, A.G., Féral, J.P., 2013. Food web indicators under the Marine Strategy Framework Directive: From complexity to simplicity? Ecological Indicators 29, 246–254. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.021

Saiz, E., Kiørboe, T., 1995. Predatory and suspension feeding of the copepod Acartia tonsa in turbulent environments. Mar. Ecol. Prog. Ser. 122, 147–158. https://doi.org/10.3354/meps122147

Shannon, C., Weaver, W., 1963. The mathematical theory of communication. University Illinois Press, Urbana, Illinois.

Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity.

Smith, A., Batson, P., Echilleos, K., Tamberg, Y., 2022. Collecting and Culturing Bryozoans for Regenerative Studies, in: Whole-Body Regeneration: Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology.

Sommer, U., Adrian, R., De Senerpont Domis, L., Elser, J.J., Gaedke, U., Ibelings, B., Jeppesen, E., Lürling, M., Molinero, J.C., Mooij, W.M., Van Donk, E., Winder, M., 2012. Beyond the Plankton Ecology Group (PEG) Model: Mechanisms Driving Plankton Succession. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 43, 429–448. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110411-160251

Sourisseau, M., Daniel, A., Rogé, M., 2012. Caractéristiques et état écologique - Golfe de Gascogne - ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE - Caractéristiques chimiques : Répartition spatio-temporelle de l'oxygène. Ifremer.

Strathmann, R.R., 1971. The feeding behavior of planktotrophic echinoderm larvae: Mechanisms, regulation, and rates of suspensionfeeding. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 6, 109–160. https://doi.org/10.1016/0022-0981(71)90054-2

Suárez-Morales, E., 2018. Monstrilloid Copepods: the Best of Three Worlds. soca 117, 92–103. https://doi.org/10.3160/3646.1

Sun, R., Wang, Y., Wang, C., Xiang, P., Chen, X., Xing, B., 2022. Research advance in the taxonomy and ecology of Oncaeidae Giesbrecht, 1893. Front. Mar. Sci. 9, 919877. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.919877

Takahashi, K., 2004. Feeding ecology of mysids in freshwater and coastal marine habitats; A review. Bulletin of Plankton Society of Japan (Japan) 51.

Thibault, D., 2024. Campagnes de suivi 2022-2024 du zooplancton préalablement a l'installation d'un champ éolien au large de Belle-Ile (Bretagne sud). Rapport final. (MIO publ. No. 1–15).

Tito, O., Traifalgar, R., Pan, M., 2015. Feeding Responses of Cuttlefish (Sepia pharaonis) at Early Hatchling Stages. Asian Journal of Animal Sciences 9, 396–403. https://doi.org/10.3923/ajas.2015.396.403

Valdés, L., López-Urrutia, A., Beaugrand, G., Harris, R.P., Irigoien, X., 2022. Seasonality and interannual variability of copepods in the Western English Channel, Celtic Sea, Bay of Biscay, and Cantabrian Sea with a special emphasis to *Calanus helgolandicus* and *Acartia clausi*. ICES Journal of Marine Science 79, 727–740. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac052

Valdés, L., López-Urrutia, A., Cabal, J., Alvarez-Ossorio, M., Bode, A., Miranda, A., Cabanas, M., Huskin, I., Anadón, R., Alvarez-Marqués, F., Llope, M., Rodríguez, N., 2007. A decade of sampling in the Bay of Biscay: What are the zooplankton time series telling us? Progress in Oceanography, Ecological Functioning of the Iberian Seas: A synthesis of GLOBEC Research in Spain and Portugal 74, 98–114. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.04.016

Vandermeirsch, F., 2012. Caractéristiques et état écologique. Golfe de Gascogne. Etat physique et chimique. Catactéristiques physiques : répartitition spatio-temporelle de la température et de la salinité. Ifremer.

Whittaker, R.H., 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. Ecological Monographs 30, 279–338. https://doi.org/10.2307/1943563

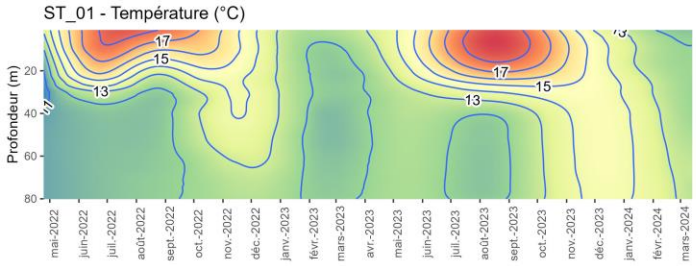
Wobbrock, J.O., Findlater, L., Gergle, D., Higgins, J.J., 2011. The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures, in: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 143–146. https://doi.org/10.1145/1978942.1978963

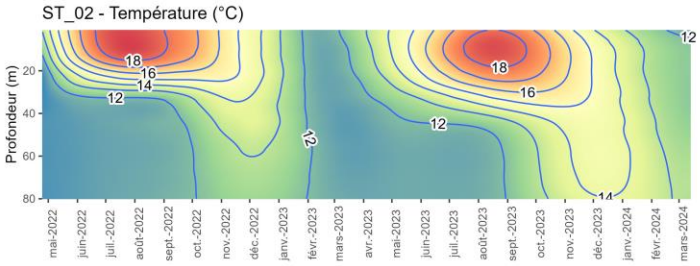
Zaldua-Mendizabal, N., Louzao, M., Doyle, T.K., Cotano, U., 2021. Community structure of gelatinous zooplankton in a temperate ecosystem: Spatial patterns and underlying drivers. Regional Studies in Marine Science 43, 101673. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101673

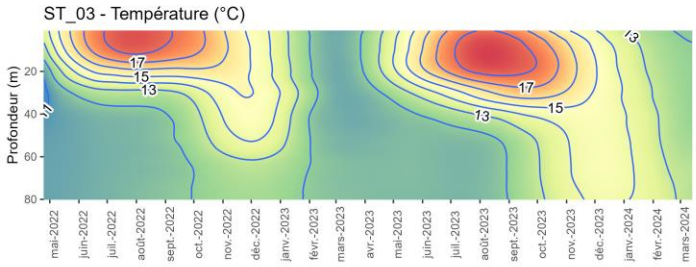
Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A., Smith, G.M., 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R, Statistics for Biology and Health. Springer, New York, NY.

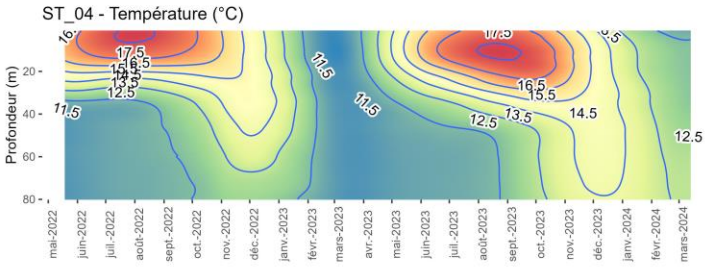
6.4 ANNEXE 4 : DETAIL PAR STATION DE CHAQUE PARAMETRE ENVIRONNEMENTAL MESUREE A LA SONDE PENDANT LES CAMPAGNES EN MER ENTRE AVRIL 2022 ET MARS 2024 (SOURCE : SETEC ENERGIE ENVIRONNEMENT, 2024)

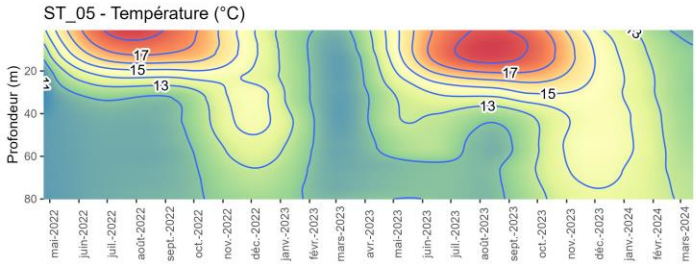
- Profil de température mesurée à la sonde à chaque station entre avril 2022 et mars 2024

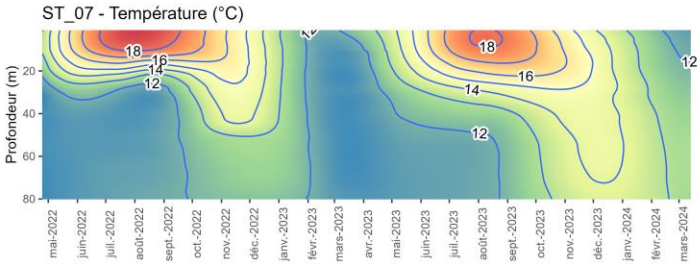


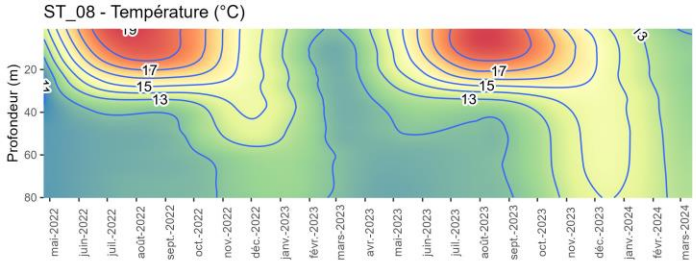


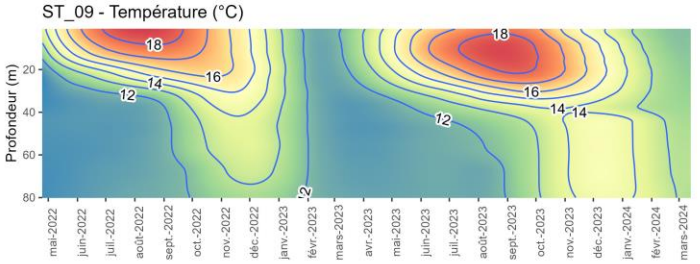


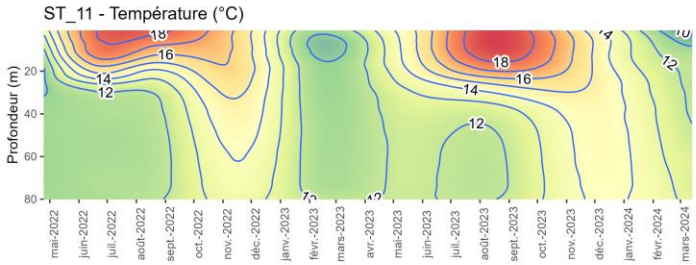




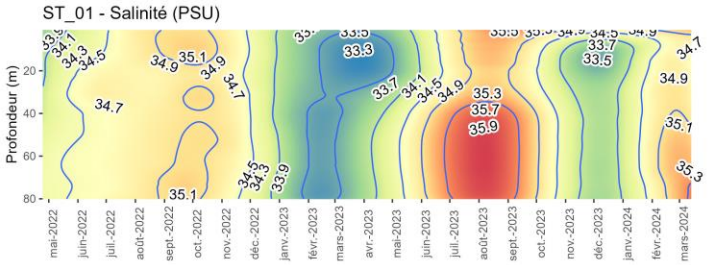


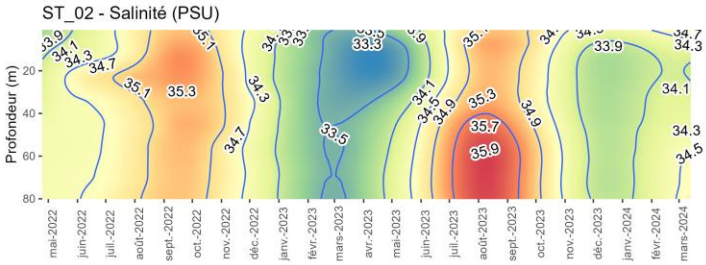


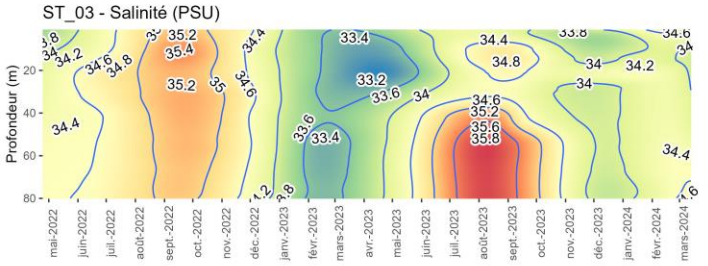


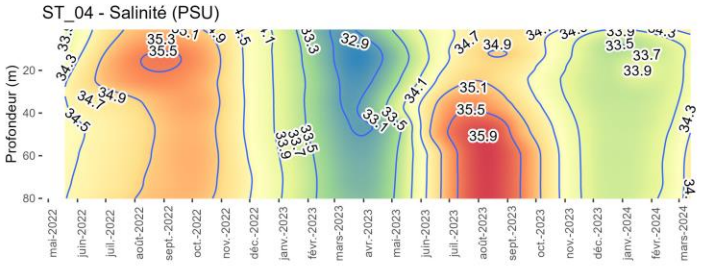


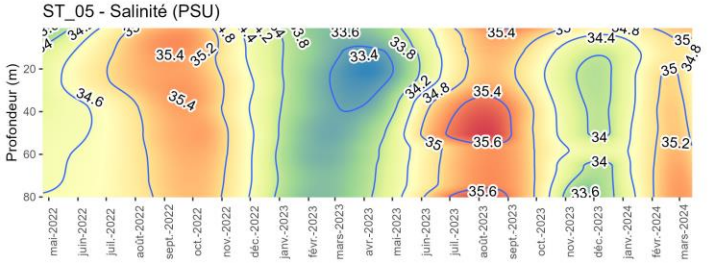
- Profil de salinité mesurée à la sonde à chaque station entre avril 2022 et mars 2024

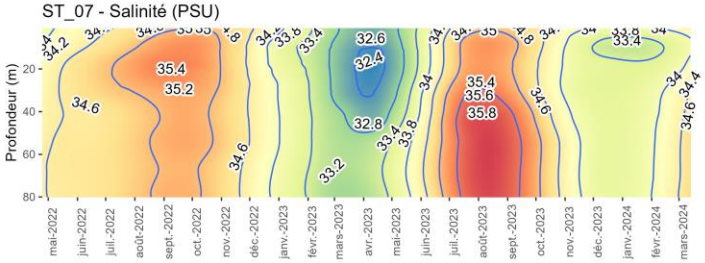


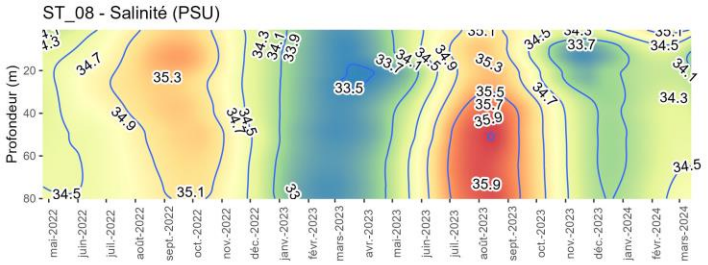


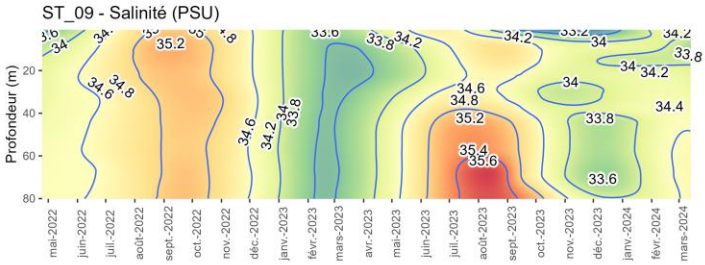


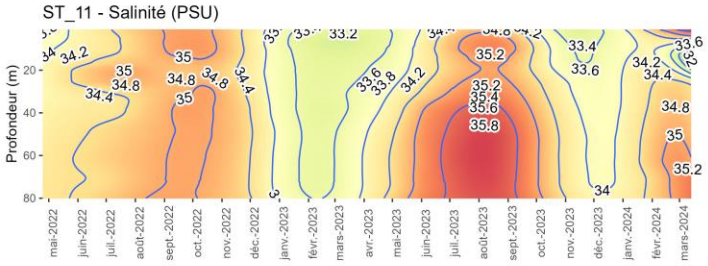




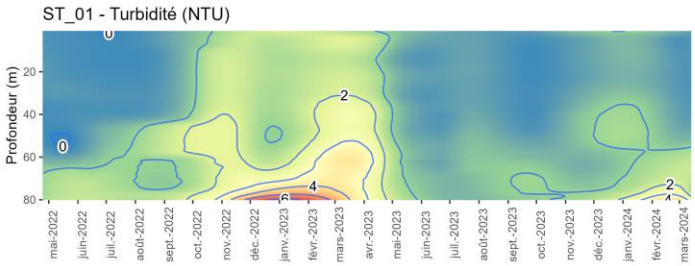


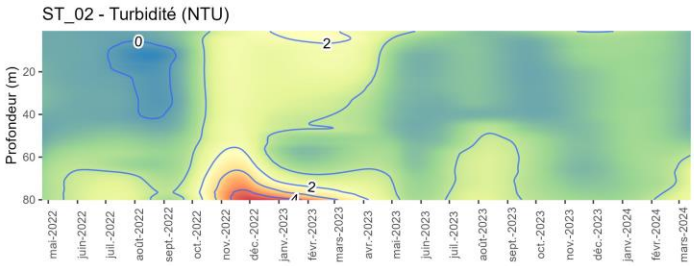


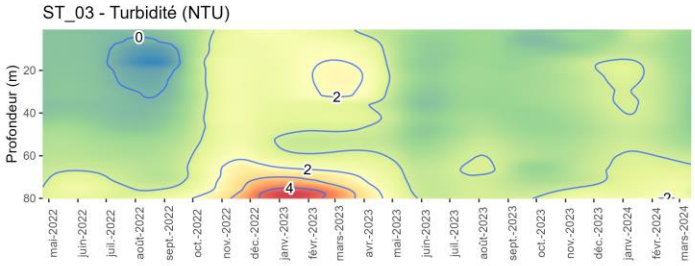


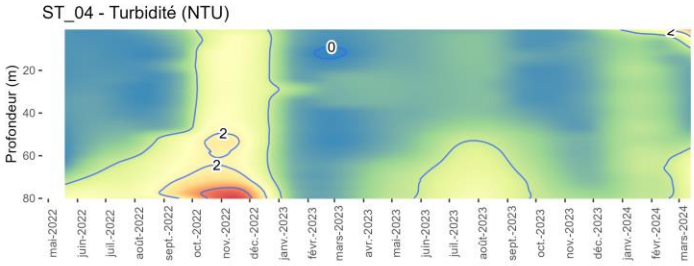


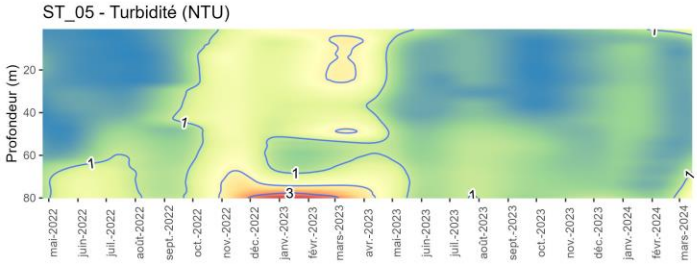
- Profil de turbidité mesurée à la sonde à chaque station entre avril 2022 et mars 2024

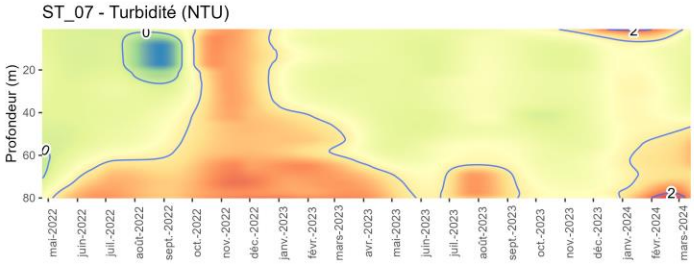


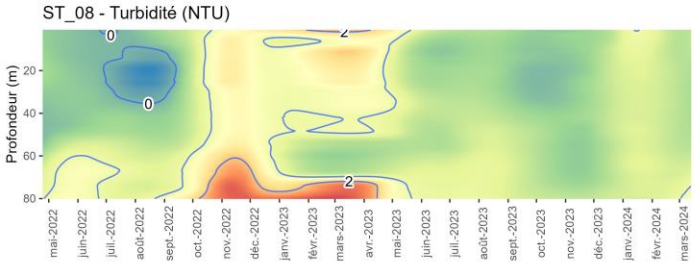


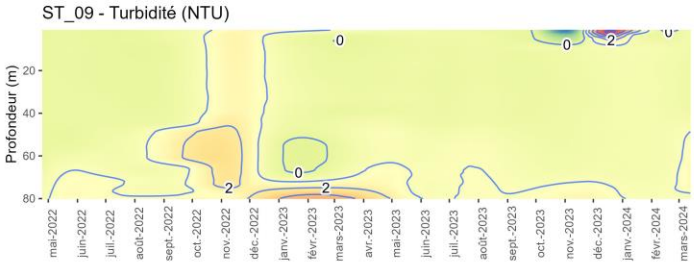


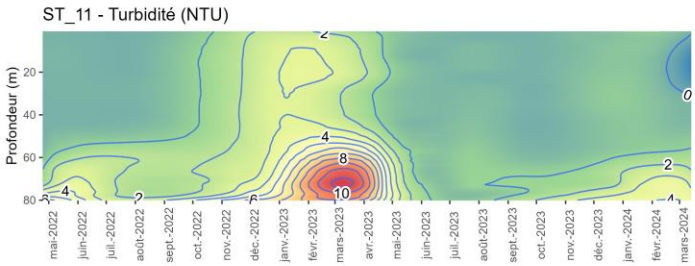




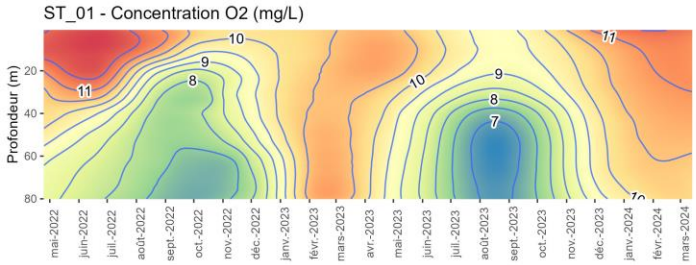


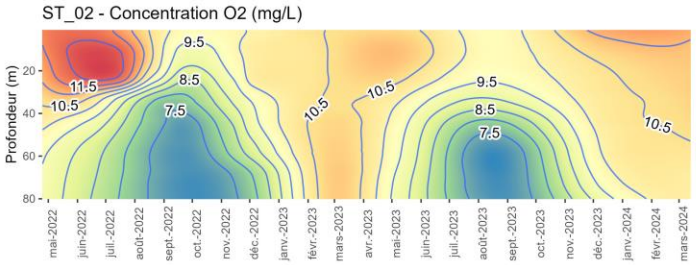


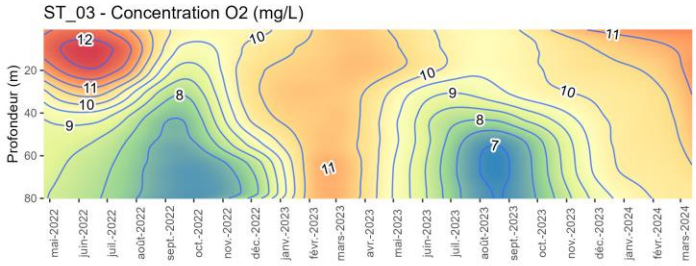


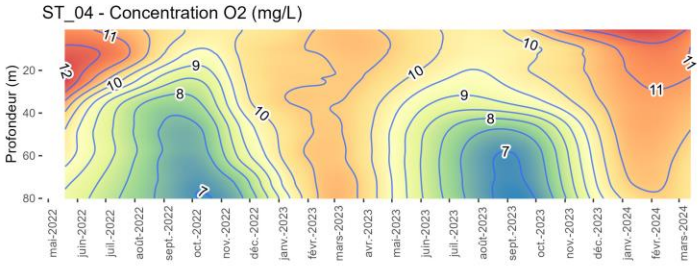


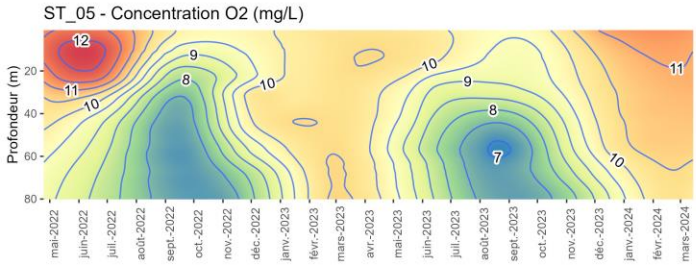
- Profil de la concentration en oxygène dissous mesurée à la sonde à chaque station entre avril 2022 et mars 2024

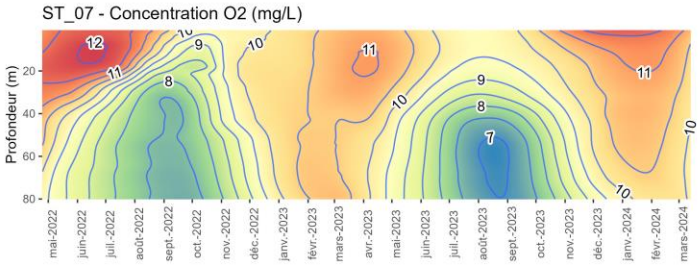


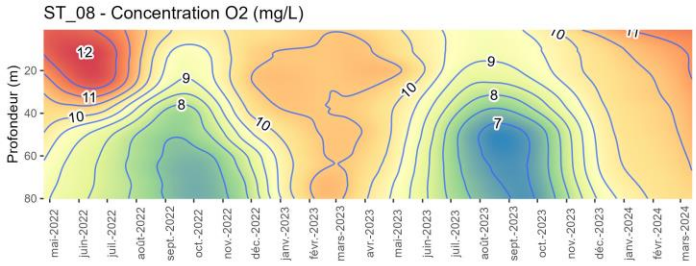


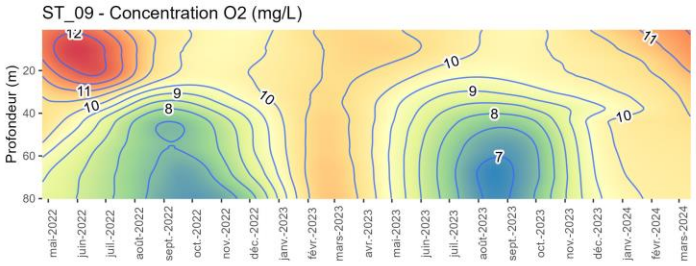


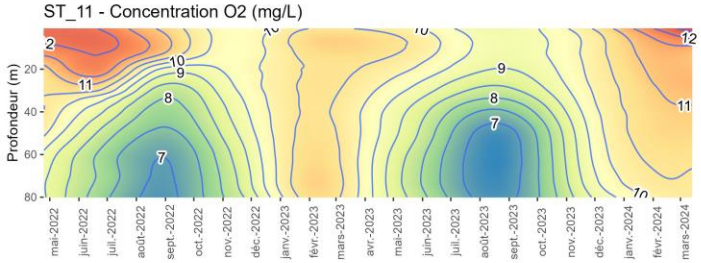










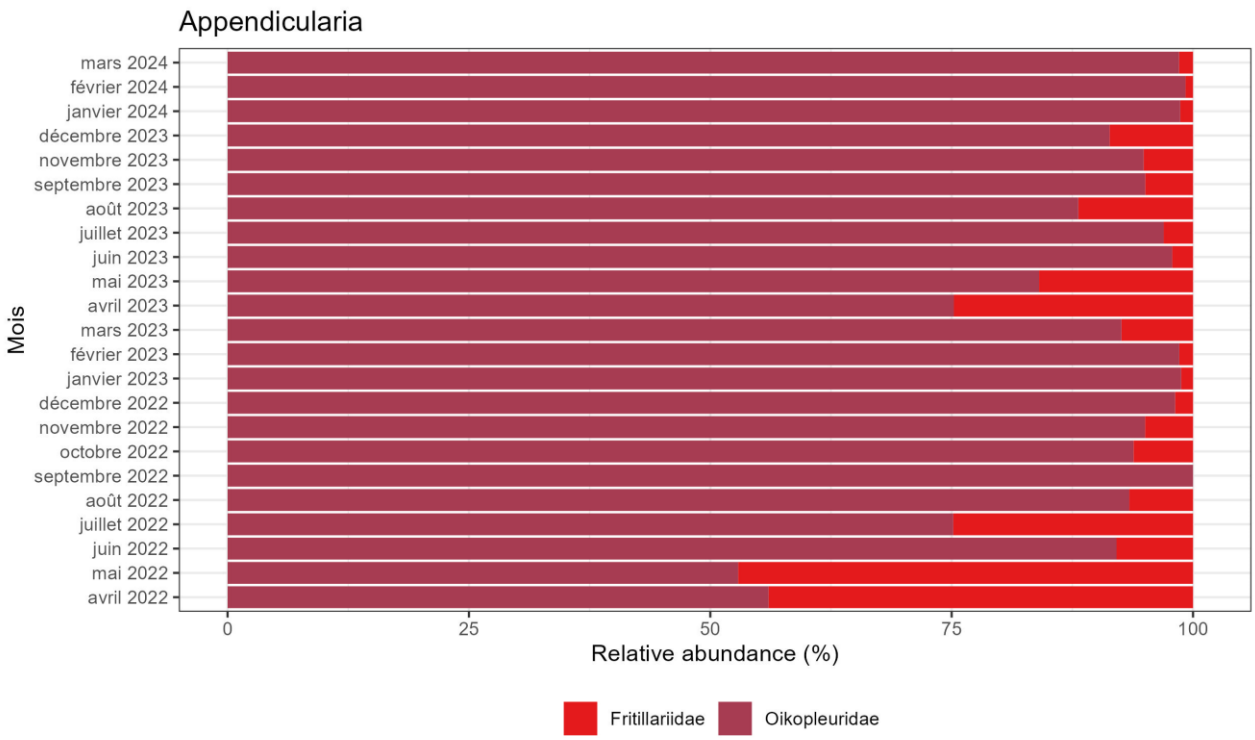


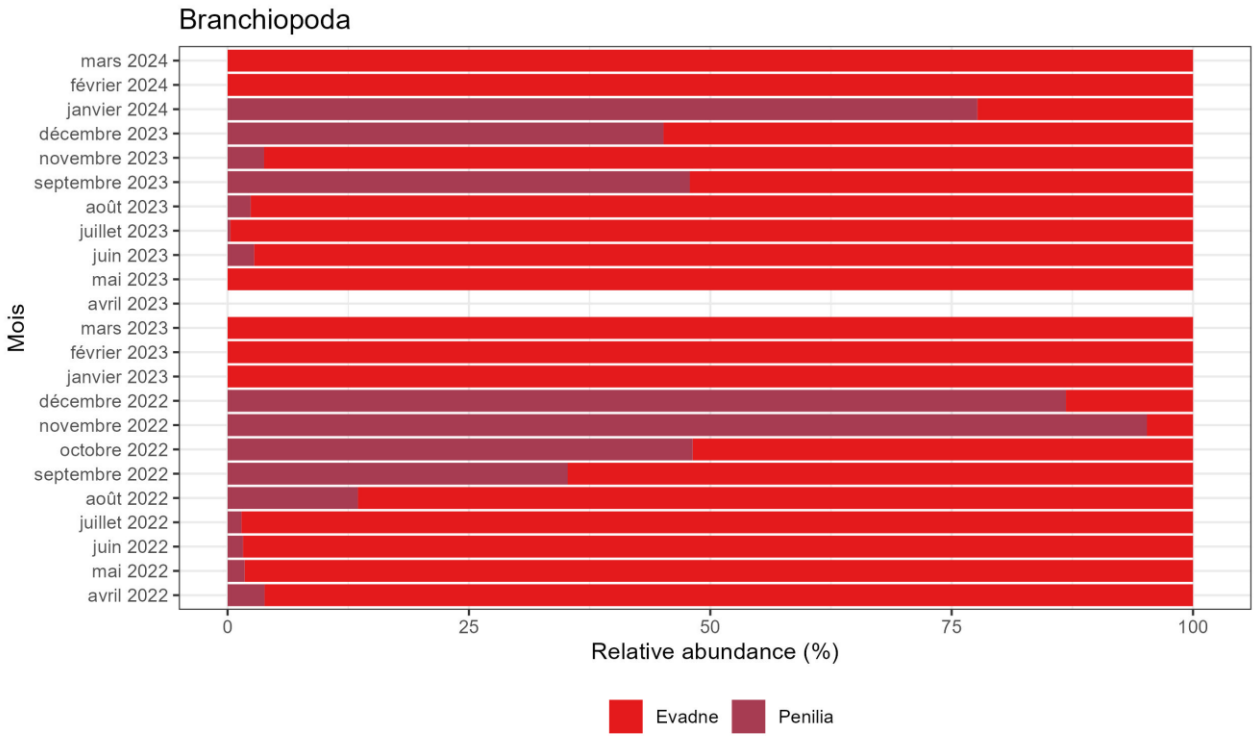
6.5 Annexe 5 : Resultats de l'analyse SIMPER pour les trois unites taxonomiques phytoplanctoniques les plus importantes (source : SETEC ENERGIE ENVIRONNEMENT, 2024)

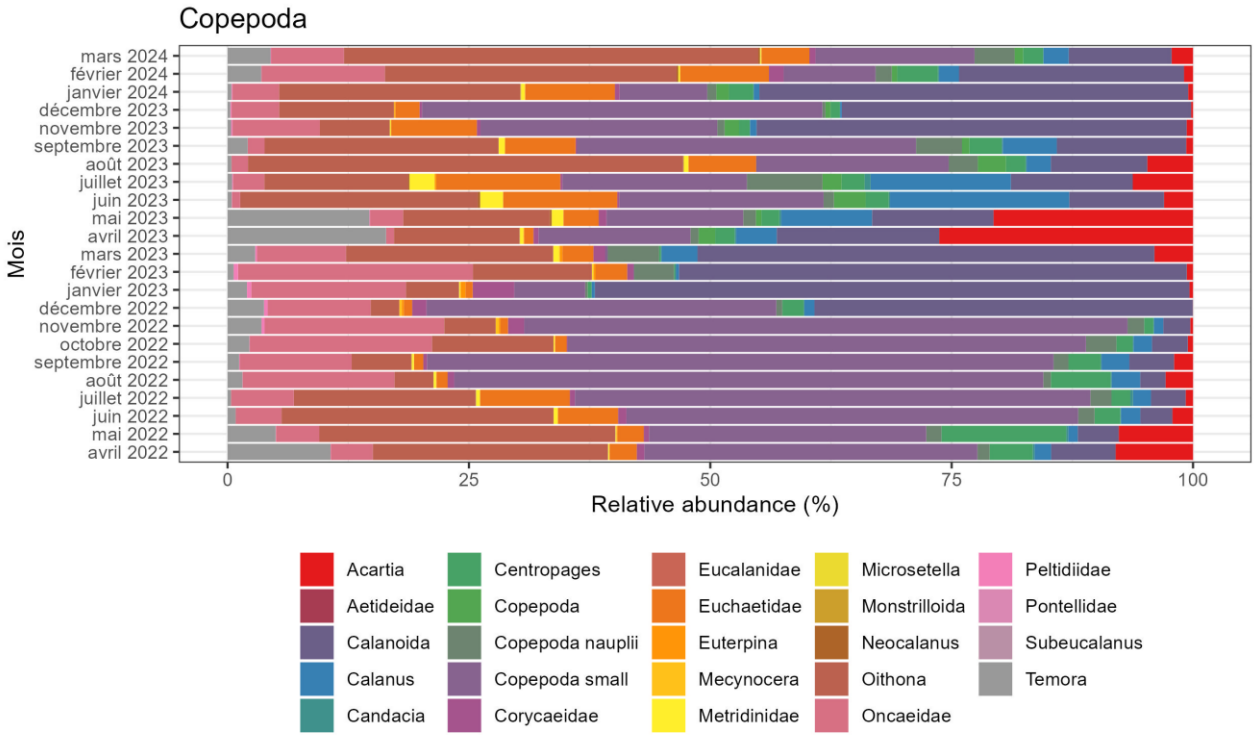
UT	Classe	Pair de groupe	Dissimilarité entre les groupes	Contribution moyenne de l'UT à la dissimilarité entre les groupes (±ET)	Abondance moyenne en $log_{10}(x+1)$ de l'UT dans le 1er groupe (avant « _ »)	Abondance moyenne en $log_{10}(x+1)$ de l'UT dans le 2ème groupe (avant « _ »)	*p value*
Leptocylindrus danicus	Diatomées	1_2	0.69	0.05 (±0.03)	0	4.98	0.001
Tripos spp	Diatomées	1_2	0.69	0.045 (±0.01)	0	4.63	0.001
Karlodinium	Dinoflagellés	1_2	0.69	0.04 (±0.01)	4.19	0.27	0.001
Chaetoceros spp	Diatomées	1_3	0.67	0.05 (±0.01)	0	8.14	0.001
Leptocylindrus danicus	Diatomées	1_3	0.67	0.04 (±0.02)	0	6.68	0.001
Gymnodinium spp & Gyrodinium_spp	Dinoflagellés	1_3	0.67	0.03 (±0.01)	1.1	5.81	0.001
Dactyliosolen spp	Diatomées	1_4	0.68	0.05 (±0.03)	6.90	1.20	0.001
Katodinium spp	Dinoflagellés	1_4	0.68	0.05 (±0.01)	0	5.64	0.001
Gymnodinium spp & Gyrodinium_spp	Dinoflagellés	1_4	0.68	0.05 (±0.02)	1.1	5.5	0.001
Dactyliosolen spp	Diatomées	1_5	0.75	0.05 (±0.01)	6.90	0.54	0.001
Thalassiosira spp	Diatomées	1_5	0.75	0.04 (±0.02)	0.46	4.91	0.001
Chaetoceros spp	Diatomées	1_5	0.75	0.04 (±0.02)	0	4.56	0.001
Cylindrotheca closterium – Nitzschia longissima	Diatomées	2_3	0.6	0.03 (±0.01)	0.76	6.97	0.001
Pseudo-nitzschia spp	Diatomées	2_3	0.6	0.03 (±0.01)	2.28	7.63	0.001
Chaetoceros spp	Diatomées	2_3	0.6	0.03 (±0.02)	3.47	8.14	0.006
Katodinium spp	Dinoflagellés	2_4	0.67	0.04 (±0.01)	0.23	5.64	0.001
Leptocylindrus danicus	Diatomées	2_4	0.67	0.04 (±0.02)	4.98	0	0.001
Dactyliosolen spp	Diatomées	2_4	0.75	0.03 (±0.03)	4.35	1.2	0.001
Cylindrotheca closterium – Nitzschia longissima	Diatomées	2_5	0.75	0.05 (±0.01)	0.76	7.92	0.001
Leptocylindrus danicus	Diatomées	2_5	0.75	0.03 (±0.02)	4.98	0.20	0.001
Diploneis spp	Diatomées	2_5	0.75	0.03 (±0.02)	0	4.48	0.001
Chaetoceros spp	Diatomées	3_4	0.62	0.04 (±0.02)	8.14	0.69	0.001

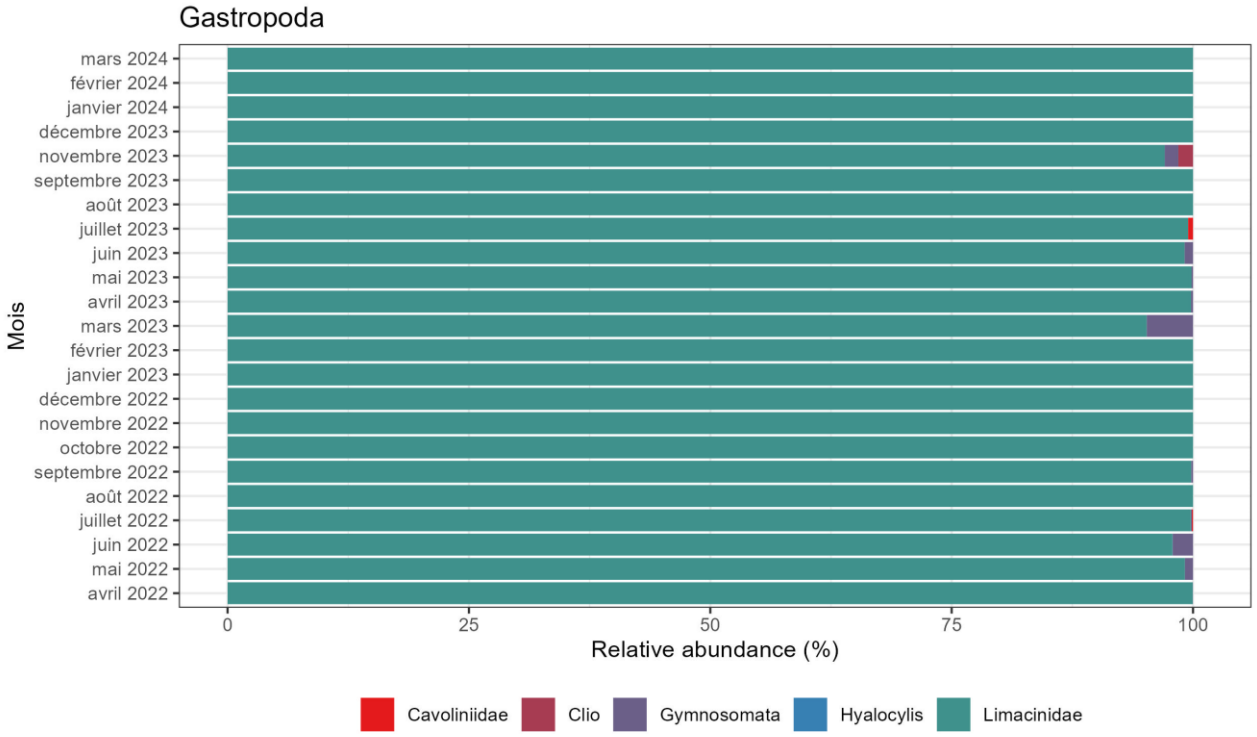
Leptocylindrus danicus	Diatomées	3_4	0.62	0.03 (±0.02)	6.68	0	0.001
Dactyliosolen spp	Diatomées	3_4	0.62	0.03 (±0.02)	6.66	1.2	0.001
Leptocylindrus danicus	Diatomées	3_5	0.62	0.03 (±0.02)	6.68	0.20	0.001
Dactyliosolen spp	Diatomées	3_5	0.62	0.03 (±0.01)	6.66	0.53	0.001
Pseudo-nitzschia spp	Diatomées	3_5	0.62	0.02 (±0.01)	7.63	2.59	0.001
Diploneis spp	Diatomées	4_5	0.67	0.03 (±0.02)	0	4.48	0.001
Thalassiosira_spp	Diatomées	4_5	0.67	0.03 (±0.02)	0.89	4.91	0.001
Chaetoceros spp	Diatomées	4_5	0.67	0.03 (±0.02)	0.69	4.56	0.001

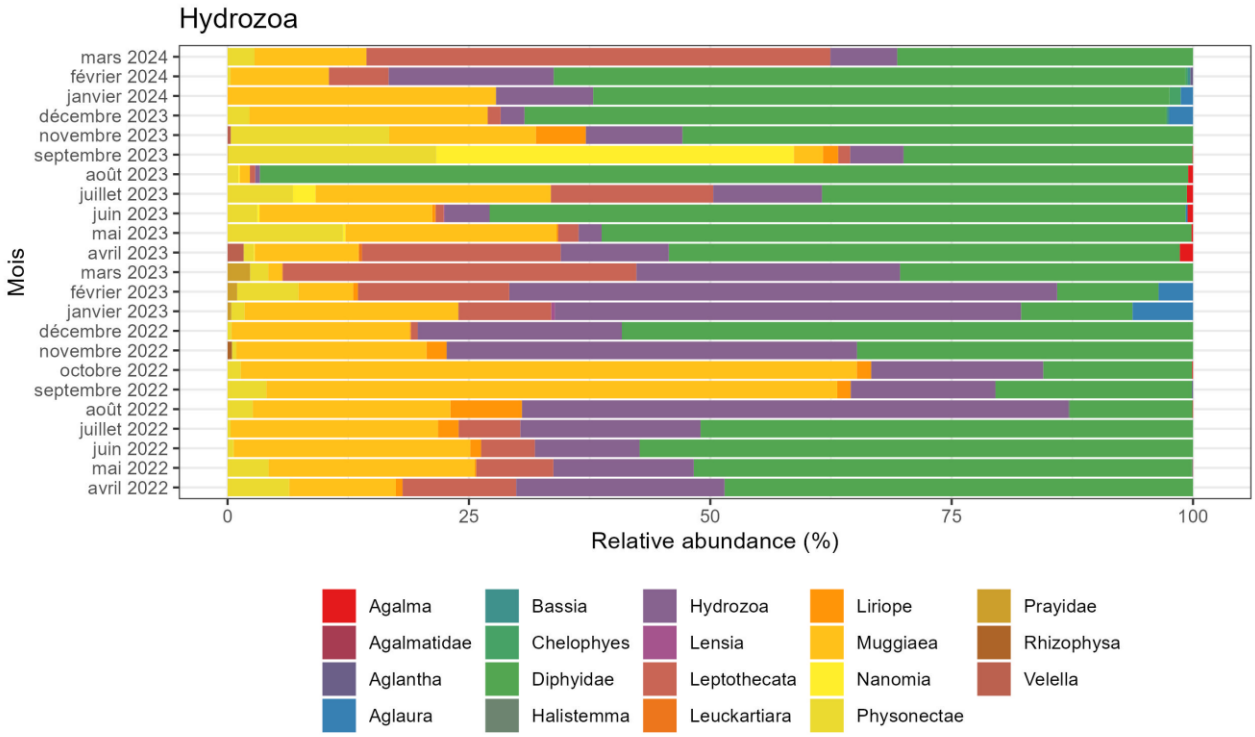
6.6 Annexe 6 : Abondance relative (%) des organismes identifies au niveau taxonomique inferieur pour chaque classe indiquee dans la Figure 46. (source : setec energie environnement, 2024)

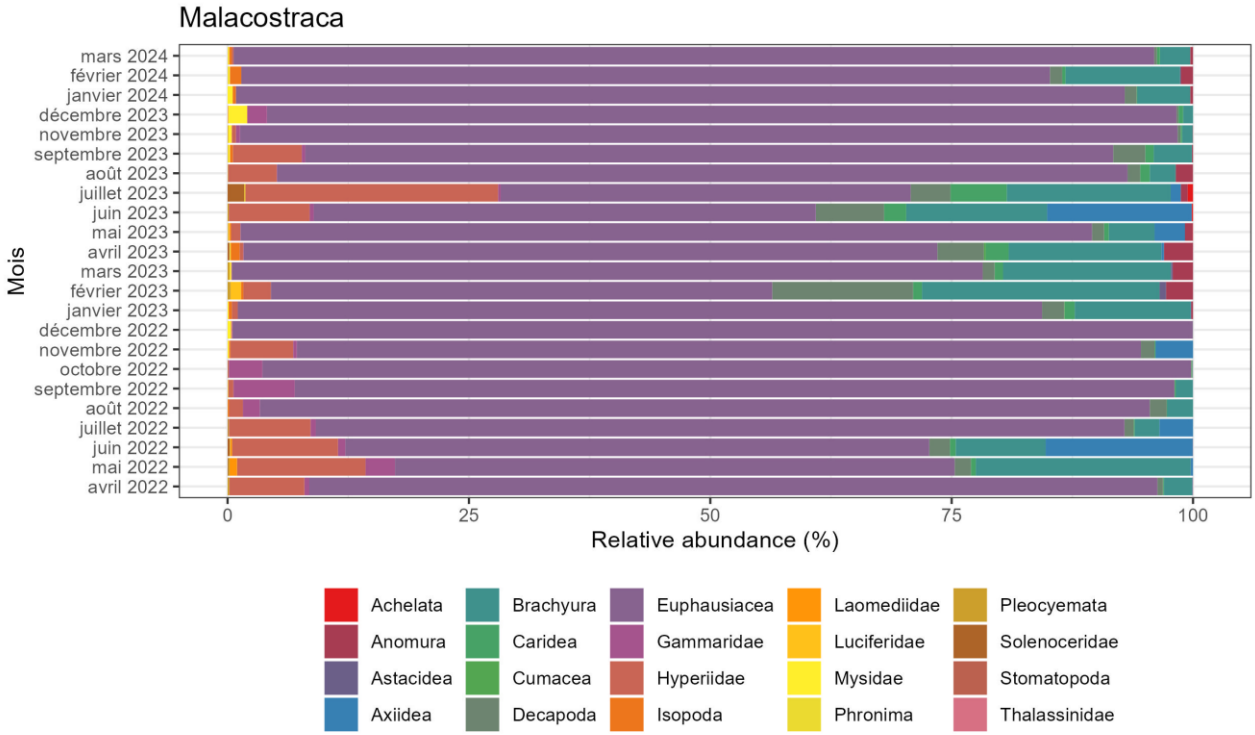


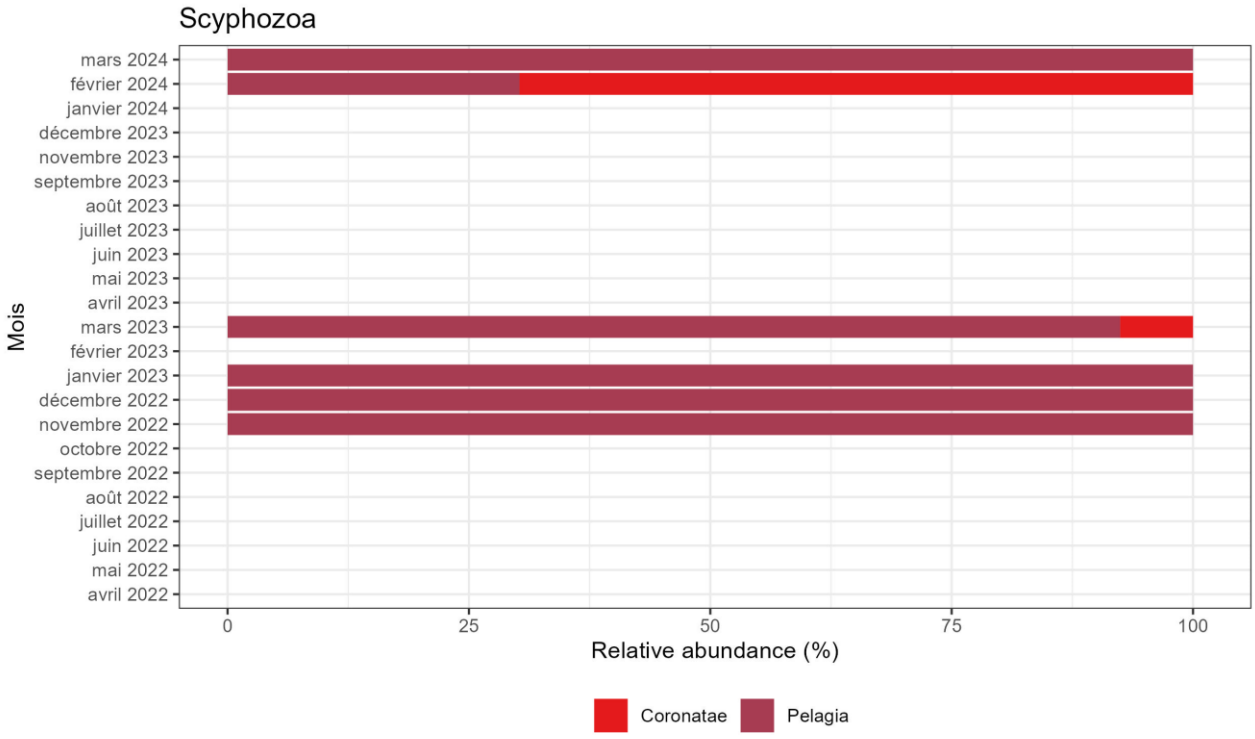


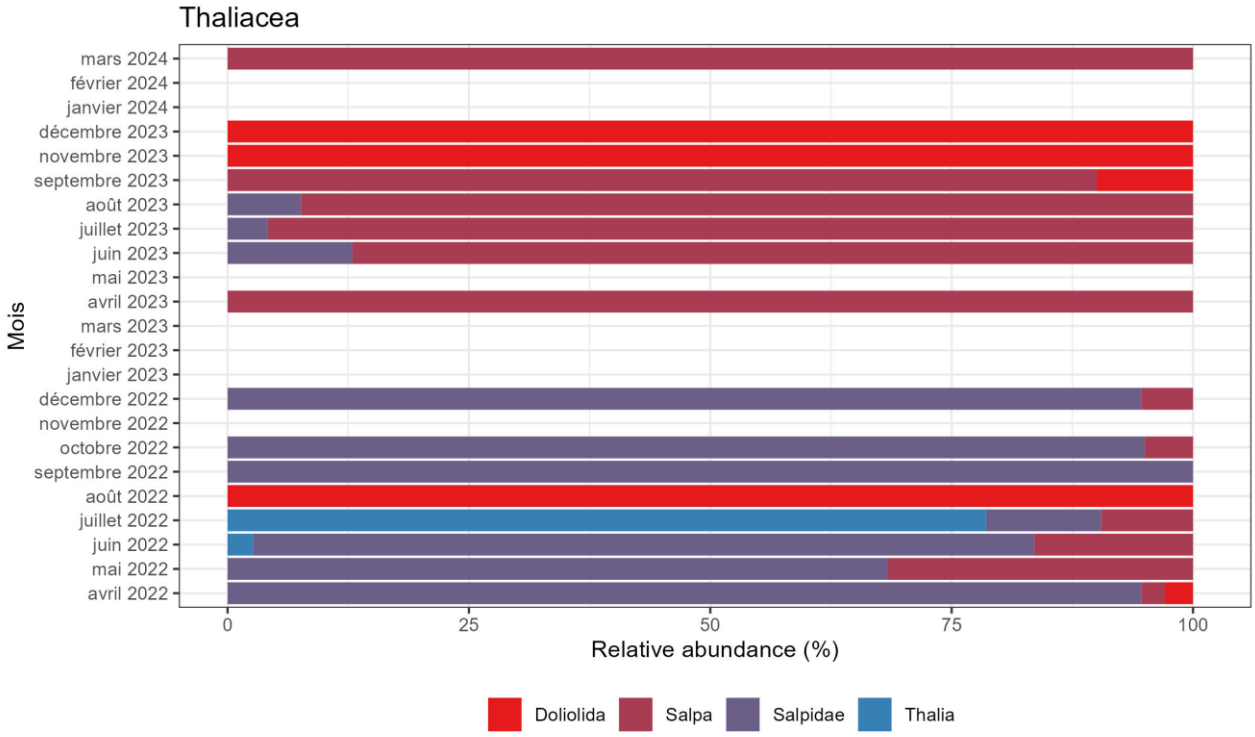

Copepoda
Mois
mars 2024
février 2024
janvier 2024
décembre 2023
novembre 2023
septembre 2023
août 2023
juillet 2023
juin 2023
mai 2023
avril 2023
mars 2023
février 2023
janvier 2023
décembre 2022
novembre 2022
octobre 2022
septembre 2022
août 2022
juillet 2022
juin 2022
mai 2022
avril 2022
0
25
50
75
100
Relative abundance (%)
Acartia
Aetideidae
Calanoida
Calanus
Candacia
Centropages
Copepoda
Copepoda nauplii
Copepoda small
Corycaeidae
Eucalanidae
Euchaetidae
Euterpina
Mecynocera
Metridinidae
Microsetella
Monstrilloida
Neocalanus
Oithona
Oncaeidae
Peltidiidae
Pontellidae
Subeucalanus
Temora

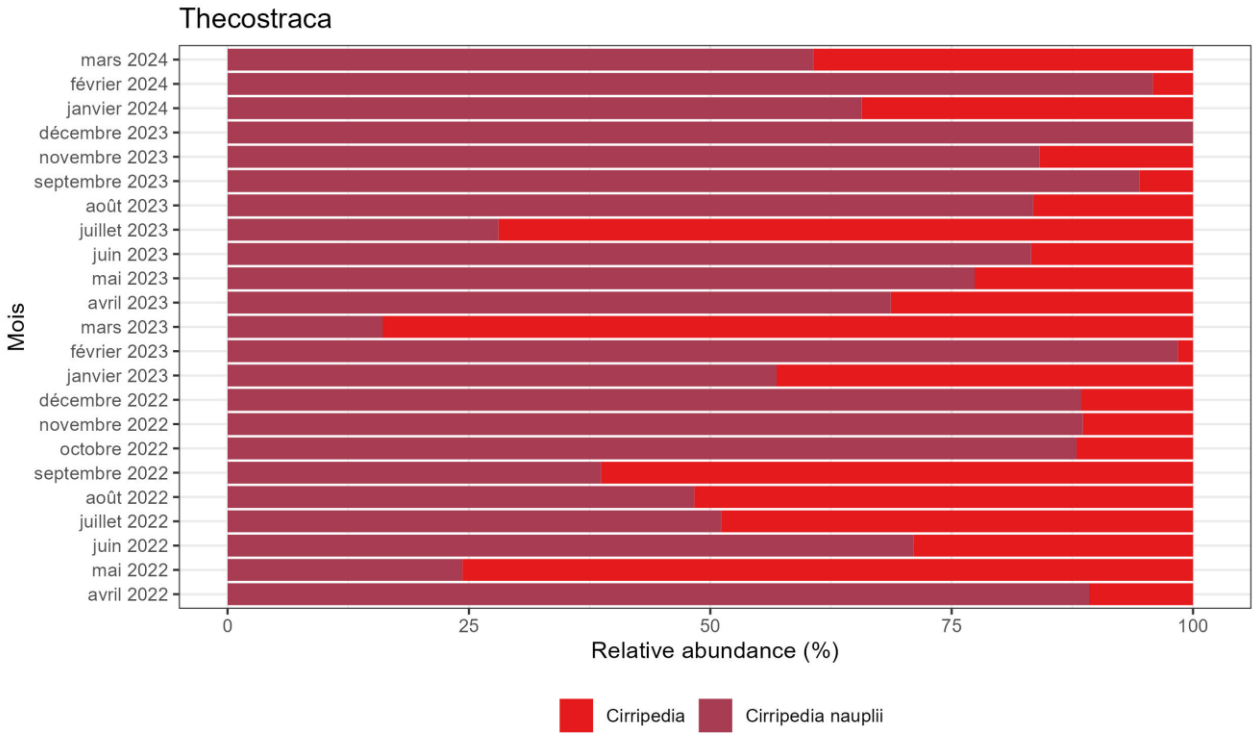

Gastropoda
Mois
mars 2024
février 2024
janvier 2024
décembre 2023
novembre 2023
septembre 2023
août 2023
juillet 2023
juin 2023
mai 2023
avril 2023
mars 2023
février 2023
janvier 2023
décembre 2022
novembre 2022
octobre 2022
septembre 2022
août 2022
juillet 2022
juin 2022
mai 2022
avril 2022
0
25
50
75
100
Relative abundance (%)
Cavoliniidae
Clio
Gymnosomata
Hyalocylis
Limacinidae


Hydrozoa
Mois
mars 2024
février 2024
janvier 2024
décembre 2023
novembre 2023
septembre 2023
août 2023
juillet 2023
juin 2023
mai 2023
avril 2023
mars 2023
février 2023
janvier 2023
décembre 2022
novembre 2022
octobre 2022
septembre 2022
août 2022
juillet 2022
juin 2022
mai 2022
avril 2022
0
25
50
75
100
Relative abundance (%)
Agalma
Agalmatidae
Aglantha
Aglaura
Bassia
Chelophyes
Diphyidae
Halistemma
Hydrozoa
Lensia
Leptothecata
Leuckartiara
Liriope
Muggiaea
Nanomia
Physonectae
Prayidae
Rhizophysa
Velella


Malacostraca
Mois
mars 2024
février 2024
janvier 2024
décembre 2023
novembre 2023
septembre 2023
août 2023
juillet 2023
juin 2023
mai 2023
avril 2023
mars 2023
février 2023
janvier 2023
décembre 2022
novembre 2022
octobre 2022
septembre 2022
août 2022
juillet 2022
juin 2022
mai 2022
avril 2022
0
25
50
75
100
Relative abundance (%)
Achelata
Anomura
Astacidea
Axiidea
Brachyura
Caridea
Cumacea
Decapoda
Euphausiacea
Gammaridae
Hyperiidae
Isopoda
Laomediidae
Luciferidae
Mysidae
Phronima
Pleocyemata
Solenoceridae
Stomatopoda
Thalassinidae


Scyphozoa
Mois
mars 2024
février 2024
janvier 2024
décembre 2023
novembre 2023
septembre 2023
août 2023
juillet 2023
juin 2023
mai 2023
avril 2023
mars 2023
février 2023
janvier 2023
décembre 2022
novembre 2022
octobre 2022
septembre 2022
août 2022
juillet 2022
juin 2022
mai 2022
avril 2022
0
25
50
75
100
Relative abundance (%)
Coronatae
Pelagia


Thaliacea
Mois
mars 2024
février 2024
janvier 2024
décembre 2023
novembre 2023
septembre 2023
août 2023
juillet 2023
juin 2023
mai 2023
avril 2023
mars 2023
février 2023
janvier 2023
décembre 2022
novembre 2022
octobre 2022
septembre 2022
août 2022
juillet 2022
juin 2022
mai 2022
avril 2022
0
25
50
75
100
Relative abundance (%)
Doliolida
Salpa
Salpidae
Thalia


Thecostraca
Mois
mars 2024
février 2024
janvier 2024
décembre 2023
novembre 2023
septembre 2023
août 2023
juillet 2023
juin 2023
mai 2023
avril 2023
mars 2023
février 2023
janvier 2023
décembre 2022
novembre 2022
octobre 2022
septembre 2022
août 2022
juillet 2022
juin 2022
mai 2022
avril 2022
0
25
50
75
100
Relative abundance (%)
Cirripedia
Cirripedia nauplii