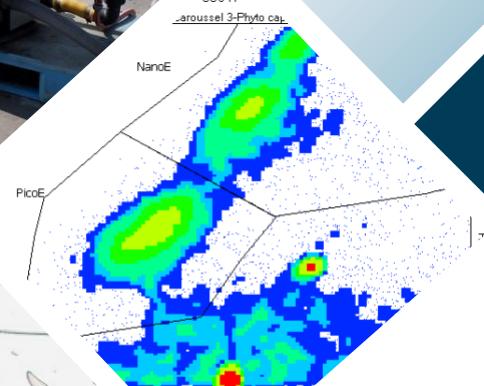
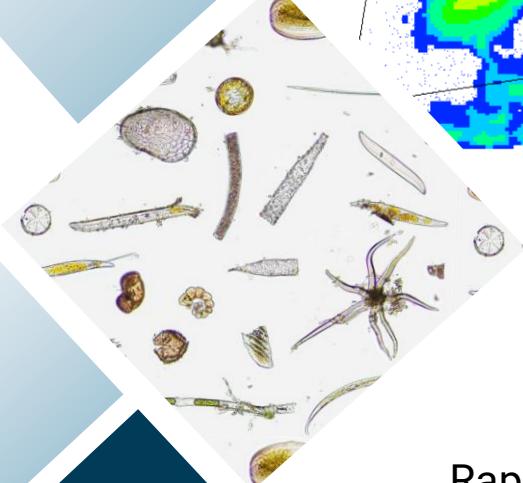
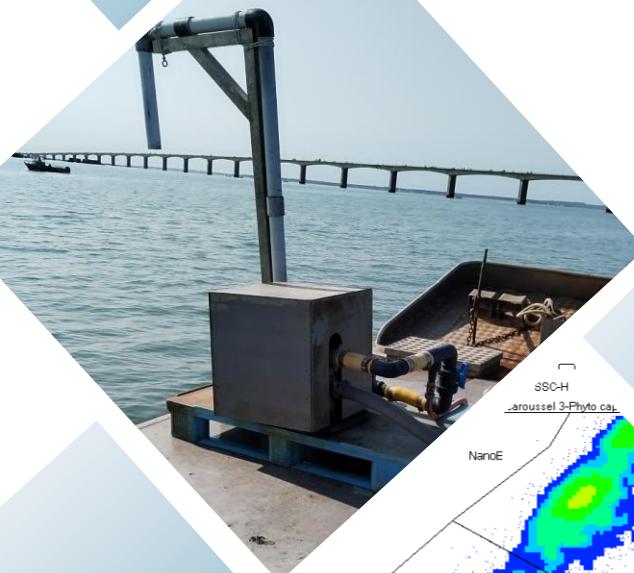


Projet ORION

Observatoire de la Ressource trophique pélagique en zone conchylicole



Rapport intermédiaire – Année 2024

Pierrick BARBIER, Marion BECHADE

Novembre 2025



Cofinancé par l'Union européenne



RÉGION
Nouvelle-
Aquitaine



Pierrick BARBIER, Marion BECHADE Projet ORION : Observatoire de la Ressource trophique pélagique en zone conchylicole	Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement de Nouvelle-Aquitaine
Projet ORION : Rapport intermédiaire – Année 2024	
Rapport d'avancement 24 pages	Novembre 2025
Barbier P., Béchade M. (2025) Projet ORION : Observatoire de la Ressource trophique pélagique en zone conchylicole – Rapport intermédiaire 2024. CAPENA, 24 p.	
<p>RÉSUMÉ :</p> <p>En 2024, le projet ORION a déployé un dispositif d'observation dédié à la caractérisation fine de la ressource trophique pélagique dans les bassins d'Arcachon et de Marennes-Oléron. Le protocole, fondé sur un prélèvement synchronisé multi-sites, une fixation immédiate et une analyse cytométrique standardisée, a permis de documenter la dynamique des communautés pico-, nano- et micro-phytoplanctoniques ainsi que des bactéries hétérotrophes.</p> <p>Les résultats révèlent un épisode phytoplanctonique majeur en été, partagé par l'ensemble des sites mais présentant des intensités contrastées selon les zones. Les successions de tailles cellulaires divergent entre bassins, traduisant des contextes hydrologiques distincts : à Arcachon, l'augmentation des plus petites cellules précède le maximum micro-phytoplanctonique, tandis qu'à Marennes-Oléron, les grandes cellules dominent précocement avant une transition vers les petites fractions. Les populations bactériennes répondent aux variations autotrophes avec un décalage temporel typique des phases de reminéralisation.</p> <p>L'analyse inter-sites met en évidence une hétérogénéité spatiale marquée, confirmée par de nombreuses différences significatives entre stations. Le test de comparaison des méthodes de fixation valide la robustesse de la procédure ORION, qui maximise la conservation des cellules tout en assurant la comparabilité avec les réseaux nationaux.</p> <p>Cette première année consolide l'architecture opérationnelle du programme et démontre la pertinence d'un suivi haute résolution des fractions planctoniques inférieures à 20 µm pour comprendre la variabilité de l'offre trophique en zones conchyliques.</p>	
Ressource trophique ; Phytoplancton ; Cytométrie en flux ; Conchyliculture	

Table des matières

I.	Contexte	4
II.	Objectifs	5
III.	Matériels et Méthodes	5
1.	Sites et périodes d'échantillonnage	5
2.	Protocole synthétique de prélèvement et de conservation	7
3.	Analyses par cytométrie en flux	8
4.	Collecte de données externes	8
5.	Traitement des données	8
5.1.	Description de la dynamique de la ressource trophique pélagique en 2024	9
5.2.	Comparaison des résultats entre les sites ORION en 2024	9
5.3.	Comparaison des méthodes de fixation des échantillons d'eau de mer	9
IV.	Résultats.....	9
1.	Réalisation des opérations	9
2.	Bassin d'Arcachon.....	10
2.1.	Description de la dynamique de la ressource trophique pélagique en 2024	10
2.2.	Comparaison des résultats entre les sites ORION en 2024	13
2.3.	Comparaison des méthodes de fixation des échantillons d'eau de mer	15
3.	Charente-Maritime.....	16
3.1.	Description de la dynamique de la ressource trophique pélagique en 2024	16
3.2.	Comparaison des résultats entre les sites ORION en 2024	19
V.	Discussions et perspectives	21
VI.	Bibliographie	22
VII.	Remerciements.....	23

I. Contexte

La ressource trophique pélagique (quantité, qualité, composition et accessibilité) est un déterminant majeur des performances zootechniques des bivalves (croissance, gamétopénie, survie larvaire, recrutement) et structure les réseaux trophiques côtiers (Wiegert et Owen, 1971). En zones littorales tempérées, la production primaire est dominée par le phytoplancton (micro-, nano- et picoplancton) dont la dynamique saisonnière (blooms printaniers et automnaux) conditionne les périodes critiques du cycle d'élevage (croissance et reproduction). Dans cette même zone, les bivalves constituent une part importante de la biomasse et de l'abondance des assemblages benthiques. Ils sont des organismes sentinelles témoins de la qualité écologique de leur milieu puisqu'ils sont sensibles, notamment, aux variations de production primaire tout au long de leur cycle de vie (Cugier et al., 2010). En effet, les algues phytoplanctoniques sont la source de nourriture principale des bivalves, elles conditionnent les différentes étapes cruciales de leur développement comme la croissance, la maturation, la fécondité, la survie larvaire, la fixation et la métamorphose des larves (Utting, 1988 ; Pernet et al., 2004). Les activités conchyliques et les pêches de bivalves, principalement concentrées dans la bande littorale, sont directement influencées par l'environnement dans lequel elles sont pratiquées

Pour les gestionnaires et professionnels conchyliques, une caractérisation fine de la ressource trophique pélagique – au-delà des métriques classiques (chlorophylle a, comptages microscopiques des particules $>20\text{ }\mu\text{m}$) – est nécessaire pour relier variations environnementales et performances d'élevage. La cytométrie en flux apparaît comme l'outil adapté pour appréhender les fractions pico- et nano-phytoplanctoniques ($<20\text{ }\mu\text{m}$) et les communautés bactériennes associées (HNA/LNA). Cette méthode délivre des mesures à haute fréquence, elle différencie les grandes classes de taille cellulaires (pico/nano-eucaryotes, cyanobactéries, bactéries) et fournit des distributions de taille/fluorescences utilisables pour l'analyse trophique et la modélisation.

Cette distinction par classe de taille est importante en écologie trophique car, en fonction des étapes de leur cycle de vie, les bivalves ne peuvent pas filtrer, ingérer et assimiler toutes les tailles de particules. Raby et al. (1997) montrent que le spectre de taille des particules ingérables par les larves de bivalves est inférieur à $25\text{ }\mu\text{m}$. Plusieurs études ont également montré l'importance des cellules pico- et nano- planctoniques pour le recrutement des huîtres et des moules, précisant qu'un changement de la qualité de la ressource trophique (blooms de pico- ou nanoeucaryotes dans la colonne d'eau) entraîne le déclenchement de la fixation et la métamorphose des larves en naissains (Toupoint, 2012 ; Barbier, 2016 ; Lagarde, 2017). Sonier et al. (2016) ont montré que les cellules picoplanctoniques jouaient un rôle prépondérant dans la croissance de *M. edulis*, puisqu'en leur absence, les moules présenteraient un ralentissement de croissance de près de 29 %. Finalement, la littérature scientifique (revue notamment par Rosa et al., 2018 ; Ward et Shumway, 2004) s'accorde sur la capacité des bivalves filtreurs à sélectionner des particules de tailles variables (pico- à micro-).

Dans le contexte d'utilisation de la cytométrie en flux dans des eaux turbides propres aux zones conchyliques, il est nécessaire d'adapter et d'inter-calibrer les protocoles de prélèvement, fixation et surgélation pour préserver les signatures fluorescentes et garantir l'inter-comparabilité avec les séries nationales (SOMLIT, PHYTOBDS, REPHY). Le projet ORION vise précisément à développer et à tester ces adaptations afin d'établir un observatoire pérenne de la ressource trophique pélagique orienté vers les enjeux conchyliques.

II. Objectifs

L'objectif principal du projet ORION est de décrire la ressource trophique pélagique (qualité et quantité) disponible pour les bivalves dans les bassins d'Arcachon et de Marennes-Oléron, et d'évaluer l'intérêt d'un observatoire pérenne ciblant les fractions pico- et nano-phytoplanctoniques. Les objectifs opérationnels sont :

- Etablir, mettre en œuvre et valider un protocole d'échantillonnage adapté aux zones conchyliocoles (choix des sites, méthode de prélèvement, mode de fixation et de conservation) ;
- Mettre en place l'organisation analytique et l'inter-calibration : collaboration avec la plateforme de cytométrie en flux du LIENSs (laboratoire de référence SOMLIT), formation du personnel CAPENA, calibration des appareils et tests de reproductibilité entre protocoles ;
- Produire deux séries temporelles (2024 et 2025) de variables trophiques acquises par cytométrie en flux ;
- Réaliser des suivis complémentaires à haute fréquence à Marennes-Oléron avec des prélèvements tous les 2-3 jours pour documenter les variations rapides des paramètres biotiques et abiotiques de l'eau ;
- Comparer, à l'échelle intra-bassin, les nouvelles séries ORION aux jeux de données nationaux (SOMLIT, PHYTOBS, REPHY) pour évaluer l'hétérogénéité spatiale et la pertinence des points de suivi proposés ;
- Gérer et valoriser les données : structuration des jeux de données, préparation pour une diffusion *via* un portail national, production d'une synthèse annuelle et préparation du rapport analytique de l'étude préliminaire.

Ce rapport fait état des travaux effectués en 2024 dans les bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon.

III. Matériels et Méthodes

1. Sites et périodes d'échantillonnage

En 2024, les prélèvements d'eau de mer ont été réalisés tous les 15 jours :

- Entre le 02 mai et le 22 novembre dans le Bassin d'Arcachon, soit 16 dates de prélèvements, au niveau des sites de Jacquets, Courbey et Arguin (Figure 1) ;
- Le 27 mai et le 20 novembre dans le bassin de Marennes-Oléron, soit 13 dates de prélèvements, sur les sites de Trompe-Sot, Mortane et Boyard (Figure 2).

En plus de ces prélèvements réguliers, des échantillons supplémentaires ont été acquis dans le Bassin d'Arcachon. Le 02 mai, une seconde série d'échantillons a été prélevée en vue de tester le protocole de fixation utilisé dans le projet ORION. En effet, nous souhaitions comparer les résultats d'échantillons fixés directement sur le terrain à la fin du prélèvement (modalité nommée « ORION ») et des échantillons fixés entre 1h30 et 3h après le prélèvement (modalité nommée « T.fix » pour « test de fixation »), afin de tester l'incidence du délai de fixation sur la qualité des échantillons analysés. De plus, des prélèvements d'eau de mer provenant du suivi SOMLIT ont été récupérés et analysés par CAPENA. Ces échantillons concernent les sites de Bouée 13, Eyrac et Comprian (Figure 1) acquis entre le 28 avril et le 10 septembre (9 dates).

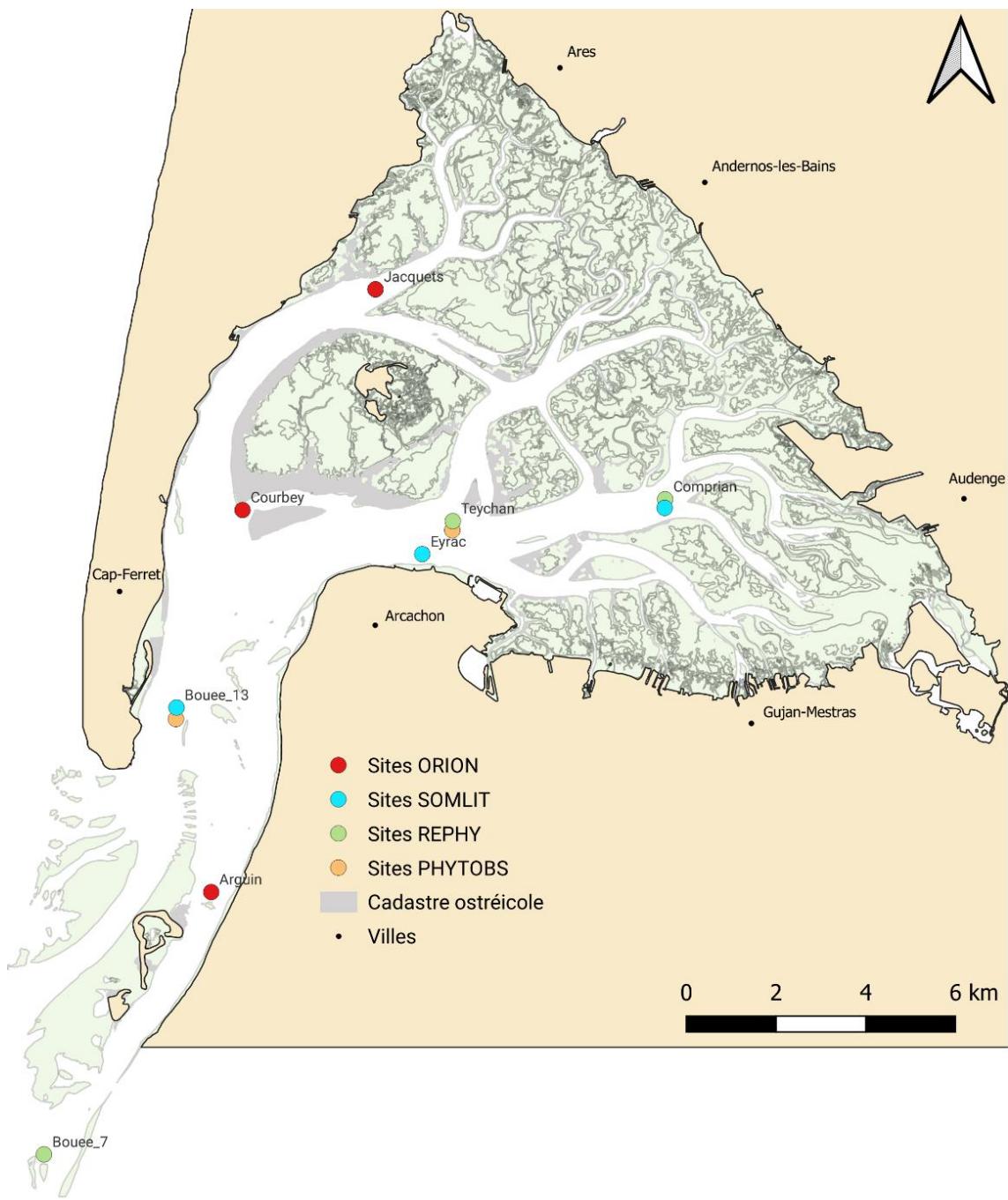


Figure 1 : Cartographie des sites suivis dans le cadre du projet ORION sur le Bassin d'Arcachon, ainsi que les points de suivis des réseaux SOMLIT, REPHY et PHYTOBS existants.

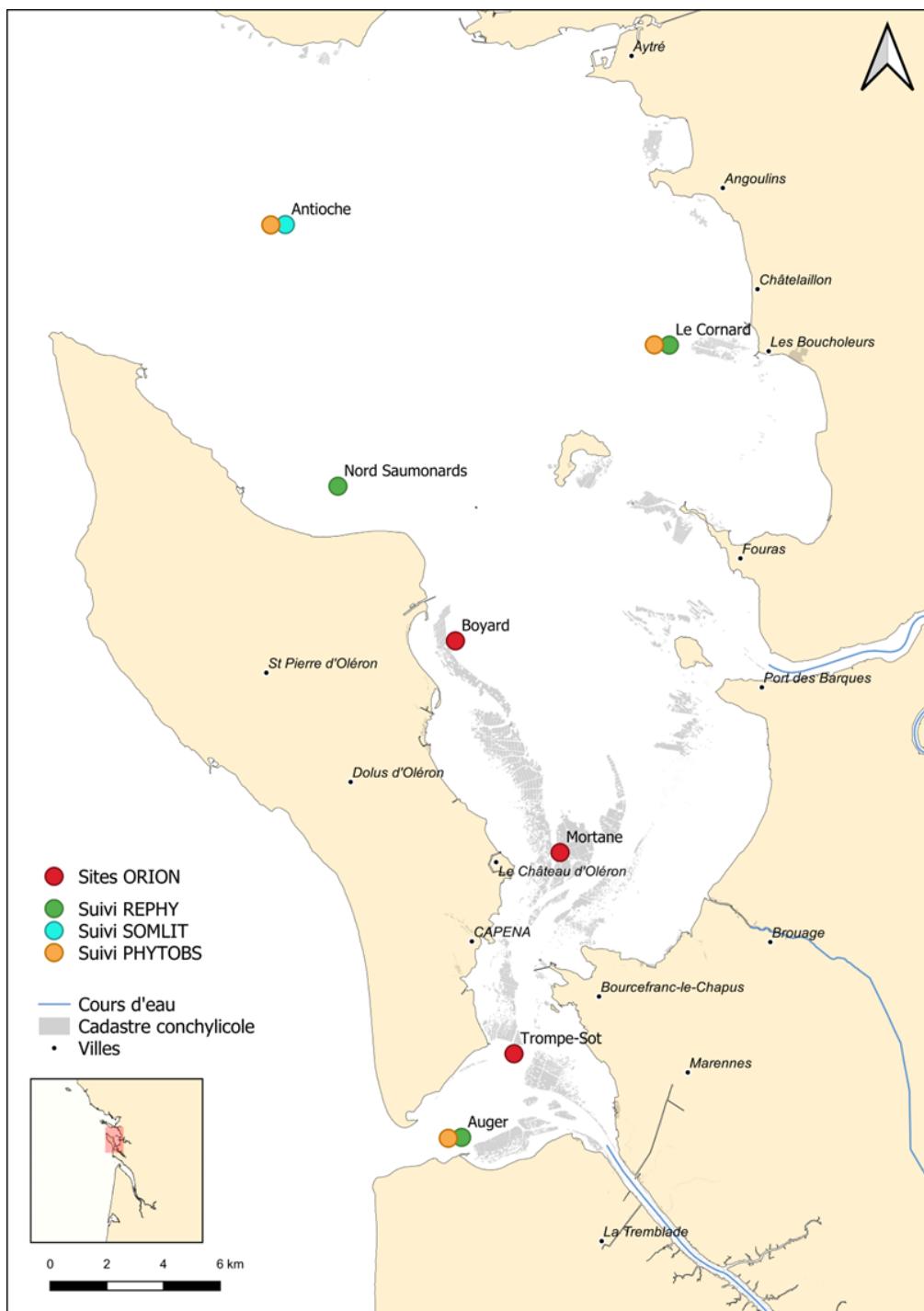


Figure 2 : Cartographie des sites suivis dans le cadre du projet ORION sur le bassin de Marennes-Oléron, ainsi que les points de suivis des réseaux SOMLIT, REPHY et PHYTOBS existants.

2. Protocole synthétique de prélèvement et de conservation

A chaque date et site de prélèvement, 1 litre d'eau de mer filtrée sur une maille de 40 µm est prélevé à -1m de profondeur et disposé dans un flacon opaque. Des sous-échantillons de 1,5 ml sont prélevés de ce flacon et disposés dans 3 cryotubes contenant une solution de fixation (Glutaraldéhyde + Poloxamer) ajoutée au préalable. Après une période fixation de 15 min à l'obscurité, les échantillons sont placés dans une glacière puis dans un congélateur portable à -80°C une fois de retour au laboratoire.

3. Analyses par cytométrie en flux

Les analyses 2024 ont été réalisées sur la plateforme de cytométrie en flux du LIENSS, laboratoire de référence inter-calibré avec les stations SOMLIT. L'analyse mesure les concentrations (cellules·L⁻¹) des classes cellulaires : pico- et nanoeucaryotes, pico- et nanocyanobactéries, bactéries hétérotrophes HNA et LNA, en s'appuyant sur la fluorescence intrinsèque ou des marquages fluorochromes. Le personnel CAPENA a suivi une formation à l'utilisation de la plateforme et à l'interprétation des cytogrammes. La validation des jeux de données a été assurée conjointement par la responsable de la plateforme et l'équipe du projet. Des échantillons tests ont servi à calibrer les machines et à optimiser le pré-traitement des eaux turbides (dilution, filtration préalable, paramètres d'acquisition) afin de garantir la reproductibilité des mesures entre les points ORION et les stations SOMLIT.

Les analyses des échantillons de l'année 2024 ont été réalisées lors de deux sessions d'une semaine d'utilisation de la plateforme de cytométrie en flux, en septembre 2024 et février 2025. Les résultats obtenus concernent une totalité de 325 échantillons.

4. Collecte de données externes

Pour contextualiser et compléter les séries de données ORION, les jeux de données nationaux SOMLIT, PHYTOBS et REPHY sont mobilisés. Le SOMLIT fournit des variables hydrologiques et des séries de cytométrie en flux (<20 µm) tous les 15 jours. La latence opérationnelle de ce réseau (*i.e.* analyses des échantillons) n'a pas permis, au moment de la rédaction de ce document, d'obtenir les résultats de l'année 2024. Ils seront traités lors de la synthèse finale du projet ORION. Le Service national d'observation PHYTOBS, en partie amendé des résultats du réseau REPHY, apporte des identifications et dénominations microscopiques du micro-phytoplancton (>20 µm) et des suivis bimensuels des sites régionaux. Uniquement les données du REPHY à jour de l'année 2024 ont été récupérées. L'extraction dédiée des données 2024 de ces réseaux a été effectuée afin de réaliser une analyse descriptive annuelle de la ressource trophique pélagique disponible pour les bivalves filtreurs.

5. Traitement des données

Les données obtenues à la suite des analyses par cytométrie en flux sont des concentrations (cellules·litre⁻¹) de chaque classe cellulaire. La nomenclature utilisée est représentée dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Résumé des variables obtenues par l'analyse de cytométrie en flux. Adapté de Marie *et al.* (2010) et Thyssen *et al.* (2022).

Classe cellulaire	Description	Abbréviation
Picoeucaryotes	Phytoplancton <2µm	PicoE
Nanoeucaryotes	Phytoplancton >2 µm et <20 µm	NanoE
Cryptophytes	Nanoeucaryote riche en phycoerythrin	Cry
Total Eucaryotes	Sommes de PicoE, NanoE et Cry	TotEuk
Synechococcus	Cyanobactérie	Syn
Bactéries HNA	Bactéries hétérotrophes High Nucleic Acids content	HNABac
Bactéries LNA	Bactéries hétérotrophes Low Nucleic Acids content	LNABac
Total Bactéries hétéro.	Somme de HNABac et LNABac	TotBac

Le traitement des résultats a été effectué indépendamment entre les deux bassins, qui seront présentés successivement. Les résultats ont été traités avec le logiciel R, version 4.3.0.

5.1. Description de la dynamique de la ressource trophique pélagique en 2024

Les données du SNO PHYTOBS, correspondant à la concentration (cellules.litre⁻¹) de plusieurs taxa de micro-phytoplancton, ont été agrégées, à chaque date et site de suivi, par la somme des concentrations de ces taxa afin d'obtenir la concentration totale de cellules micro-phytoplanctoniques. Par la suite, les données du projet ORION et du SNO PHYTOBS, ont été moyennées (\pm écart type) à la semaine de l'année et à l'échelle du bassin. Ainsi, pour chaque classe cellulaire, les résultats correspondent à la moyenne de ces classes à l'échelle du bassin considéré.

5.2. Comparaison des résultats entre les sites ORION en 2024

Les résultats recueillis pour les sites ORION sont moyennés (\pm écart type) à chaque date de prélèvement. Afin de statuer d'une différence de concentration entre les sites pour chaque classe cellulaire et date de prélèvement, des tests non-paramétriques de comparaison de moyenne de Kruskal-Wallis ont été réalisés. Dans le Bassin d'Arcachon, des échantillons uniques (par date) en provenance des sites SOMLIT ont été analysés en même temps que ceux du projet ORION. Les résultats de cet échantillon unique à chaque date, ne permettant pas d'être comparés statistiquement, seront représentés graphiquement aux cotés des sites ORION. Ces graphiques permettront de juger de la variabilité spatiale et temporelle de la dynamique des différentes classes cellulaires obtenues à partir de ces deux sources.

5.3. Comparaison des méthodes de fixation des échantillons d'eau de mer

Les résultats obtenus à partir des deux pas de temps testés entre les prélèvements et le moment de la fixation ont été comparés statistiquement par des tests non-paramétriques de comparaison de moyenne de Kruskal-Wallis, appliqués à chaque classe cellulaire mesurée lors des analyses ORION.

IV. Résultats

1. Réalisation des opérations

En février 2024, les solutions mère du fixateur ont été confectionnées. Elles ont ensuite été réparties dans les cryotubes de prélèvements. Chaque cryotube a été identifié par la date et le site de prélèvements. Tous les cryotubes de chaque date de prélèvement ont été conditionnés dans un sac plastique individuel puis stockés au congélateur -20°C (Figure 3).

A partir du conventionnement officiel du projet et de la réception du matériel, la quasi-totalité des marées prévues ont été réalisées hormis celle du 16 septembre 2024 dans le BMO (problème technique). Au cours de l'année, des dates de prélèvement ont été ajustées afin de s'adapter le plus possible aux sorties du SOMLIT réalisées dans chaque bassin.

Au retour des sorties de prélèvement, les échantillons (cryotubes) ont été stockés dans les congélateurs portables -80°C dans l'attente de leur utilisation lors des sessions d'analyses par cytométrie en flux. Ces congélateurs portables ont été transportés à la plateforme de cytométrie en flux du LIENSs, en septembre 2024 et février 2025. Les échantillons ont été transférés dans les congélateurs -80°C de la plateforme.

Les analyses cytométriques se sont déroulées sans incident, permettant l'acquisition des résultats de l'ensemble des sites et dates échantillonnées. La première session d'analyse a consisté en une formation de deux agents CAPENA par Hélène Agogué et Benjamin Musnier du LIENSs (Figure 3). Cette formation consistait à la réalisation des étapes : préparation des échantillons (dont le marquage au SYBR Green pour les bactéries hétérotrophes), l'utilisation de cytomètre (dont la mesure des débits, l'utilisation du carrousel), le nettoyage du cytomètre, la sauvegarde et l'exportation des cytogrammes, puis l'extraction des données issues de ces derniers (Figure 3) et leur traitement pour obtenir les données exploitable (conversion du nombre d'évènement en concentrations).

Toutes ces étapes ont été menées à bien, sans qu'aucun problème majeur n'ait été rencontré. **La conception des protocoles ORION ainsi que la logistique associée aux échantillonnages et aux analyses cytométriques sont dorénavant des aspects maîtrisés. Le déroulement des différentes étapes ont permis l'acquisition optimale des résultats.**



Figure 3 : (à gauche) Prélèvement des échantillons d'eau de mer en juin 2024 ; (au centre) Analyse par cytométrie en flux en septembre 2024 au LIENSs ; (à droite) Extraction d'un exemple de cytogramme obtenu au cours de la première session d'analyse.

2. Bassin d'Arcachon

2.1. Description de la dynamique de la ressource trophique pélagique en 2024

L'évolution des principales composantes de la ressource trophique dans le Bassin d'Arcachon, le micro-phytoplancton tel que mesuré par comptages microscopiques (PHYTOBS/REPHY), le nano-phytoplancton et le pico-phytoplancton observés par cytométrie en flux, ainsi que les cyanobactéries (*Synechococcus*) et les fractions bactériennes HNA/LNA, est représentée dans la Figure 4.

A partir de la semaine 18 (fin avril-début mai) un léger bloom de micro-phytoplancton est apparu avant de redescendre à une faible concentration entre les semaines 22 et 31. Pendant cette période, les concentrations pico-phytoplanctoniques ont augmenté progressivement jusqu'à atteindre un maximum lors de la semaine 28. Parallèlement, les concentrations en nano-phytoplancton ont augmenté entre les semaines 18 et 22, puis se sont stabilisées jusqu'à la semaine 28 avant d'atteindre leur maximum à la semaine 30. A la suite de leur maximum, ces deux classes de taille ont vu leur concentration diminuer progressivement jusqu'à atteindre leur plus bas niveau en fin d'année (début décembre).

L'augmentation progressive et successive des classes de taille pico- et nano- au cours de l'été était suivie par le pic principal de concentration en micro-phytoplancton, mesuré la semaine 33 (mi-août). Ces dynamiques témoignent d'un bloom estival débutant par l'efflorescence de petites cellules (pico) suivi progressivement par l'apparition de cellules de plus grandes tailles

(nano puis micro). A partir de la semaine 33, les concentrations en micro-phytoplancton n'ont cessé de diminuer, jusqu'à la fin de l'année, de la même manière que les autres cellules phytoplanctoniques.

Ainsi, au regard de ces données, un seul bloom phytoplanctonique a pu être observé entre avril et décembre 2024 dans le Bassin d'Arcachon.

La concentration en cyanobactéries (*Synechococcus*) suit un schéma comparable aux cellules phytoplanctoniques. En effet, leur quantité a augmenté de manière progressive du mois de mai au mois d'août, avant de diminuer progressivement jusqu'à la fin de l'année.

Les bactéries hétérotrophes (HNA/LNA) n'ont pas montré la même dynamique que les quatre autres types cellulaires au cours de l'année. Leur concentration semble répondre aux variations des cellules nano et micro-phytoplanctoniques avec un léger décalage dans le temps. En effet, des concentrations bactériennes relativement soutenues et entrecoupées de pics sont visibles du mois de mai au mois d'août, correspondant à l'augmentation successive des cellules phytoplanctoniques sur cette période. A partir du mois de septembre (semaine 37), la concentration en bactéries hétérotrophes diminue progressivement pour atteindre son minimum en décembre. Le décalage temporel observé entre les maxima phytoplanctoniques (micro et nano) et l'augmentation des HNA/LNA concorde avec un transfert de production vers le compartiment bactérien et un pic de reminéralisation (activité bactérienne).

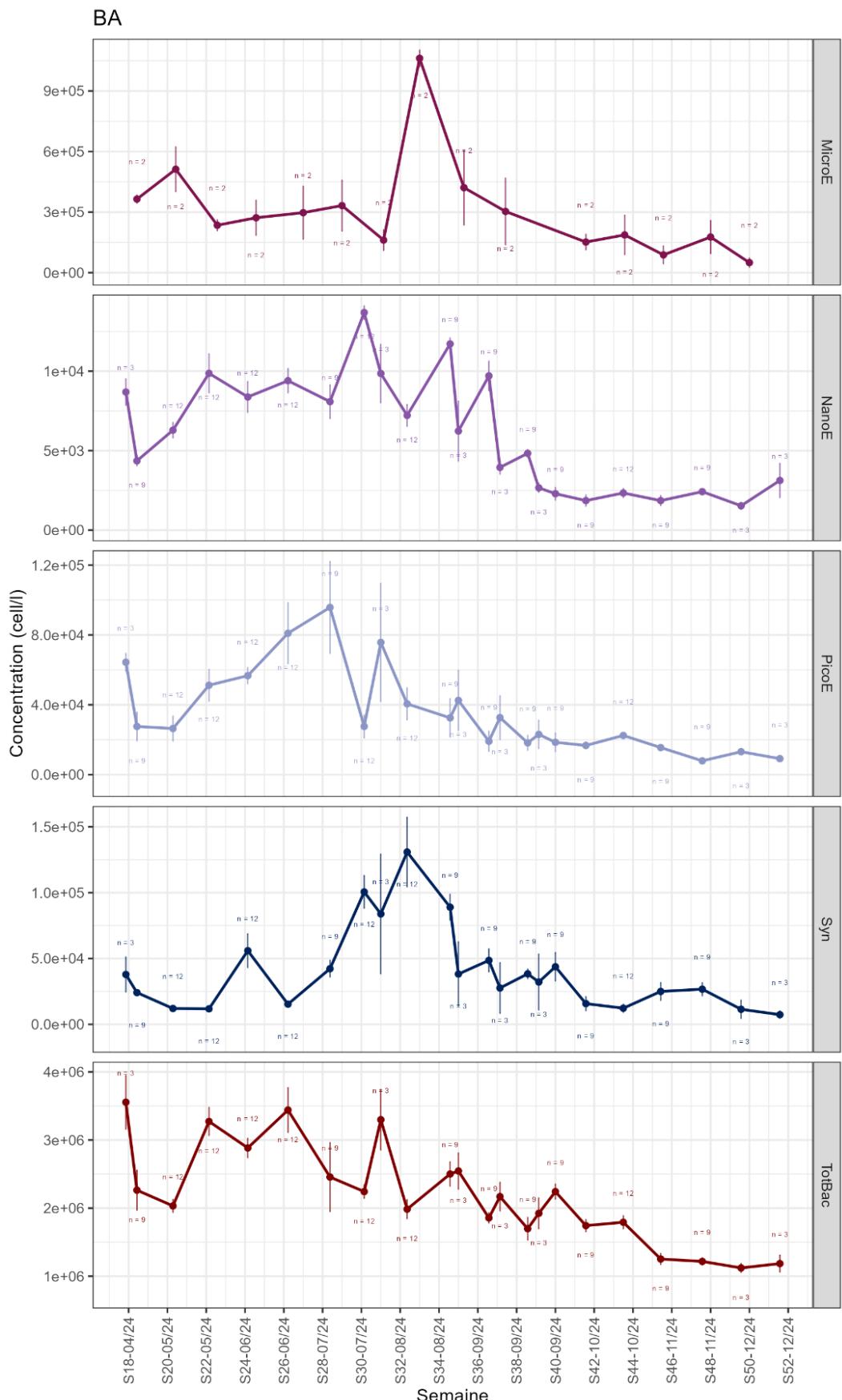


Figure 4 : Dynamique des concentrations (cellules.l⁻¹) des cellules de a. Micro-phytoplancton, b. Nano-phytoplancton, c. Pico-phytoplancton, d. Cyanobactéries et e. Bactéries hétérotrophes en fonction de la semaine de l'année 2024 dans le Bassin d'Arcachon.

2.2. Comparaison des résultats entre les sites ORION en 2024

La comparaison spatiale des résultats de cytométrie en flux (Figure 5) met en évidence une variabilité intra-bassin significative pour certaines classes cellulaires et à des dates spécifiques (étoiles indiquant des différences significatives parmi les sites ORION). Globalement, les séries des trois sites ORION (Arguin, Courbey, Jacquets) et du SOMLIT présentent des tendances saisonnières similaires, mais leur amplitude diffère : certains sites enregistrent des pics localisés plus prononcés pour le pico- ou le nano-phytoplancton, tandis que d'autres montrent des niveaux relatifs plus élevés de cyanobactéries (Syn) ou de bactéries hétérotrophes.

Les résultats montrent qu'en majorité, pour chaque date, au moins 1 des 3 sites ORION a des valeurs significativement différentes avec les autres sites. La représentation graphique montre que les points du SOMLIT ont également des résultats variables en fonction du site considéré.

Pour les classes cellulaires : PicoE, NanoE, TotEuk, Syn, LNA et TotBac, les concentrations mesurées au niveau des points ORION diffèrent entre 56 % et 88 % des cas. Pour les Cryptophytes et les bactéries HNA, une différence significative apparaît entre les sites sur une date sur deux. De plus, l'absence de différences significatives intervient principalement en fin d'année, là où les concentrations sont les plus faibles.

Les événements saisonniers majeurs, tels que les efflorescences, sont visibles à l'échelle du Bassin et se traduisent par des variations synchrones sur l'ensemble des sites suivis. Néanmoins, des différences locales émergent en termes d'intensité. Ces variations spatiales fines sont mises en évidence par l'exploration de ces nouveaux sites et traduisent l'influence de conditions environnementales propres aux différentes zones conchyliologiques (hydrodynamisme, temps de résidence de l'eau, turbidité...). Par exemple, les points les plus océaniques, que sont Arguin et Bouée 13, montrent une dynamique similaire pour les cyanobactéries (Syn) contrairement aux sites à l'intérieur du Bassin (de S28 à S36). Concernant le pico-phytoplancton, un gradient très net apparaît au moment du bloom de juillet (S26 et S28). Ce gradient représente l'axe intérieur-extérieur du bassin, avec les sites océaniques (Arguin et Bouée 13) aux valeurs les plus faibles, en opposition aux sites internes (Jacquets et Comrian) avec les plus grandes concentrations, et les sites aux valeurs intermédiaires (Courbey et Eyrac) entre ces deux groupes.

Ces observations suggèrent que la résilience et la disponibilité trophique pour les bivalves varient à l'échelle du bassin.

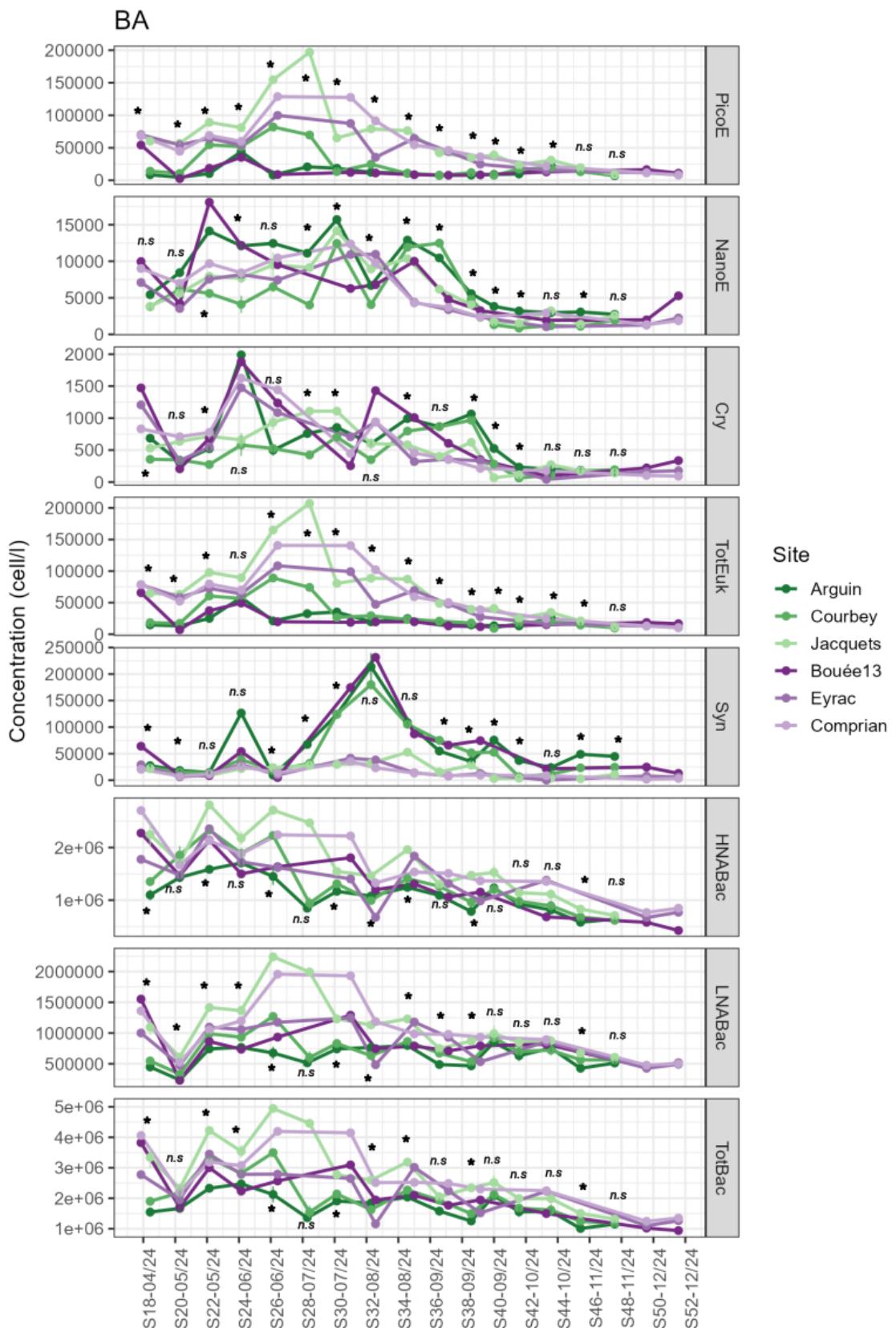


Figure 5 : Evolution des concentrations cellulaires planctoniques (cellules.l⁻¹) obtenues par cytométrie en flux en fonction du site de prélèvement en 2024 dans le Bassin d'Arcachon. Les sites en vert : Arguin, Courbey et Jacquets sont suivis dans le projet ORION (3 répliques par point). Les sites en violet : Bouée 13, Eyrac et Comprian sont suivis par le SOMLIT (1 seule valeur par point). A chaque date, un * représente une différence significative entre au moins deux sites de suivi ORION uniquement (n.s = non-significatif). Les classes de cellules sont représentées par leurs abréviations (se référer au Tableau 1).

2.3. Comparaison des méthodes de fixation des échantillons d'eau de mer

De manière générale, concernant les sites de Courbey et des Jacquets, tous les résultats des variables mesurées et calculées issues de la cytométrie en flux montrent une plus grande concentration cellulaire pour les échantillons conservés selon la méthode ORION par rapport au test de fixation (T.fix ; Figure 6). Pour le site des Jacquets, les concentrations cellulaires sont de 50 % à 70 % supérieures dans les échantillons fixés directement après le prélèvement contrairement à ceux fixés de retour au laboratoire. Pour le site de Courbey, les différences de concentration s'étendent de 50 % à plus de 80 % entre les deux méthodes. Sur ce site, seulement la concentration en cryptophytes (Cry) ne diffère pas statistiquement entre les deux méthodes de fixation.

En ce qui concerne le site d'Arguin, la majorité des résultats ne diffère pas statistiquement entre les deux méthodes de fixation. Seule la concentration en nanoeucaryotes mesurée dans les échantillons fixés à bord est significativement supérieure à celle des échantillons fixés au laboratoire. Les résultats obtenus sur ce site ne sont pas aussi clairs que ceux des deux autres sites. Néanmoins, d'un point de vue global, il semble que la méthode de fixation ORION, équivalente à celle du SOMLIT, permet de détecter significativement plus de cellules que lorsqu'elles sont fixées de retour au laboratoire. Ce résultat sous-entend qu'une fixation immédiate permet de conserver plus efficacement les cellules planctoniques, en limitant les processus de division cellulaire et de décomposition bactérienne.

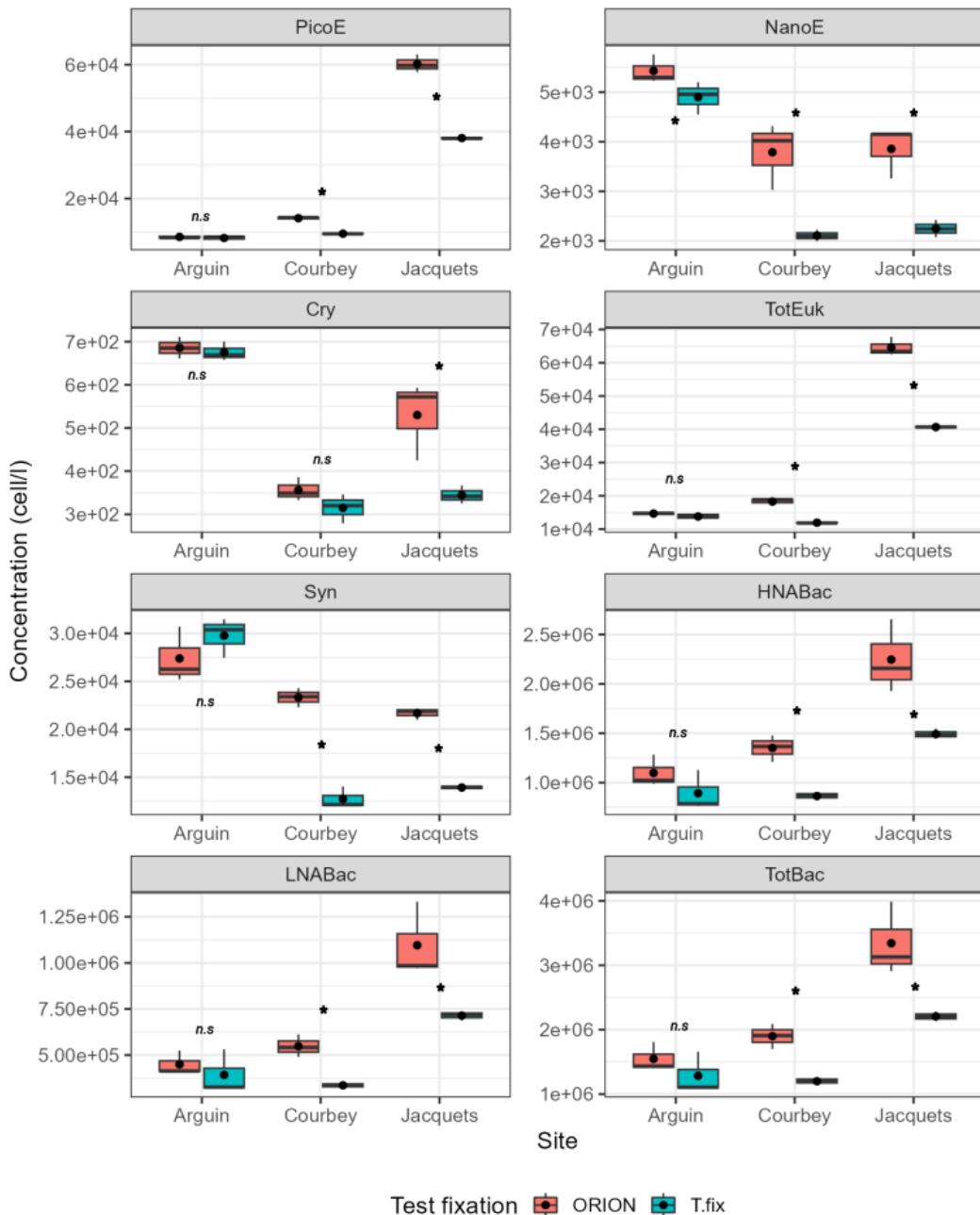


Figure 6 : Boxplot des concentrations (cellules.l⁻¹) des différentes classes cellulaires en fonction de la méthode de fixation des échantillons du 02 mai 2024 pour les trois sites du Bassin d'Arcachon. ORION = Fixation immédiate sur le bateau réalisée en routine ; T.fix = Fixation réalisée avec un délai de 3h (pour Arguin) à 1h30 (pour Jacquets). Les points noirs à l'intérieur des boxplot représentent la moyenne. Pour chaque site, un * représente une différence significative entre les deux délais de fixation (n.s = non-significatif). Les classes de cellules sont représentées par leurs abréviations (se référer au Tableau 1).

3. Charente-Maritime

3.1. Description de la dynamique de la ressource trophique pélagique en 2024

Les séries 2024 pour le bassin de Marennes-Oléron (Figure 7) révèlent une dynamique saisonnière différente de celle observée à Arcachon. Les courbes montrent une efflorescence de micro-phytoplancton au mois de juillet (S26 à S29) avant une diminution progressive de la concentration jusqu'au début du mois de septembre et une stagnation à ce niveau le plus bas

jusqu'à la fin d'année. A partir de la semaine 30, un bloom de cellules nano-phytoplanctoniques a succédé à celui du micro-phytoplancton. Les concentrations de nano-phytoplancton sont restées relativement élevées jusqu'à la semaine 34, avant de chuter pour le reste de l'année. De façon concomitante à cette chute, les cellules pico-phytoplanctoniques connaissent une efflorescence puisque leur pic de concentration apparaît à la semaine 36. Autour de ce bloom, les concentrations de pico-phytoplancton sont restées faibles le reste de l'année.

La similitude entre les deux bassins suivis concerne la présence d'un bloom phytoplanctonique unique et estival. Les trois classes de taille se sont succédé au cours de l'année mais dans l'ordre inverse en fonction du bassin : pico-, nano- puis micro-phytoplancton à Arcachon et micro-, nano- puis pico-phytoplancton à Marennes-Oléron. Néanmoins, cette succession d'évènement ne prend pas en compte le début d'année. Un bloom phytoplanctonique aurait pu apparaître précocement, entre les mois d'avril et mai par exemple.

Les cyanobactéries ont montré des variations de concentration au cours de l'année. Le pic principal a été détecté la semaine 30, en même temps que le pic de concentration en nano-phytoplancton. Un second pic, mineur, est apparu en fin d'année (semaine 45), également concomitant à une légère augmentation de concentration en pico-phytoplancton. Ces résultats laissent à supposer que les cyanobactéries présentaient des tailles différentes entre ces deux pics de concentration, probablement liées aux conditions environnementales plus ou moins favorables à leur croissance.

La réponse bactérienne (HNA/LNA) paraît souvent comme un indicateur de la matière organique labile disponible dans la colonne d'eau. La dynamique des concentrations en bactéries HNA et LNA semble suivre de manière décalée la dynamique des cellules micro-phytoplanctoniques, mais elle semble également sensible aux variations observées sur les autres classes de taille. Cette structure semble cohérente avec l'activité microbienne de reminéralisation de la matière organique produite lors des blooms.

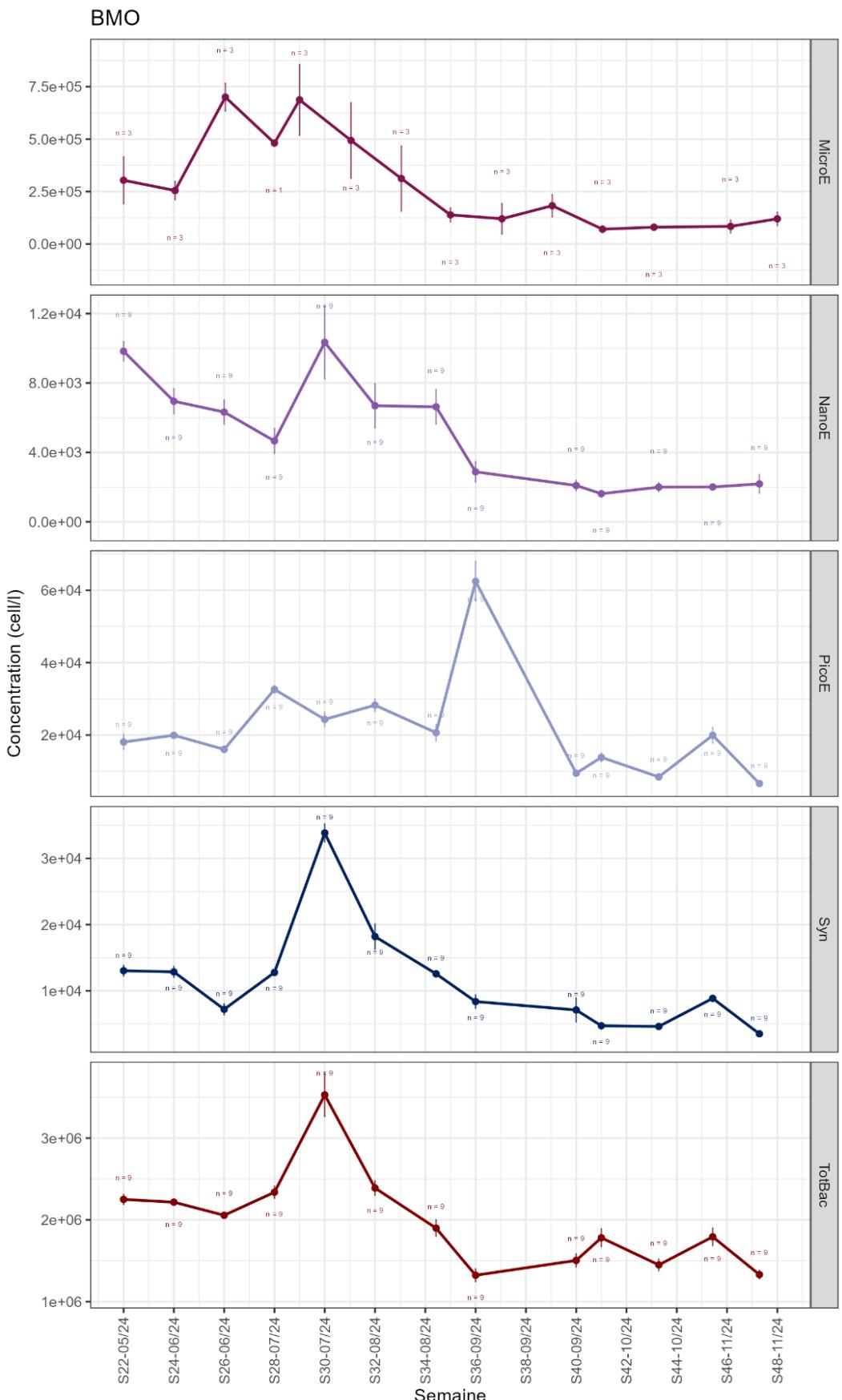


Figure 7 : Dynamique des concentrations (cellules.l⁻¹) des cellules de a. Micro-phytoplancton, b. Nano-phytoplancton, c. Pico-phytoplancton, d. Cyanobactéries et e. Bactéries hétérotrophes en fonction des semaines de l'année 2024 dans le Bassin de Marennes-Oléron.

3.2. Comparaison des résultats entre les sites ORION en 2024

A l'instar des résultats obtenus dans le Bassin d'Arcachon, ceux des sites du Bassin de Marennes-Oléron diffèrent significativement entre eux pour la majorité des dates du suivi (Figure 8). Au cours des 13 dates d'échantillonnage, les concentrations cellulaires des PicoE, NanoE, TotEuk et Syn sont statistiquement différentes entre les sites (au moins un site diffère des autres) dans plus de 60 % des cas. Pour les variables de Cry, HNABac, LNABac et TotBac cette proportion de différences significatives est comprise entre 23 % et 46 %.

Les phénomènes saisonniers dominants, en particulier les efflorescences, se détectent à l'échelle du Bassin par des variations concomitantes sur l'ensemble des sites ; néanmoins, l'intensité de ces manifestations demeure variable selon les localités. Un schéma général se dessine puisque la majorité des concentrations des variables est systématiquement classée selon l'un gradient Sud-Nord, avec les résultats mesurés à Trompe-Sot (au Sud) qui sont inférieurs à ceux de Boyard (au Nord ; Figure 2) et à ceux de Mortane qui sont intermédiaires (au centre du BMO ; Figure 8). Cette observation est particulièrement marquée lors des périodes d'efflorescences comme du 08 juillet au 22 août 2024 pour les NanoE et les Cry.

Le site de Trompe-sot présente ainsi des concentrations cellulaires généralement plus faibles que celles des autres sites au cours de l'année. La quantité de cellules eucaryotes et de cyanobactéries planctoniques semblent donc moins disponibles que celles mesurées sur le site de Boyard. Ces organismes étant largement contraints par le mouvement des masses d'eau (e.g. advection, dispersion) et par les apports terrigènes (nutriments), les conditions hydro climatiques de l'année 2024 pourraient expliquer ces différences de disponibilité trophique pour les organismes filtreurs. Seule la concentration en bactéries hétérotrophes HNA à Trompe-Sot a eu tendance à être supérieure à celle des autres sites entre le 22 juillet et le 22 août 2024 (Figure 8). Ce résultat suggère qu'une activité accrue de dégradations de la matière organique s'est opérée sur ce secteur malgré la plus faible production primaire pico et nano-eucaryotique.

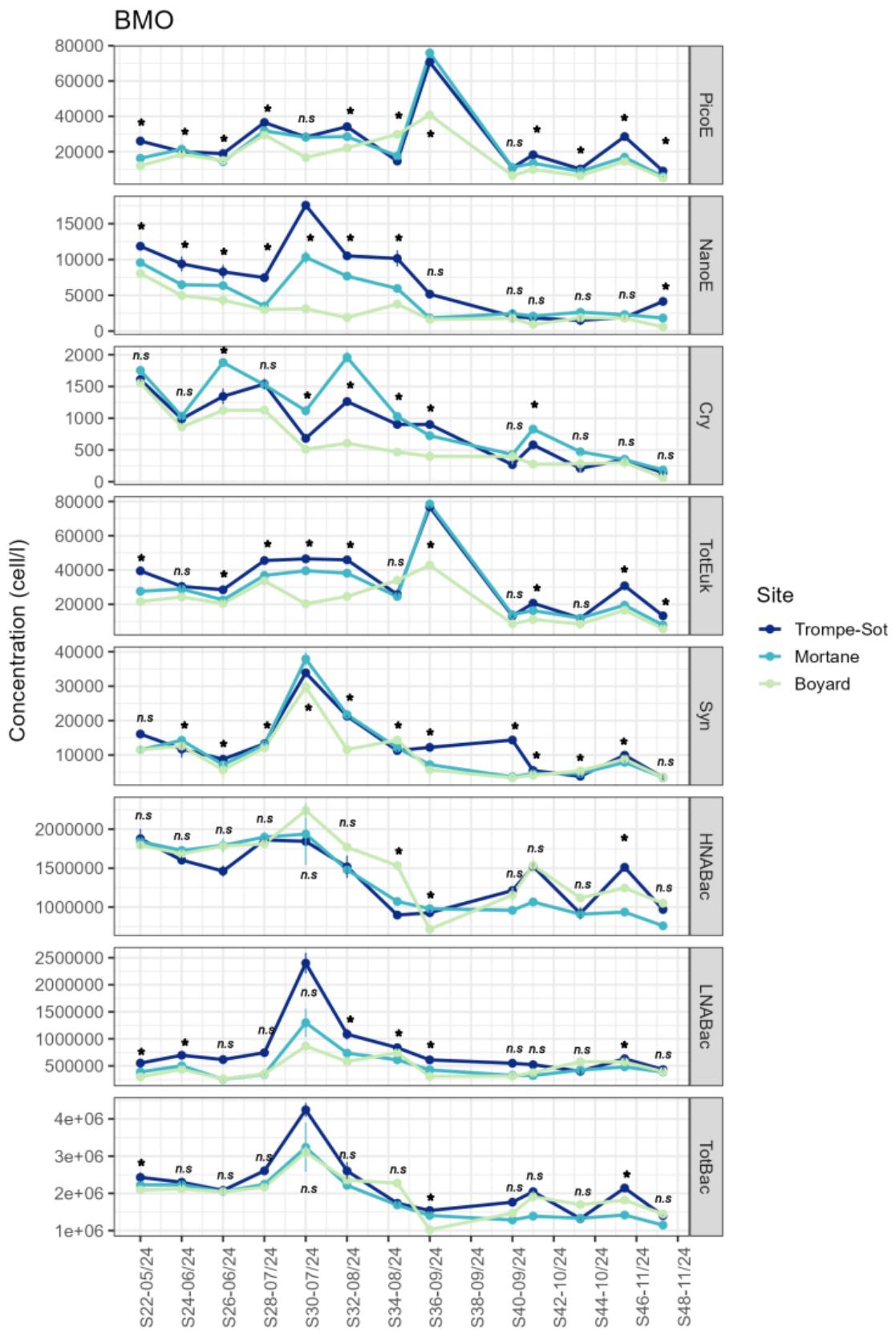


Figure 8 : Evolution des concentrations cellulaires planctoniques (cellules.l⁻¹) obtenues par cytométrie en flux en fonction du site de prélèvement en 2024 dans le Bassin de Marennes-Oléron (3 répliques par point). A chaque date, un * représente une différence significative entre au moins deux sites de suivi ORION uniquement (n.s = non-significatif). Les classes de cellules sont représentées par leur abréviation (se référer au Tableau 1).

V. Discussions et perspectives

Le lancement du projet ORION par la première année de suivi a été réalisé en 2024. Aucun problème majeur n'a été mis en évidence dans la réalisation des actions, que ce soit de la préparation des échantillons, à leur acquisition et à leur analyse par cytométrie en flux. Ce protocole a donc été renouvelé pour la seconde année de suivi (en utilisant la méthode de fixation ORION) et pourra être utilisé à l'avenir dans le cadre d'un observatoire pérenne de la ressource trophique pélagique.

L'utilisation conjointe des données du micro-, nano- et pico-eucaryotes, de cyanobactéries et des bactéries hétérotrophes planctoniques a permis de décrire quantitativement et qualitativement (classe de taille et type de cellule ; Tableau 1) la ressource trophique pélagique pour les bivalves filtreurs des Bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon entre mai et novembre 2024. Le retard au lancement des actions de prélèvement en début du projet n'a pas permis d'obtenir l'entièreté de l'année 2024. Ainsi il est possible qu'une partie des blooms printaniers phytoplanctoniques des classes de taille micro- à pico- n'ait pas été mesurée.

La fréquence bimensuelle utilisée dans le protocole ORION – identique à celle des suivis SOMLIT, REPHY et PHYTOBS – pourrait être trop grande pour observer l'ensemble des efflorescences et enregistrer les concentrations maximales des types cellulaires lors de ces dernières. Néanmoins ce protocole permet d'observer les dynamiques saisonnières des différentes particules et de décrire la structure et le fonctionnement général du compartiment planctonique au regard des organismes filtreurs d'intérêt. En 2025, un suivi à haute fréquence est réalisé afin de comprendre plus précisément la dynamique de ces particules entre deux dates de prélèvements bimensuels. Ce suivi concerne le BMO et se compose de prélèvements d'eau de mer pour des analyses supplémentaires en cytométrie en flux et des analyses biochimiques (nutriments, MES), ainsi que d'un suivi ponctuel des conditions abiotiques grâce à une sonde multiparamétrique. Cette dernière donnera, entre autres, la concentration en chlorophylle *a*, autres proxys de la ressource trophique, dont la dynamique sera comparée à celles des autres variables décrivant le phytoplancton.

La comparaison des résultats, date à date, des variables de cytométrie en flux obtenues pour les sites ORION montrent des concentrations différentes de ces dernières. Ces résultats mettent en évidence deux points :

- La structure du compartiment pélagique, au regard des variables étudiées, varie suffisamment à l'échelle spatiale considérée dans ce projet. Ce résultat souligne l'intérêt d'augmenter la résolution spatiale (échelle intra-bassin) de ce type de suivi pour décrire plus précisément les évolutions de l'environnement trophique au niveau des zones d'activités conchyliques et de pêcherie.
- Les résultats de chaque réplica d'échantillon (site*date) sont d'une homogénéité telle que la variabilité associée aux moyennes est très faible, rendant les différences statistiques très largement détectables entre les sites. Cette faible variabilité entre réplicas permet d'optimiser l'analyse des échantillons de cytométrie en flux en n'utilisant qu'un seul échantillon pour chaque échantillon (site*date). Ainsi, en 2025, les prélèvements d'eau pour les analyses en cytométrie en flux seront toujours réalisés en triplicata mais uniquement un seul d'entre eux sera traité au cytomètre en flux. Cette restriction à l'analyse d'un seul réplica est couramment utilisée dans les études de ce domaine (Barbier, 2016 ; Lagarde et al., 2017 ; Toupoint 2012). Néanmoins il était important de confirmer ce résultat dans le cadre des écosystèmes ciblés dans ce projet.

Finalement, la description de l'environnement trophique réalisée dans ce document n'est relative qu'aux résultats obtenus dans le cadre de ce projet. Ces résultats devront être mis en

perspective par rapport aux données historiques acquises dans le cadre des observatoires nationaux existants. Le recul apporté par ces données permettra notamment de définir les concentrations de chaque type cellulaire historiquement enregistrées et de pourvoir statuer objectivement de la disponibilité de la ressource trophique pour les bivalves d'élevage et d'intérêt pour la pêche.

VI. Bibliographie

- Barbier P (2016) Déterminisme du recrutement des bivalves sous contraintes environnementales et anthropiques. PhD thesis, Muséum National d'Histoire Naturelle, 271p
- Cugier P, Struski C, Blanchard M, Mazurié J, Povreau S, Olivier F, Trigu JR, Thiébaut E (2010) Assessing the role of benthic filter feeders on phytoplankton production in a shellfish farming site: Mont Saint Michel Bay, France. *Journal of Marine Systems* 82:21-34
- Lagarde F, d'orbcastel ER., Ubertini M., Mortreux S., Bernard I., Fiandrino A., Chiantella C., Bec B., Roques C., Bonnet D., Miron G., Richard M., Povreau S., Lett C. (2017) Recruitment of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in a shellfish-exploited Mediterranean lagoon: discovery, driving factors and a favorable environmental window. *Marine Ecology Progress Series*, 578, 1-17. <https://www.jstor.org/stable/26403702>
- Marie D, Shi XL, Rigaut-Jalabert F, Vaulot D (2010) Use of flow cytometric sorting to better assess the diversity of small photosynthetic eukaryotes in the English Channel. *FEMS Microbiology Ecology* 72:165-178
- Pernet F, Tremblay R (2004) Effect of varying levels of dietary essential fatty acid during early ontogeny of the sea scallop *Placopecten magellanicus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 310:73-86
- PHYTOBS (2024) PHYTOBS dataset - French National Service of Observation for Phytoplankton in coastal waters. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/85178>
- REPHY - French Observation and Monitoring program for Phytoplankton and Hydrology in coastal waters (2023) REPHY dataset - French Observation and Monitoring program for Phytoplankton and Hydrology in coastal waters. Metropolitan data. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/47248>
- Raby D, Mingelbier M, Dodson JJ, Klein B, Lagadeuc Y (1997) Food-particle size and selection by bivalve larvae in a temperate embayment. *Marine Biology* 127:665-672
- SOMLIT - Savoye N., Lizon F., Breton E., Clauquin P., Joly O., Sultan E., Jung JL., Bozec Y., Boulart C., Rimmelin-Maury P., Leynaert A., Agogué H., Pineau P., Del amo Y., Conan P., Mostajir B., Grégori G., Mousseau L., Mendès F. (2024) SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral) time series (French Research Infrastructure ILICO): long-term core parameter monitoring of French coasts. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/100323>
- Rosa M, Ward JE, Shumway SE (2018) Selective Capture and Ingestion of Particles by Suspension-Feeding Bivalve Molluscs: A Review. *Journal of Shellfish Research*, 37, 727-746
- Sonier R, Filgueira R, Guyonnet T, Tremblay R, Olivier F, Meziane T, Starr M, LeBlanc AR, Comeau LA (2016) Picophytoplankton contribution to *Mytilus edulis* growth in an intensive culture environment. *Marine Biology* 163, 73
- Thyssen M, Grégori G, Créach V, Lahbib S, Dugenne M, Aardema HM, Artigas L-F, Huang B, Barani A, Beaugeard L, Bellaaj-Zouari A, Beran A, Casotti R, Del Amo Y, Denis M, Dubelaar GBJ, Endres S, Haraguchi L, Karlson B, Lambert C, Louchart A, Marie D,

- Moncoiffé G, Pecqueur D, Ribalet F, Rijkeboer M, Silovic T, Silva R, Marro S, Sosik HM, Sourisseau M, Tarran G, Van Oostende N, Zhao L and Zheng S (2022) Interoperable vocabulary for marine microbial flow cytometry. *Front. Mar. Sci.* 9:975877. doi: 10.3389/fmars.2022.975877
- Toupoint N (2012) Le succès de recrutement de la moule bleue : influence de la qualité de la ressource trophique. PhD thesis, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Canada
 - Utting SD (1988) Growth and survival of hatchery-reared *Ostrea edulis* in relation to environmental conditions at the on-growing site. *Aquaculture* 69:27-38
 - Ward JE, Shumway SE (2004) Separating the grain from the chaff: particle selection in suspension- and deposit-feeding bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 300:1-2, 83-130
 - Wiegert RG, Owen DF (1971) Trophic structure, available resources and population density in terrestrial vs. aquatic ecosystems. *Journal of Theoretical Biology* 30:69-81

VII. Remerciements

Nous remercions vivement Hélène Agogué, Benjamin Musnier et les équipes du SOMLIT pour leur travail et leur aide précieuse depuis la construction du projet jusqu'aux sessions d'analyses de cytométrie en flux effectuées au laboratoire LIENSs à La Rochelle.

Nous tenons également à remercier sincèrement Nicolas Savoye, responsable du SOMLIT pour la collaboration mise en place sur le Bassin d'Arcachon et l'ensemble des équipes de la station marine d'Arcachon, en particulier Joséphine Lequeux, pour l'acquisition des échantillons SOMLIT supplémentaires et le stockage de ces derniers.

Un grand merci au personnel de CAPENA, Gael, Paul, Cynthia, Fanny, Jérôme et Johan, pour leur aide précieuse lors des échantillonnages.



Pierrick Barbier
Référent scientifique
p.barbier@cape-na.fr

CAPENA – Expertise et Application
Prise de Terdoux 17480 Le Château d'Oléron
T : 05 46 47 51 93
www.cape-na.fr



La Nouvelle-Aquitaine et l'Europe
agissent ensemble pour votre territoire

