



**HAL**  
open science

**Campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM.  
Analyse du dispositif de surveillance pour répondre aux  
besoins du programme thématique “ Habitats pélagiques  
”**

Dorothee Vincent, Eric Goberville, Marion Vilain, Anne Goffart

► **To cite this version:**

Dorothee Vincent, Eric Goberville, Marion Vilain, Anne Goffart. Campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM. Analyse du dispositif de surveillance pour répondre aux besoins du programme thématique “ Habitats pélagiques ”. OFB; Sorbonne Universite; Université de Liège. 2022. hal-04003257

**HAL Id: hal-04003257**

**<https://hal.science/hal-04003257v1>**

Submitted on 24 Feb 2023

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

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



## **Campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM**

### **Analyse du dispositif de surveillance pour répondre aux besoins du programme thématique « Habitats pélagiques »**

**D. Vincent<sup>1</sup>, E. Goberville<sup>2</sup>, M. Vilain<sup>2</sup>, et A. Goffart<sup>3</sup>**  
Mai 2022

<sup>1</sup> Office Français de la Biodiversité (OFB) - Site de Brest – Direction Surveillance, Evaluation, Données (DSUED) - Service Ecosystèmes, Connaissances et Usages des Milieux Marins (ECUMM).

<sup>2</sup> Laboratoire BOREA "Biologie des Organismes et des Ecosystèmes Aquatiques" Sorbonne Université, MNHN, CNRS UMR 8067, IRD 207, UCN, UA.

<sup>3</sup> Laboratoire d'Océanologie, UR FOCUS, Université de Liège.

**Titre du rapport : Campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM. Analyse du dispositif de surveillance pour répondre aux besoins du programme thématique Habitats pélagiques**

**Référence de l'action pour le PdS DCSMM :**

Descripteur	D1 Biodiversité
Programme de surveillance	Habitats pélagiques
Intitulé de l'action	Optimisation des campagnes halieutiques Habitats pélagiques
Référence de l'action	05HP_Action6
Période de l'action	2015-2021
Nom du dispositif de suivi	Campagnes halieutiques DCF optimisées – hydrologie, physico-chimie et communautés planctoniques
SRM(s) concernées	MMN, MC, GdG, MO
Opérationnalité du dispositif de suivi cycle 2	<input type="checkbox"/> Opérationnel <input type="checkbox"/> Non opérationnel <input checked="" type="checkbox"/> Candidat (" à l'état de réflexion")
Opérateur(s)	Ifremer
Financier(s)	DEB

Action transversale à un autre PdS

Oui – PdS concerné : Eutrophisation

Non

**Diffusion :**

libre (internet)

restreinte (intranet) – date de levée d'embargo : AAA/MM/JJ

interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ

**Experts/relecteurs sollicités**

Coordination nationale des prog. de surveillance DCSMM : Julie Charmasson (OFB) et Cyrielle Zanuttini (Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature, DGALN – Direction de l'Eau et de la Biodiversité, DEB)

Responsables thématiques Descripteur 5 – Eutrophisation DCSMM : Alain Lefebvre et David Devreker (Ifremer, PDG-ODE-LITTORAL-LERBL)

Responsable de surveillance D1 Poissons-céphalopodes (nourricerie/plateau) / D3 Espèces commerciales : Amélie Régimbart (Ifremer, centre Atlantique)

Coordinateurs des campagnes halieutiques Ifremer

- (IBTS) : A. Aubert et C. Lazard
- (CGFS) C. Giraldo, D. Le Roy
- (PELGAS) M. Doray et M. Huret
- (EVHOE) F. Garren P. Laffargue
- (PELMED) T. Hattab
- (MEDITS) A. Jadaud et G. Certain

E. Antajan (écologie et taxinomie du zooplancton; Ifremer PDG-ODE-LITTORAL-LERAR)

A. Nowaczyk (écologie et taxinomie du zooplancton; UMR CNRS 5805 EPOC – ECOBIOC ; Univ. Bordeaux)

J.B. Romagnan (Zooplancton, imagerie; Ifremer - Laboratoire Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (PDG-RBE-HALGO-EMH)

S. Vaz (écologie des communautés et sciences halieutiques ; Ifremer, Laboratoire Halieutique Méditerranée (PDG-RBE-MARBEC-LHM) ;

## Contributeurs

J. Charmasson (OFB) et C. Zanuttini (DGALN -DEB)

A. Lefebvre et D. Devreker – RT D5 – (Ifremer, PDG-ODE-LITTORAL-LERBL)

A. Nowaczyk – (UMR CNRS 5805 EPOC – ECOBIOC ; Univ. Bordeaux)

A. Régimbart (RS D1- PC et D3 Esp. Comm; Ifremer Centre Atlantique)

## Résumé

Les campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM permettent de collecter au large, depuis 2016, des données hydrologiques, physico-chimiques et biologiques (phytoplancton et zooplancton, dont le macroplancton gélatineux) à des coûts modérés, une partie des coûts étant déjà couverte au titre de la Politique Commune des Pêches (PCP). Classé dans le PdS Habitats pélagiques 2<sup>ème</sup> cycle comme « à l'état d'étude », c'est-à-dire comme dispositif exploratoire dont la pertinence pour la DCSMM est à approfondir, il était nécessaire de (i) décrire et examiner les techniques et méthodes déployées sur ces campagnes pour établir si les données acquises (types de données, temporalité, saisonnalité, couverture spatiale) peuvent répondre aux besoins du programme thématique « Habitats pélagiques » ; (ii) réaliser un état des lieux sur les données acquises et leur exploitation au titre du programme thématique « Habitats pélagiques » de la DCSMM ; (iii) proposer des recommandations de surveillance à partir d'une analyse comparative d'autres dispositifs existants.

Les données acquises sur les campagnes halieutiques optimisées présentent un intérêt indéniable pour la recherche sur les communautés pélagiques (poissons et bas maillons trophiques associés). Cependant, du fait de leur basse fréquence d'acquisition (2 fois par an par sous-région marine), de leur déroulement lors de périodes de faible productivité planctonique, et de l'hétérogénéité des données sur certaines composantes (zooplancton), elles ne permettent pas d'ajouter une plus-value directe pour renseigner les indicateurs du bon état écologique des habitats pélagiques et d'évaluer leur bon fonctionnement au sens de la DCSMM. L'analyse de la plus-value, complémentarité d'autres dispositifs de suivi (suivis stationnels au large, suivi de trajectoires) montre qu'il semble plus pertinent de s'orienter en priorité vers une collecte de données à fréquence d'échantillonnage plus élevée (mensuelle), permettant l'acquisition de types de données intégrant en l'état les indicateurs BEE (groupes fonctionnels, détermination spécifique), quitte à réduire l'échelle spatiale d'évaluation.

**Mots-clés** : DCSMM, Habitats pélagiques, surveillance, évaluation, campagnes halieutiques optimisées, phyto- et zooplancton, macroplancton gélatineux, hydrologie.

**Comment citer ce document** : Vincent D., Goberville E., Vilain M. et Goffart A. (2022). Campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM. Analyse du dispositif de surveillance pour répondre aux besoins du programme thématique Habitats pélagiques. Rapport d'analyse du programme de surveillance DCSMM « Habitats pélagiques ». Pp 33.

**Disponibilité des données de la recherche** : données publiques de surveillance et de recherche.

**DOI ou site d'archivage** : [Site Alfresco DCSMM](#)

1. Introduction.....	1
1.1. Rappels du contexte réglementaire .....	1
1.2. Structure et objectifs du programme de surveillance « Habitats pélagiques » .....	1
1.3. Dispositifs de surveillance mobilisés et cas particulier des campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM .....	2
1.4. Objectifs du rapport .....	4
2. Stratégies d'échantillonnage mises en œuvre sur les campagnes optimisées DCSMM .....	5
2.1. Calendrier et durée des campagnes optimisées .....	5
2.2. Stratégies spatiales d'échantillonnage et couverture des SRM .....	6
2.3. Stratégies d'échantillonnage et paramètres suivis .....	9
2.3.1. Hydrologie, physico-chimie et phytoplancton .....	9
2.3.2. Collecte du zooplancton et méthodes d'analyse .....	10
3. Analyse de la pertinence des campagnes optimisées pour répondre aux besoins d'évaluation du bon état écologique des Habitats pélagiques .....	13
3.1. Echelles spatio-temporelles d'acquisition de données .....	13
3.1.1. Une bonne couverture d'ensemble des SRM de la façade Manche et Atlantique – une couverture restreinte en SRM Méditerranée occidentale et en Mers Celtiques.....	13
3.1.2. Périodes de réalisation des campagnes et liens avec la dynamique planctonique saisonnière. ....	14
3.1.3. Durée des campagnes en mer .....	15
3.2. Types de données et liens avec les évaluations BEE .....	15
3.2.1. Rappels / indicateurs et données d'entrée .....	15
3.2.2. Des séries temporelles courtes et des fréquences incompatibles avec le calcul des indicateurs BEE.....	16
3.2.3. Une acquisition de données hétérogène entre phyto- et zooplancton.....	17
3.2.4. Cas particulier des séries de données acquises sur le macroplancton gélatineux.....	18
3.3. Complémentarité et plus-value des campagnes optimisées DCSMM .....	19
3.3.1. Complémentarité spatio-temporelle d'autres dispositifs de suivi .....	19
3.3.2. Rapport coût/efficacité de l'utilisation des campagnes optimisées pour répondre aux besoins de la DCSMM. ....	25
4. Conclusions et perspectives .....	27
5. Références bibliographiques .....	28
Annexe 1.....	33

# 1. Introduction

## 1.1. Rappels du contexte réglementaire

Les Habitats Pélagiques constituent une composante du Descripteur 1 - Biodiversité de la DCSMM stipulant « La diversité biologique est conservée. La qualité des habitats et leur nombre, ainsi que la distribution et l'abondance des espèces sont adaptées aux conditions physiographiques, géographiques et climatiques existantes » (Directive 2008/56/UE).

Dans sa version révisée, la décision 2017/848/UE relative aux normes méthodologiques pour l'atteinte du Bon Etat Ecologique (BEE) des habitats pélagiques repose sur le seul critère primaire D1C6 : « Les caractéristiques du type d'habitat, notamment sa structure biotique et abiotique et ses fonctions (par exemple, composition en espèces caractéristiques et abondances relatives de celles-ci, absence d'espèces particulièrement sensibles ou fragiles ou d'espèces assurant une fonction clé, structure par taille des espèces), ne subissent pas d'effets néfastes dus à des pressions anthropiques ».

La décision 2017/848/UE précise également que le critère D1C6 doit être évalué sur quatre grands types d'habitats pélagiques qui correspondent 1/ aux eaux à salinité variable, 2/ aux eaux côtières, 3/ aux eaux du plateau continental et 4/ à la haute mer. D'autres types d'habitats peuvent être définis conjointement à échelle européenne comme spécifié au 2<sup>nd</sup> paragraphe de la directive.

Par ailleurs, l'arrêté national relatif à la définition du Bon Etat Ecologique (BEE) des eaux marines de 2018 définit la typologie des habitats pélagiques à considérer au titre du Descripteur 1 à savoir : (i) pour les eaux côtières, aux types de masses d'eaux côtières telles que définies dans le cadre de la DCE ; (ii) au-delà des eaux côtières, aux paysages marins<sup>1</sup> définis et présentés dans Duflos et al. (2018). L'arrêté BEE de 2018 précise que l'évaluation des quatre grands types d'habitats doit être rapportées à l'échelle des sous-régions marines (SRM) à savoir Manche - Mer du Nord (MMN), Mers Celtiques (MC), Golfe de Gascogne (GdG) et Méditerranée occidentale (MO).

## 1.2. Structure et objectifs du programme de surveillance « Habitats pélagiques »

Le programme de surveillance (PdS) « Habitats pélagiques » a pour objectif d'acquérir des données permettant de déterminer la répartition, l'étendue et l'état écologique des grands types d'habitats pélagiques, conformément à la décision 2017/848/UE. Il doit permettre d'évaluer l'atteinte (ou non) du BEE et s'intéresse aux habitats pélagiques dans leur globalité en considérant :

1/ Leurs **caractéristiques biotiques** (Figure 1). Il s'agit ici d'aborder de manière intégrative l'ensemble des communautés planctoniques en s'intéressant à leur abondance/biomasse, leur diversité (spécifique et par groupes fonctionnels), et leur variabilité spatio-temporelle à différentes échelles d'observation. Cette acquisition de données est couverte par les sous-programmes (SP) : SP2 (Phytoplancton), SP3 (Zooplancton) et SP4 (Micro-organismes) du PdS. La dénomination du **SP4** en 'Micro-organismes' intègre en réalité les **micro-organismes hétérotrophes et mixotrophes** (e.g. bactéries, nanoflagellés, ciliés et dinoflagellés), les composantes autotrophes étant déjà couvertes par le SP2-Phytoplancton. Ce choix de compartimenter les composantes planctoniques est justifié par les stratégies d'échantillonnage et d'analyses mises en œuvre pour leur surveillance.

2/ Leurs **caractéristiques abiotiques**, c'est-à-dire les conditions environnementales (météorologiques, hydrodynamiques, hydrologiques, physico-chimiques) associées à l'observation des communautés

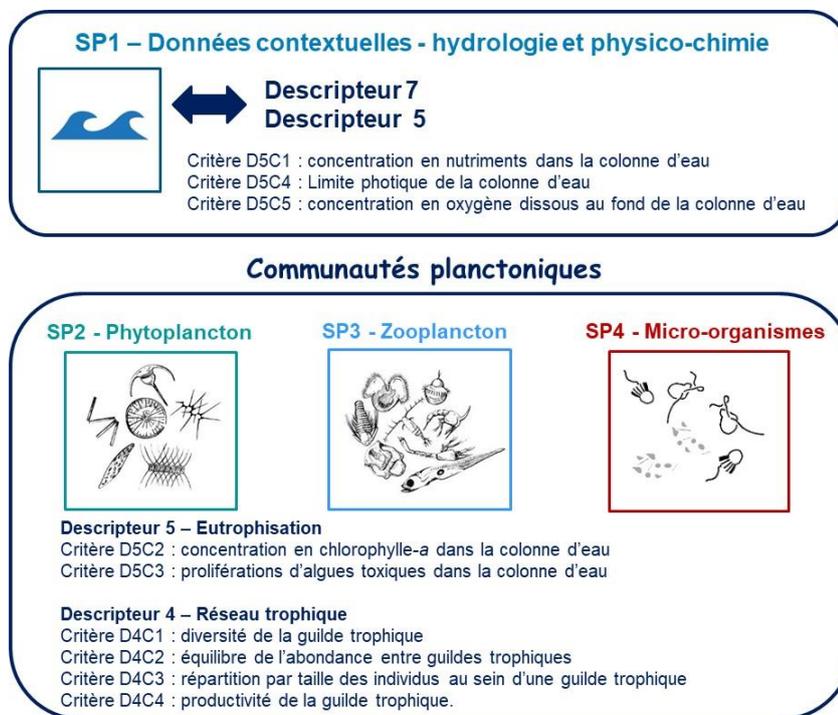
---

<sup>1</sup> Les **paysages marins (seascapes)** sont des entités spatio-temporelles homogènes du point de vue de leur fonctionnement hydrologique et hydrodynamique définis au titre de la DCSMM au 1<sup>er</sup> cycle par Tew-Kai et al. (2020) et récemment revus par Quilfen et al. (2021).

planctoniques et qui peuvent expliquer leur variabilité à différentes échelles spatio-temporelles. Ces données sont acquises dans le cadre du SP1-Données contextuelles : hydrologie et physico-chimie.

3/ Leurs **fonctions** en tant que (i) **producteurs de matière organique** (phytoplancton), (ii) **consommateurs** de matière assurant ainsi le **transfert de matière et d'énergie** au sein du réseau trophique, et (iii) **ressources** pour la consommation humaine, le plancton hébergeant de nombreux stades larvaires d'espèces d'intérêt commercial (e.g. larves de bivalves, de gastéropodes ou de poissons). Ces fonctions sont abordées dans le calcul de certains indicateurs du BEE (e.g. indicateur PH1 rapports entre groupes fonctionnels du plancton) alimentant également d'autres descripteurs de la DCSMM (D4 – Réseaux trophiques).

Certaines des données acquises dans les SP du PdS « Habitats pélagiques » sont communes à d'autres PdS. Ainsi, les données acquises dans le SP1-Données contextuelles sont partagées avec le PdS des descripteurs D7-Conditions Hydrographiques et D5-Eutrophisation. Le **SP2-Phytoplancton** comprend des dispositifs de suivi partagés avec le SP correspondant du PdS « Eutrophisation », et certains des paramètres (abondance totale, production primaire, paramètres photosynthétiques) alimentent des critères transversaux au D4-Réseaux trophiques.



**Figure 1 : Représentation schématique de la structure du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>ème</sup> cycle, sous-programmes constitutifs et liens avec les autres descripteurs et critères de la DCSMM.**

### 1.3. Dispositifs de surveillance mobilisés et cas particulier des campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM

Le PdS « Habitats pélagiques » s'appuie principalement sur des dispositifs de suivis et d'observations existant dans les eaux côtières (e.g. réseaux REPHY-DCE surveillance, SOMLIT) qui répondent aux besoins d'autres politiques publiques (Directive Cadre sur l'Eau, DCE ; Aires Marines Protégées, AMP), aux conventions de mers régionales (Nord Atlantique-OSPAR, Convention de Barcelone en Méditerranée) ou à la nécessité de caractériser l'évolution des écosystèmes côtiers en réponse aux forçages climatiques et anthropiques. Ces suivis permettent de couvrir l'ensemble de la zone côtière des sous-régions marines.

De nouvelles données sont également acquises *in situ* de la côte au large dans le cadre de campagnes en mer, et en particulier de l'action d'optimisation des campagnes halieutiques opérées par Ifremer, ces campagnes étant mises en œuvre au titre du règlement DCF (Data Collection Framework). Cette acquisition de données doit être complétée par les produits de la télédétection spatiale (images satellite) et par la modélisation couplant hydrodynamique et biogéochimie (e.g. modèle ECO-MARS3D en Manche et Atlantique). La validation des algorithmes de télédétection et des modèles par les données de terrain affine les prédictions et cible les besoins de surveillance et/ou les mesures de gestion à envisager.

Cette combinaison d'approches permet l'acquisition de données relatives aux paramètres hydrologiques (température, salinité), physico-chimiques (éléments nutritifs, turbidité, oxygène dissous) et à la biomasse chlorophyllienne dans toutes les sous-régions marines (SRM) de la côte au large. Néanmoins, pour certaines composantes comme l'abondance et la diversité du phytoplancton, du zooplancton et des micro-organismes, les données acquises sur les dispositifs de suivi du PdS sont hétérogènes (i) dans l'espace, c'est-à-dire que certaines SRM sont mieux couvertes que d'autres, et (ii) dans le temps, dès lors que les séries temporelles sont irrégulières et/ou concernent de très basses fréquences d'acquisition<sup>2</sup>.

C'est le cas des données acquises sur les **campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM** (Baudrier et al. 2018). Ces campagnes, ciblées vers les expertises halieutiques, ont été identifiées au début du 1<sup>er</sup> cycle (2012) comme support potentiel de suivis complémentaires à la surveillance. La collecte de paramètres complémentaires via les campagnes correspond à la phase d'optimisation pour la DCSMM et a été jugée prioritaire car elle permettait de collecter au large des données hydrologiques, physico-chimiques et biologiques (phytoplancton<sup>3</sup> et zooplancton, dont le macroplancton<sup>3</sup> gélatineux) à des coûts modérés, une partie des coûts étant déjà couverte au titre de la Politique Commune des Pêches (PCP). Les tests et essais sur le terrain ont été initiés entre septembre 2014 et août 2015 (Baudrier 2015) et la mise en œuvre de l'optimisation a été réalisée progressivement sur 6 campagnes (IBTS<sup>4</sup>, PELGAS<sup>5</sup>, MEDITS<sup>6</sup>, PELMED<sup>7</sup>, EVHOE<sup>8</sup> et CGFS<sup>9</sup>) dans les 4 SRM, dès 2016 (pour certaines des SRM ; Figure 2 et Tableau I).

Une optimisation de la stratégie d'échantillonnage, en termes de couverture spatiale, a été proposée par Devreker et Lefebvre (2018) pour répondre aux besoins des programmes thématiques « Eutrophisation » et « Habitats pélagiques ». Cette phase d'optimisation reposait également sur une action spécifique du PdS 1<sup>er</sup> cycle « Habitats pélagiques », transversale au PdS « Eutrophisation », et intitulée « campagnes dédiées habitats pélagiques ». Elle avait pour objectif de compléter la temporalité des campagnes halieutiques existantes afin d'aboutir à une approche saisonnière des communautés planctoniques. Cette action a été menée en SRM Manche - Mer du Nord en 2018. Elle a consisté à réaliser 2 campagnes complémentaires aux campagnes Ifremer existantes (IBTS2018<sup>10</sup> et CGFS2018<sup>11</sup>) au printemps et en été (ECOPEL 1<sup>12</sup> et ECOPEL 2<sup>13</sup>) afin d'étudier la pertinence de l'approche saisonnière pour répondre aux besoins d'évaluation des habitats pélagiques. A ce titre, des techniques automatisées (e.g. déploiement

---

<sup>2</sup> Dans ce rapport, les données acquises à très basse fréquence sont acquises entre 1 et 4 fois par an. Les données acquises à basse fréquence s'expriment à échelle mensuelle (fréquence mensuelle ou bimensuelle, voire hebdomadaire).

<sup>3</sup> Le macroplancton se réfère en général aux organismes planctoniques dont la taille est comprise entre 2 et 20 cm ; Par souci de simplification ce travail fait référence au macroplancton en considérant les organismes > 2cm, sachant que le mégaplancton (entre 20 cm et 200 cm) est aussi intégré dans les suivis réalisés.

<sup>4</sup>AUBER Arnaud (1992) INTERNATIONAL BOTTOM TRAWL SURVEY (IBTS), <https://doi.org/10.18142/17>.

<sup>5</sup>DORAY Mathieu, DUHAMEL Erwan, HURET Martin, PETITGAS Pierre, MASSE Jacques (2000) PELGAS, <https://doi.org/10.18142/18>

<sup>6</sup>JADAUD Angélique, CERTAIN Grégoire (1994) MEDITS, <https://doi.org/10.18142/7>

<sup>7</sup>BOURDEIX Jean-Hervé, HATTAB Tarek (1985) PELMED - PELAGIQUES MEDITERRANÉE, <https://doi.org/10.18142/19>

<sup>8</sup>LAFFARGUE Pascal, GARREN François, POULARD Jean-Charles, BELLAIL Robert, SALAUN Michèle, MAHE Jean-Claude (1987) EVHOE EVALUATION HALIEUTIQUE OUEST DE L'EUROPE, <https://doi.org/10.18142/8>

<sup>9</sup>LE ROY Didier, GIRALDO Carolina, COPPIN Franck, TRAVERS-TROLET Morgane (1988) CGFS : CHANNEL GROUND FISH SURVEY, <https://doi.org/10.18142/11>

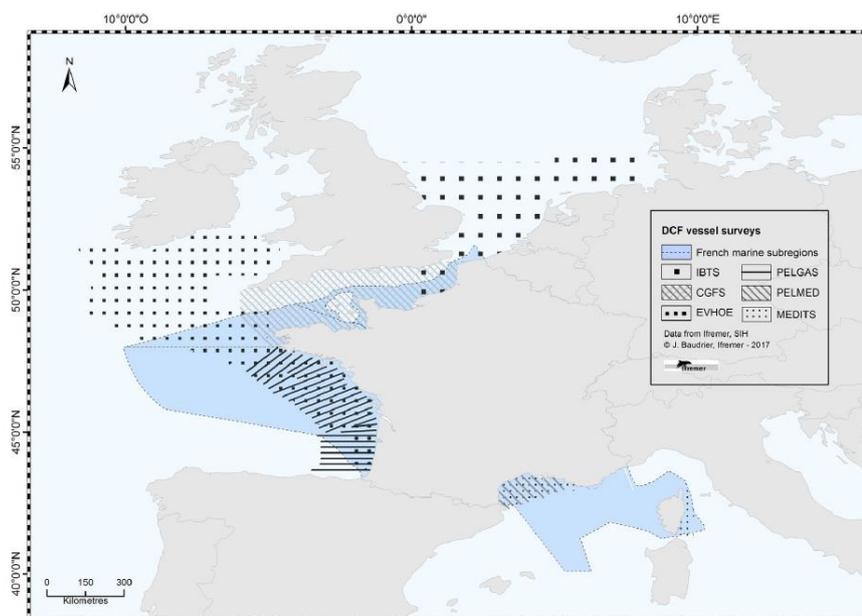
<sup>10</sup>VERIN Yves (2018) IBTS 2018 croise, RV Thalassa, <https://doi.org/10.17600/18000003>

<sup>11</sup>TRAVERS-TROLET Morgane, GOASCOZ Nicolas (2018) CGFS2018 croise, RV Thalassa, <https://doi.org/10.17600/18000517>

<sup>12</sup>ARTIGAS Luis Felipe (2018) ECOPEL 2018 croise, RV Antea, <https://doi.org/10.17600/18000443>

<sup>13</sup>ARTIGAS Luis Felipe (2018) ECOPEL 2018 LEG2 croise, RV Antea,

d'un cytomètre en flux automatisé, fluoroprobe) et des mesures de paramètres complémentaires (e.g. composition pigmentaire du phytoplancton par HPLC) aux paramètres hydro-biologiques généralement mesurés sur les campagnes optimisées ont été réalisées. Les conclusions des travaux remis dans leur version provisoire (Jouandet et al. 2019) n'ont pas permis de conclure quant à la pertinence de pérenniser ce type d'approche saisonnière à long terme. Les résultats relatifs à la collecte de certains paramètres (phytoplancton par HPLC, analyses taxinomiques du zooplancton) n'ont pas été exploités dans leur totalité et n'ont pas été intégrés dans le calcul des indicateurs. Les perspectives de surveillance comme d'évaluation reposaient sur des schémas conceptuels qui n'ont pas été testés sur les données collectées et/ou existantes, ne permettant pas de justifier la poursuite de ces approches saisonnières pour répondre aux besoins spécifiques du programme thématique « Habitats pélagiques » de la DCSMM.



**Figure 2 : Localisation des zones échantillonnées par les campagnes halieutiques en fonction des SRM de la DCSMM (Baudrier et al. 2018).**

#### 1.4. Objectifs du rapport

Un retour d'expérience sur les campagnes halieutiques organisé par Ifremer en 2019, et l'analyse critique des dispositifs structurant le PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>ème</sup> cycle (Vincent 2020) ont amené à faire le point sur la pertinence de ces campagnes à différents niveaux. Cette démarche est justifiée par plusieurs éléments :

1. Pour certaines campagnes, les données collectées pour la DCSMM depuis 2016 n'ont jamais été utilisées comme aide à l'interprétation, ni exploitées au titre du descripteur « Biodiversité - Habitats pélagiques ».
2. La stratégie d'acquisition des paramètres mesurés dans le cadre des campagnes halieutiques (périodes et fréquence d'acquisition des données, méthodes mises en œuvre pour étudier certaines composantes) et la réponse aux besoins du programme thématique doivent être évaluées.

Le présent rapport constitue une analyse argumentée de l'intérêt des campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM, ce dispositif de surveillance ayant été classé dans le PdS 2<sup>ème</sup> cycle comme « à l'état d'étude », c'est-à-dire comme dispositif exploratoire dont la pertinence pour la DCSMM est à approfondir. Ce dispositif de surveillance n'a donc pas été intégré dans le PdS « Habitats pélagiques » adopté dans le document stratégique de façade. Ce rapport répond également à une demande du comité des financeurs des actions de surveillance DCSMM et vise plus spécifiquement à fournir une expertise et un avis scientifique et technique sur l'utilité des données acquises (depuis 2016 dans certaines SRM) pour

répondre aux besoins d'évaluation et de surveillance du descripteur « Biodiversité - Habitats pélagiques ». Il tient compte de l'état de développement actuel des indicateurs Habitats pélagiques.

Les objectifs de ce rapport sont de :

- (i) décrire et examiner les techniques et méthodes déployées sur ces campagnes pour établir si les données acquises (types de données, temporalité, saisonnalité, couverture spatiale) peuvent répondre aux besoins du programme thématique « Habitats pélagiques » ;
- (ii) réaliser un état des lieux sur les données acquises et leur exploitation au titre du programme thématique « Habitats pélagiques » de la DCSMM ;
- (iii) proposer des recommandations de surveillance à partir d'une analyse comparative d'autres dispositifs existants.

## 2. Stratégies d'échantillonnage mises en œuvre sur les campagnes optimisées DCSMM

### 2.1. Calendrier et durée des campagnes optimisées

Les campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM se déroulent sur environ 1 mois et à différents moments de l'année pour une SRM donnée (Tableau I). Certaines campagnes (EVHOE, IBTS) ont ainsi lieu pendant les périodes automnale et hivernale, respectivement. D'autres campagnes sont programmées en fin de période printanière (PELGAS) et pendant l'été (PELMED, MEDITS) ; la campagne CGFS correspond au début de la période automnale.

Au cours d'une campagne, les prélèvements au chalut pour l'estimation des stocks halieutiques sont réalisés le jour. La collecte des données hydro-biologiques intéressant la thématique « Habitats pélagiques » se fait le jour et/ou la nuit.

**Tableau I : Stratégie déployée pour l'optimisation des campagnes halieutiques pour la DCSMM. Sont présentés les SRM concernées, les mois de l'année pendant lesquels ont lieu les campagnes et la date de début d'optimisation au titre de la DCSMM pour le programme thématique « Habitats pélagiques ».**

SRM CONCERNEE	CAMPAGNE	MOIS DE L'ANNEE	DATE DE DEBUT D'OPTIMISATION AU TITRE DE LA DCSMM
Manche - Mer du Nord MMN	IBTS	mi-janvier à mi-février	2017 (phytoplancton) 2018 (zooplancton)
	CGFS	septembre à octobre	2016 (zooplancton) 2018 (phytoplancton)
Mers Celtiques MC	PELGAS <sup>a</sup>	mai à juin	2016 (zooplancton) 2019 (phytoplancton)
	EVHOE	octobre à novembre	2016 (zooplancton) 2019 (phytoplancton)
Golfe de Gascogne GdG	PELGAS	mai à juin	2016 (zooplancton) 2019 (phytoplancton)
	EVHOE	octobre à novembre	2016 (zooplancton) 2020 (phytoplancton)
Méditerranée occidentale MO	MEDITS	mai à juin	2016 (zooplancton) pas de phytoplancton <sup>b</sup>
	PELMED	juin à juillet	2016 <sup>c</sup> (zooplancton) 2016 (phytoplancton)

<sup>a</sup> Pour PELGAS, l'optimisation des campagnes halieutiques pour la DCSMM a débuté en 2016 mais des données sont disponibles depuis 2007.

<sup>b</sup> Pour MEDITS, en raison des moyens humains disponibles, il n'est pas possible d'assurer la collecte des échantillons à bord pour l'analyse spécifique des communautés phytoplanctoniques.

<sup>c</sup> pour PELMED, l'optimisation des campagnes halieutiques a débuté en 2016 mais des données sont disponibles depuis 2013

## 2.2. Stratégies spatiales d'échantillonnage et couverture des SRM

Les stations de prélèvement pour les paramètres hydrologiques, physico-chimiques et biologiques (phytoplancton et zooplancton) qui intéressent le programme thématique « Habitats pélagiques » sont définies en fonction des stratégies déjà déployées pour les campagnes halieutiques. La localisation spatiale des stations peut ainsi être variable d'une année à l'autre (en fonction des campagnes considérées) car conditionnée par les positionnements des actions de traits de chalut, eux-mêmes sous dépendance de la localisation des bancs de poissons (Figures 3 à 5). Il est à noter qu'en cas de mauvaises conditions météorologiques les déploiements de chaluts sont priorités, ce qui peut amener à un déséquilibre dans l'échantillonnage des communautés planctoniques d'une année à l'autre.

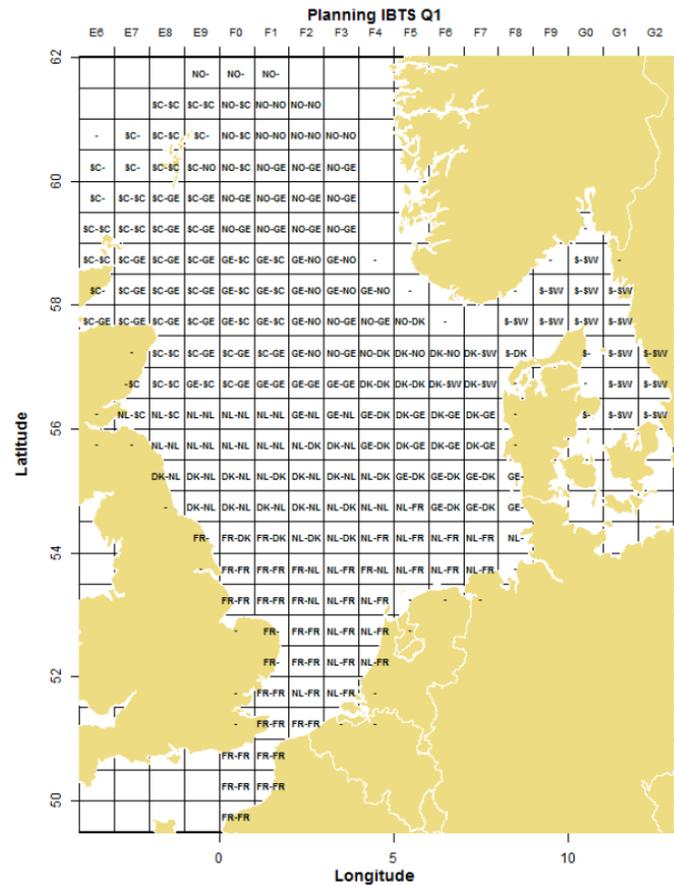
La campagne IBTS met en œuvre une stratégie d'échantillonnage semi-aléatoire, deux points de prélèvement sont ainsi localisés aléatoirement dans un rectangle statistique d'environ 30 x 30 milles nautiques (1 degré longitude x 0,5 degré latitude) défini par le CIEM<sup>14</sup>. Chaque rectangle est échantillonné deux fois, par deux pays/navires différents, lorsque la logistique le permet. La répartition des rectangles entre les pays est définie chaque année par le groupe de travail IBTS et, si nécessaire, par les coordinateurs internationaux avant et pendant la campagne. Les navires sont libres de choisir n'importe quelle position dans les rectangles, à condition que les traits de chalut soient séparés d'au moins 10 milles nautiques dans la mesure du possible, sauf si les pays effectuent plus de deux traits par rectangle (Figure 3A).

A échelle nationale, l'emprise spatiale des campagnes IBTS couvre le secteur nord-est de la SRM MMN (Figure 3B). Les campagnes CGFS complètent la couverture des SRM MMN et MC avec une période de réalisation automnale. Depuis 2018, l'emprise spatiale de la campagne CGFS a été officiellement étendue à la Manche Occidentale à la suite d'essais réalisés en 2014 et 2015 (Figure 3C). Cette extension de la couverture spatiale vers l'ouest sur certaines années peut entraîner un biais associé à un suréchantillonnage de la partie Est en 2016 et 2017.

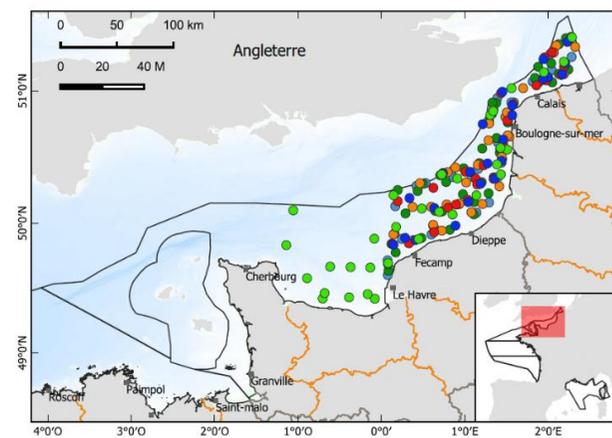
---

<sup>14</sup>Conseil International pour l'Exploration de la Mer

A

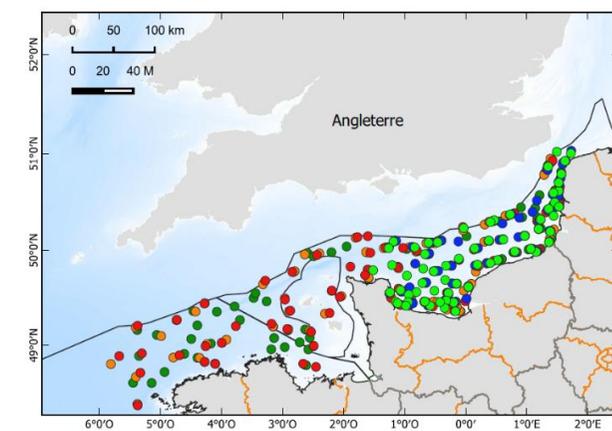


B



- 2016
- 2017
- 2018
- 2019
- 2020
- 2021

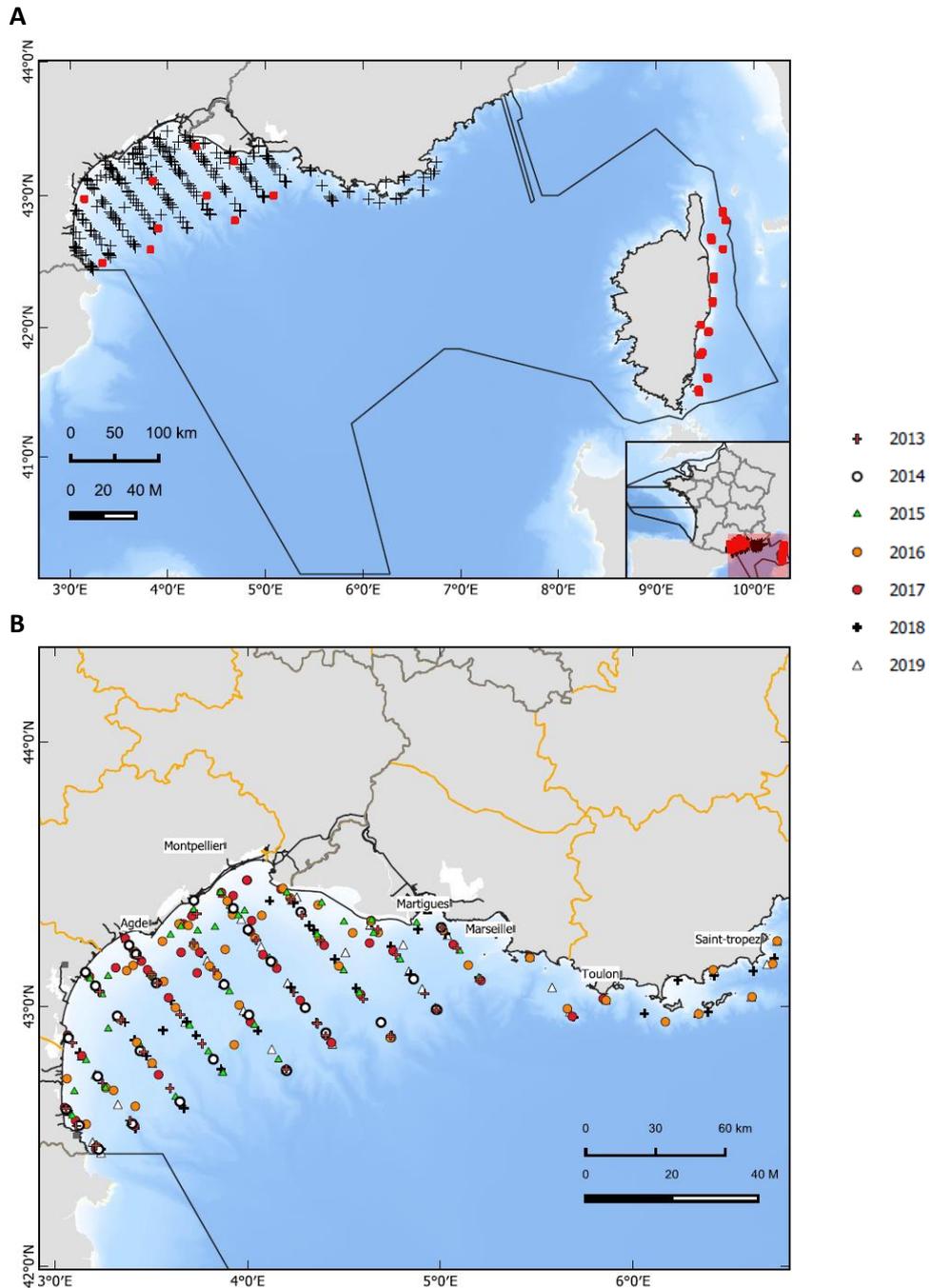
C



**Figure 3 : Stratégie d'échantillonnage déployée dans le cadre des campagnes IBTS (A : d'après Lazard et al. 2021). FR : France ; DK : Danemark ; NO : Norvège ; GE : Allemagne ; NL : Pays-Bas ; SC : Ecosse. Zones d'emprise spatiale des campagnes IBTS (B) et CGFS (C) dans les SRM MC et MMN. Sont présentées les stations de mesure des paramètres hydrologiques par sonde multiparamétrique sur la période 2016-2021.**

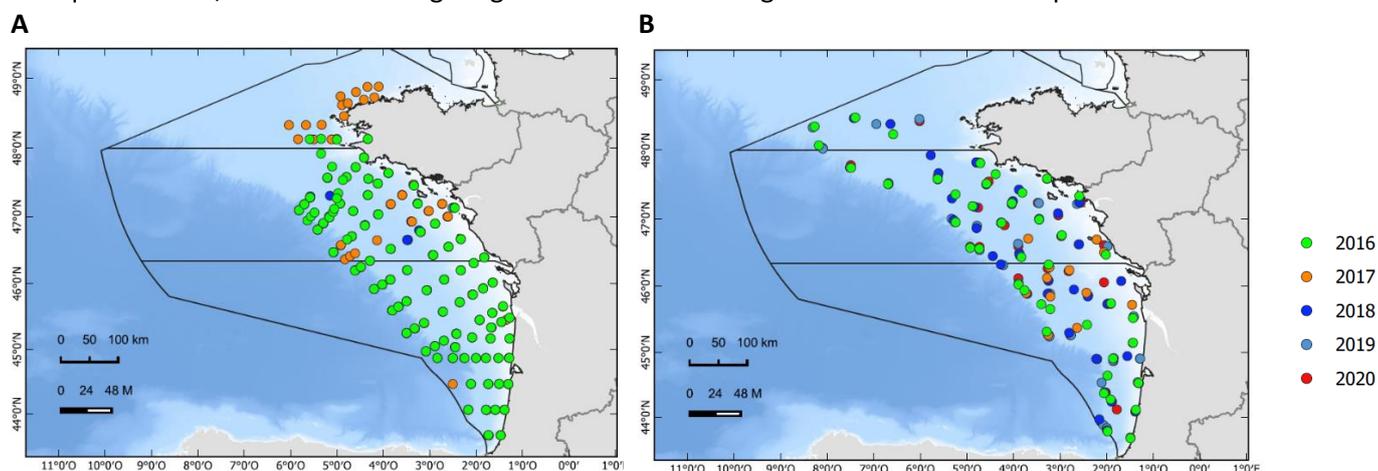
Pour les campagnes PELMED et PELGAS, les stations de prélèvement sont réparties le long de radiales allant de la côte vers le large. Seules les stations localisées aux extrémités de chaque radiale sont fixes d'une année sur l'autre (Figures 4 et 5).

En Méditerranée, les campagnes PELMED et MEDITS couvrent la partie ouest de la SRM MO et leur emprise spatiale est restreinte au plateau du Golfe du Lion et à l'est de la Corse (Figures 4A et 4B).



**Figure 4 : Stratégie d'échantillonnage déployée sur les campagnes halieutiques PELMED (+) et MEDITS (■) et emprise spatiale à l'échelle de la SRM MO (A). Détails de la stratégie d'échantillonnage des campagnes PELMED dans le Golfe du Lion (B). Sont représentées les stations de mesure des paramètres hydrologiques par sonde multiparamétrique sur la période 2013-2019 (PELMED) et 2017-2019 (MEDITS)**

Les campagnes PELGAS et EVHOE permettent une bonne couverture du plateau continental du Golfe de Gascogne (Figures 5A et 5B), les stations étant relativement fixes d'une année à l'autre. Certaines des campagnes PELGAS ont permis une extension de la couverture spatiale vers la SRM Mers Celtiques en 2016 et 2017. En plus d'une prospection de la SRM Golfe de Gascogne, les campagnes EVHOE permettent, quant à elles, un échantillonnage régulier de la zone au large de la SRM Mers Celtiques.



**Figure 5 : Stratégie d'échantillonnage déployée sur les campagnes halieutiques PELGAS (A) et EVHOE (B) et emprises spatiales à l'échelle des SRM MC et GdG. Sont représentées les stations de mesure des paramètres hydrologiques par sonde multiparamétrique sur la période 2016-2020. En raison de la crise sanitaire COVID19, la campagne PELGAS 2020 n'a pas eu lieu.**

Les travaux de Devreker et Lefebvre (2018) ont permis d'affiner la stratégie spatiale propre à la DCSMM et de proposer une grille prédéfinie pour chaque campagne. Une stratégie d'échantillonnage de maillage différent a ainsi été proposée depuis la côte (masses d'eau côtière, jusque 1 mille nautique) jusqu'au large (maille de  $1/5^\circ$  au-delà de 12 milles nautiques), en considérant une maille intermédiaire de  $1/20^\circ$  dans la zone de 1 à 12 mille nautique. Cette proposition visait à une optimisation de la stratégie spatiale d'échantillonnage en s'appuyant sur les campagnes dédiées DCSMM (e.g. ECOPEL 1 et ECOPEL 2 réalisées en 2018) tout en respectant les contraintes propres aux campagnes halieutiques. Pour la prochaine évaluation de l'atteinte du BEE du descripteur 5 - Eutrophisation, les échelles spatiales au large ne s'appuient plus sur cette grille mais sur des écorégions définies sur la base de paramètres hydrodynamiques et biologiques (e.g. écorégions de la procédure commune OSPAR – COMP4). Au titre du programme thématique « Habitats pélagiques », les travaux relatifs à la définition de biorégions au large sont en cours (Vilain et al. 2022).

## 2.3. Stratégies d'échantillonnage et paramètres suivis

### 2.3.1. Hydrologie, physico-chimie et phytoplancton

- Suivis stationnels

L'acquisition des paramètres température, salinité, densité et fluorescence est commune à toutes les campagnes. Elle est réalisée en station par déploiement d'une sonde multiparamétrique le long d'un profil vertical (e.g. type Seabird SBE 19plus pour PELMED, SBE21 pour PELGAS). D'autres capteurs ajoutés sur la sonde permettent l'acquisition d'un profil de PAR (Photosynthetically Active Radiation ; IBTS, CGFS, PELMED et MEDITS) et de données physico-chimiques comme la turbidité, la concentration en oxygène dissous, et le pH.

Des prélèvements d'eau de mer sont réalisés à l'aide d'une rosette de bouteille Niskin en surface<sup>15</sup> pour l'analyse en laboratoire des éléments nutritifs (nitrates, nitrites, ammonium, phosphates et silicates), de la concentration en matières en suspension, et du phytoplancton (biomasse par dosage de chlorophylle-a par fluorimétrie ; analyses taxinomiques des communautés par microscopie inversée).

- Suivis continus

Des enregistrements continus en sub-surface au moyen d'un FerryBox (sur le N/O Thalassa) ou d'un Pocket FerryBox (appareil plus petit déployé sur le N/O Europe) associé au circuit du thermosalinomètre du bateau, permettent la mesure de paramètres hydrologiques (température et salinité), physico-chimiques (pH, turbidité) et biologiques (concentrations en chlorophylle-a, classes spectrales phytoplanctoniques *via* le module Algae Online Analyzer- AOA). L'Algae Online Analyser (AOA) est un instrument de mesure à haute résolution (haute fréquence, échelle de la minute) fondé sur la mesure de la fluorescence spectrale. Il permet une acquisition de données relatives aux groupes pigmentaires d'algues, à partir de leur spectre d'absorption spécifique et de la fluorescence émise, aboutissant à une estimation de la « biomasse phytoplanctonique » totale (en unités équivalents chlorophylle). Quatre groupes spectraux peuvent ainsi être identifiés par le biais de cet instrument (selon les calibrations constructeur) : les « algues vertes » (Chlorophytes), les « algues bleues-vertes » (Cyanobactéries à phycocyanine majoritaire), les « algues brunes » (dont les Diatomées et les Dinoflagellés), et le groupe dit des « cryptophycées » (Cryptophytes, Rhodophytes et Cyanobactéries à phycoérythrine majoritaire).

Couplés à des systèmes de mesure en continu des conditions hydrologiques (type FerryBox ou Pocket Ferrybox), ces instruments ont permis une analyse à fine échelle de la distribution spatiale des groupes phytoplanctoniques spectraux de la Manche et des caractéristiques des masses d'eau associées (Lefebvre et Poisson-Caillault 2019). Les capacités opérationnelles de ces instruments automatisés pour répondre aux besoins des PdS « Eutrophisation » et « Habitats pélagiques » de la DCSMM ont été analysés en Manche – Mer du Nord et en Mers Celtiques dans le rapport de Lefebvre et Devreker (2019).

### 2.3.2. Collecte du zooplancton et méthodes d'analyse

- Mésozooplancton (> 200 µm)

Les prélèvements zooplanctoniques sont réalisés verticalement ou obliquement avec des filets à plancton de type WP2 (ouverture 0,25 m<sup>2</sup> ; hauteur 261 cm ; cylindro-conique ; vide de maille 200 µm – Tranter et Smith 1968), chaque filet étant muni d'un collecteur terminal filtrant de 1-2 L. Un volucompteur placé à l'entrée du filet permet d'estimer le volume filtré (m<sup>3</sup>) au cours de chaque trait de plancton. Une fois le filet relevé, il est rincé à bord. Le produit de la collecte est concentré dans le collecteur terminal, puis tamisé (sur 200 µm ou 100 µm) et conditionné dans un flacon contenant du formol tamponné (4 à 5 % en concentration finale ; 0,9 % sauce Battaglia pour IBTS et CGFS, Mastail et Battaglia 1978)

Sur la majorité des campagnes, un filet unique est déployé selon un trait oblique (CGFS, IBTS, EVHOE, PELMED, MEDITS) jusqu'à 100 m de profondeur, ou jusqu'à 5 m au-dessus du fond pour les stations de profondeur < 100 m. Sur les campagnes PELGAS, la collecte de zooplancton est réalisée par déploiement simultané sur la verticale de plusieurs filets (n=3) montés sur une même structure. Chaque échantillon issu d'un filet à plancton alimente un type d'analyse (e.g. poids sec, détermination taxinomique, analyse isotopique).

A noter que pour l'ensemble des campagnes (cf. §2.1), les prélèvements de zooplancton peuvent avoir lieu la nuit et/ou le jour. Les prélèvements de nuit intègrent donc des espèces effectuant des migrations

---

<sup>15</sup> A noter que pour certaines campagnes comme PELMED, les éléments nutritifs et la concentration en chlorophylle-a sont mesurés en surface, à profondeur intermédiaire et au fond.

nycthémerales (i.e. remontant à la surface la nuit et descendant en profondeur pendant la journée), et sous-estiment probablement les espèces vivant à proximité des fonds en zone côtière (e.g. copépodes harpacticoides, copépodes calanoïdes comme *Pseudodiaptomus marinus*). Certains filets sont déployés de manière complémentaire pour récolter des larves de poissons. Il s'agit des filets MIK (Methot Isaac Kidd ; 2 m de diamètre d'ouverture ; 5 mm de vide de maille) sur les campagnes IBTS et PELGAS, et d'un filet à plancton type Bongo (330 µm vide de maille) sur PELMED.

Les méthodes d'analyse du mésozooplancton diffèrent en fonction des campagnes halieutiques et de fait, des SRM. En Méditerranée, les analyses se font sous loupe binoculaire, ce qui mène à une détermination taxinomique fine. En SRM MMN, MC et GdG l'analyse d'images est privilégiée et s'appuie sur des techniques éprouvées comme le ZooScan (campagnes IBTS et CGFS) ou en cours de développement (ZooCAM, campagnes PELGAS et EVHOE ; Colas et al. 2018).

Le dénombrement et l'analyse des communautés zooplanctoniques sous loupe binoculaire (PELMED, MEDITS) permettent d'acquérir des données relatives à l'abondance totale et spécifique des organismes (par groupes, genres et espèces, voire stades de développement). Cependant, le temps d'analyse est relativement long et nécessite de mobiliser une expertise taxinomique rare à l'échelle nationale.

Les techniques semi-automatisées de dénombrement sont en développement et sont souvent associées à des logiciels de reconnaissance et classification (Plankton Identifier, Zooprocess, Zoo/PhytoImage ; application web Ecotaxa). Elles permettent l'analyse d'un nombre important d'échantillons sur des zones étendues.

L'analyse d'images par ZooScan (IBTS, CGFS) a déjà démontré sa pertinence pour évaluer l'abondance totale et le biovolume des communautés zooplanctoniques dans de nombreux écosystèmes (Gorsky et al. 2010 ; Uusitalo et al. 2016 ; Vandromme et al. 2012). Cet appareil fonctionne comme un scanner permettant la numérisation des échantillons de zooplancton en milieu liquide et utilise l'analyse d'images pour détecter, compter et mesurer les organismes (~3000 objets correspondant à 2-3 échantillons par jour ; Romagnan et al. 2016). Il doit cependant être stable pendant le processus de balayage des échantillons et ne peut être utilisé qu'en laboratoire. Ces analyses permettent d'aboutir à des estimations très fiables de l'abondance totale du zooplancton et des copépodes ainsi qu'à l'évaluation de leur spectre de taille. En fonction de l'opérateur, certaines identifications de copépodes peuvent être réalisées au niveau du genre, cet appareil permettant rarement une identification taxinomique spécifique.

Le ZooCAM (Colas et al. 2018 ; PELGAS, EVHOE) est un couple instrument d'imagerie/logiciels d'analyse d'images, s'appuyant sur l'analyse des organismes zooplanctoniques vivants et récoltés par pompage et filtration sur une maille de taille déterminée en fonction des organismes ciblés. L'analyse par ZooCAM cible les organismes > 300 µm en diamètre sphérique équivalent, ce qui limite l'intégration de nombreux organismes mésozooplanctoniques tels que les stades copépodites et les larves d'organismes benthiques (e.g. cirripèdes, bivalves et gastéropodes). Des incertitudes sur les mesures d'abondance totale du zooplancton (jusqu'à 20 % d'incertitude associée sur certains sites) ont été rapportées (Colas et al. 2018) ; ceci est particulièrement marqué pour les organismes de grande taille (méduses, appendiculaires, mysidacés) qui peuvent être localement très abondants.

Des travaux en cours, coordonnés par J.B. Romagnan (Ifremer, Lab. Ecologie et Modèles pour l'Halieutique) dans le cadre de la thèse de N. Grandrémy<sup>16</sup>, visent à assurer une comparaison des techniques automatisées (ZooScan/ZooCAM) dans le Golfe de Gascogne. Ces travaux apporteront des informations importantes quant à la pertinence et l'opportunité d'utiliser ces techniques dans le futur pour la surveillance de certains groupes zooplanctoniques, en particulier pour les estimations d'abondance et les spectres de taille.

---

<sup>16</sup> Thèse Ifremer/Région Pays de la Loire (2019-2023). Relation entre mésozooplancton et petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne dans un contexte de changements environnementaux. Ecole Doctorale Sciences de la Mer et du Littoral.

Pour l'ensemble de ces équipements fondés sur l'analyse d'images (ZooScan et ZooCAM), des incertitudes sont associées à la détermination taxinomique des organismes et dépendent du niveau d'expertise mis en œuvre pour identifier les images bancarisées. Ceci est encore plus délicat pour les images acquises par ZooCAM qui ne correspondent pas à une vision 2D mais 3D des organismes vivants. Des inter-comparaisons sont nécessaires entre les différentes techniques d'imagerie (ZooScan/ZooCAM) afin de rendre compte des incertitudes associées à la détermination de certains groupes pouvant être d'intérêt (e.g. groupes fonctionnels du zooplancton de l'indicateur PH1) pour le programme thématique « Habitats pélagiques » ainsi que pour le Descripteur 4 – Réseaux trophiques (e.g. guildes trophiques des producteurs secondaires).

- **Macroplancton gélatineux**

Le suivi et l'analyse taxinomique des communautés de macroplancton gélatineux (i.e. méduses, siphonophores, cténaires, tuniciers pélagiques) sont assurés sur toutes les façades depuis 2015, selon un protocole harmonisé mis en œuvre lors des campagnes halieutiques (Aubert et al. 2018). Les organismes sont collectés par traits de chalut permettant ainsi d'obtenir des données sur une large couverture spatiale et de reproduire l'effort d'échantillonnage au fil du temps (Tableau II).

Après chaque collecte, les organismes sont analysés à bord (identification, pesée, mesure du diamètre de l'ombrelle, prise de photos quand cela s'avère nécessaire). Les données acquises par chalutage sont semi-quantitatives et exprimées en représentativité des taxons (en proportion du nombre total compté) et/ou de leur biomasse (en proportion de poids total de la capture chalut). Depuis 2015, la série de données acquise lors des campagnes halieutiques a permis de bancariser des paramètres relatifs à la structure des communautés de plancton gélatineux (taille, biomasse) et à leur distribution spatiale, en y associant les propriétés hydrologiques et physico-chimiques de leur environnement.

**Tableau II : Caractéristiques des chaluts et des traits de chaluts (durée et vitesse) réalisés lors des campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM d'après Antajan et al. (2019) – GOV : Grande Ouverture Verticale**

CAMPAGNE	CHALUT	OUVERTURE VERTICALE (M)	MAILLE COD END	DUREE DU TRAIT	VITESSE
IBTS	GOV 36/47	4-5	20 mm	30 min	4 nœuds
CGFS	GOV 36/47 GOV 36/49	4-5	20 mm	30 min	4 nœuds
EVHOE	GOV 36/47	4-5	20 mm	20-40 min	4 nœuds
MEDITS	GOC 73	2-3	20 mm	30 min	4 nœuds
CAMPAGNE	CHALUT	DIAMETRE THEORIQUE (M)	MAILLE COD END	DUREE DU TRAIT	VITESSE
PELGAS	57x52	17	24 mm	10-60 min	~4 nœuds
	76x70	13	24 mm	10-60 min	~4 nœuds
PELMED	4FF176	19	24 mm	40-70 min	~3-4 nœuds
	4PM159	16	24 mm	40-70 min	~3-4 nœuds

- Œufs et larves de poissons

Le CUFES (Continuous Underway Fish-Egg Sampler ; Checkley et al. 2000) est un système de pompage d'œufs de poisson à partir de prélèvements d'eau réalisés 3 à 5 m sous la surface. L'eau pompée au cours de la trajectoire du bateau (échantillonnage tous les 3 nm ; vitesse d'opération du bateau à 10 nœuds) passe dans un séparateur qui isole les particules contenues dans l'eau de mer. Ces particules sont ensuite piégées sur une maille de 315  $\mu\text{m}$ , et récupérées à la fin de la séquence de pompage de 30 minutes. Les échantillons sont conservés (formol ou éthanol) puis analysés en laboratoire (identification et dénombrement des œufs et des larves).

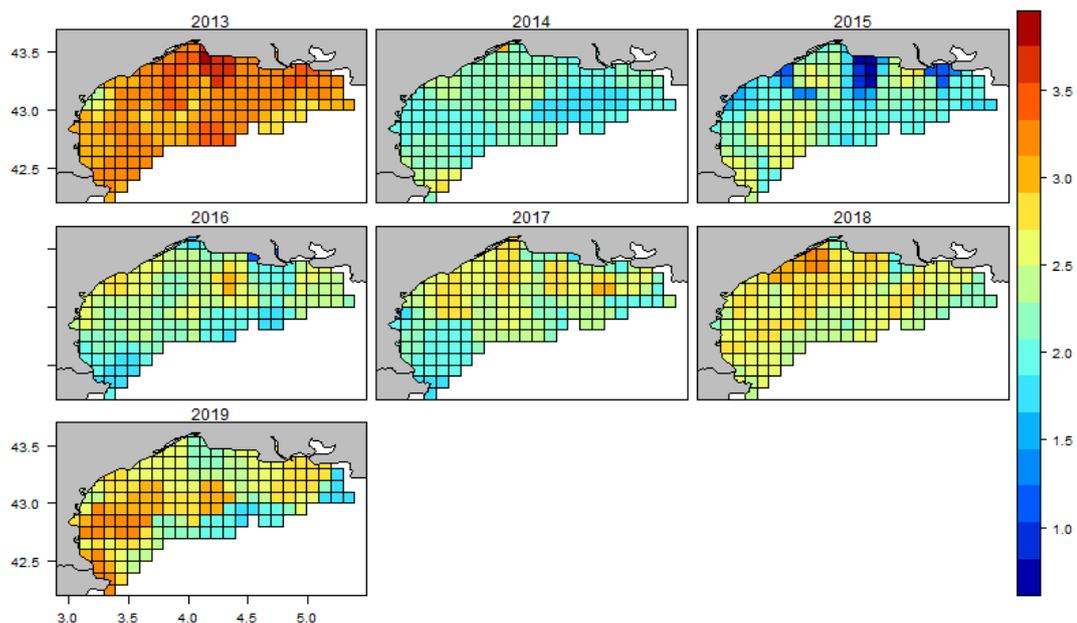
### 3. Analyse de la pertinence des campagnes optimisées pour répondre aux besoins d'évaluation du bon état écologique des Habitats pélagiques

#### 3.1. Echelles spatio-temporelles d'acquisition de données

3.1.1. Une bonne couverture d'ensemble des SRM de la façade Manche et Atlantique – une couverture restreinte en SRM Méditerranée occidentale et en Mers Celtiques.

Les campagnes optimisées réalisées en Manche Mer du Nord (IBTS, CGFS) et Golfe de Gascogne (PELGAS, EVHOE) couvrent relativement bien ces SRM (Figures 3 et 5). La couverture spatiale est beaucoup plus restreinte pour les SRM MO (PELMED, MEDITS) et MC (EVHOE et PELGAS).

L'exploitation de données spatialisées, dont la localisation est variable d'une année à l'autre du fait de la stratégie d'échantillonnage, nécessite la mise en œuvre de méthodes statistiques de cartographie des paramètres d'intérêt (abondance, biomasse) qui permettent de moduler l'effet de cette contrainte. Des méthodes statistiques (e.g. *block-averaging*) - initialement développées pour la cartographie des stocks halieutiques (Petitgas et al. 2014 ; Doray et al. 2018) - ont été appliquées dans le cadre d'analyses exploratoires sur les abondances totales de copépodes adultes issues des campagnes estivales PELMED (Figure 6 ; Nithard 2021).



**Figure 6 : Cartographie des abondances totales de copépodes adultes ( $\text{ind. m}^{-3}$ ) collectées pendant les campagnes PELMED au cours de la période 2013-2019. Interpolation par la méthode de *block-averaging* sur données log transformées  $\text{Log}_{10}(X+1)$  (Nithard 2021)**

Les premiers résultats de ces travaux confirment la très forte variabilité des abondances d'une année à l'autre, rendant difficile l'extraction de tendances et l'identification de changements d'état au sens de la DCSMM, ainsi qu'une forte variabilité spatiale au cours de la période 2013-2019 (Figure 6). La cartographie des abondances permet la distinction de secteurs particuliers présentant une forte variabilité (e.g. Rhône, sud-ouest du Golfe du Lion). Les travaux réalisés sur les données zooplanctoniques des campagnes PELMED confirment l'importance de ces secteurs, aussi bien en termes de composition (Feuilloley 2020 ; Feuilloley et al. 2021), que de fonctionnement de l'écosystème planctonique (Nithard 2021).

Aucune analyse à long terme n'a cependant été possible. Les données ne sont disponibles que sur une période restreinte de l'année, sur moins de 10 ans et de fortes différences interannuelles existent dans l'échantillonnage (e.g. seulement 7 échantillons de zooplancton collectés en 2014 ; Nithard 2021). Il est donc impossible d'établir avec certitude si la variabilité observée relève d'un changement d'état ou de l'hétérogénéité spatiale (« plankton patchiness ») intrinsèque aux communautés zooplanctoniques et espèce-dépendante (Robinson et al. 2021).

### 3.1.2. Périodes de réalisation des campagnes et liens avec la dynamique planctonique saisonnière.

La plupart des campagnes optimisées ont lieu lors de périodes peu productives qui correspondent à des fins d'efflorescence (PELGAS, CGFS) et/ou à des périodes de faible production, i.e. en hiver (en Manche - Mer du Nord ; IBTS) ou en été (en Méditerranée ; PELMED et MEDITS).

En Manche-Mer du Nord, la campagne hivernale IBTS a lieu pendant la période de plus faible production phytoplanctonique, alors que CGFS se déroule en septembre-octobre, période caractérisée par la fin de l'efflorescence phytoplanctonique secondaire. La SRM MMN n'est donc pas explorée pendant la période au cours de laquelle les efflorescences phytoplanctoniques sont particulièrement importantes en intensité et durée. Ces efflorescences sont caractérisées par des communautés d'espèces nuisibles et/ou toxiques (*Phaeocystis globosa*, *Pseudo-nitzschia* spp. ; Delegrange et al. 2018) connues pour impacter le fonctionnement des écosystèmes planctoniques (Grattepanche et al. 2011 ; Seuront et al. 2006 ; Seuront et Vincent 2008) et les organismes pélagiques (e.g. Delegrange et al. 2015).

Dans le Golfe de Gascogne et en Mers Celtiques, mai-juin (PELGAS) correspond à la fin de la période productive qui succède aux efflorescences de fin d'hiver et début de printemps (février-mars ; Dupuy et al. 2011 ; Labry et al. 2001). La phénologie des efflorescences printanières et leur intensité dépendent de la température hivernale (e.g. Houliez et al. 2021) et du brassage hivernal : sur la période 1993-2012, González-Gil et al. (2018) ont démontré que des mélanges verticaux plus profonds et plus tardifs dans l'année entraînaient des efflorescences plus intenses et tardives en Mer Cantabrique. Ces modifications dans la phénologie des efflorescences peuvent avoir des effets sur la composition, l'abondance et la biomasse des communautés zooplanctoniques échantillonnées en mai et juin (Dessier et al. 2018 ; Doray et al. 2018), et sur celles des petits pélagiques par effet *bottom-up* (e.g. sardine, Véron et al. 2020). La campagne EVHOE (octobre-novembre) se déroule en période automnale, caractérisée par une diminution de la température, de l'éclairement journalier, par une augmentation de l'agitation des eaux par les tempêtes ce qui entraîne une limitation très rapide de la croissance phytoplanctonique, impactant la dynamique des consommateurs zooplanctoniques herbivores.

Dans l'écosystème oligotrophe de la Méditerranée occidentale, les campagnes PELMED et MEDITS ont lieu pendant la période estivale qui correspond à une période optimale pour les petits pélagiques ; *a contrario* des communautés planctoniques pour lesquelles la fin de l'hiver-début du printemps correspond à la période de production maximale (Gaudy et al. 2003). Les communautés phytoplanctoniques estivales sont dominées par des organismes autotrophes de petite taille (pico- et nanophytoplancton ; revue de Siokou-Frangou et al. 2010) alimentant un réseau trophique de type microbien (ciliés, dinoflagellés ; Legendre et Rassoulzadegan 1995), lui-même sous dépendance d'organismes zooplanctoniques carnivores (gélatineux et crustacés ; Feuilloley et al. 2021). Les zones de

plus fortes concentrations en chlorophylle-a sont localisées à la côte pendant l'été et sont sous la dépendance des apports ponctuels en éléments nutritifs à la suite d'évènements pluvieux et d'upwelling côtiers résultant du régime des vents du nord (Macias et al. 2018).

Les campagnes optimisées représentent un instantané de la dynamique saisonnière des communautés planctoniques et de leur environnement dans toutes les SRM. A échelle pluriannuelle, il est difficile de définir avec certitude si la variabilité observée dans la composition, la biomasse et la distribution des communautés résulte de changements de l'état du milieu tels qu'attendus pour l'évaluation du BEE ou s'ils reflètent une variabilité naturelle des communautés, avec une influence de la période ponctuelle d'échantillonnage. L'approche d'indicateur temporel (en jours-degrés) de Huret et al. (2018) - fondée sur les températures de surface extraites des produits dérivés d'images satellite - a permis de positionner les campagnes PELGAS dans le contexte saisonnier du fonctionnement de l'écosystème Golfe de Gascogne. L'utilisation des produits couleurs de l'eau (concentrations en chlorophylle-a) disponibles depuis 1997 à échelle journalière apporteraient des informations spatio-temporelles complémentaires sur la dynamique des communautés phytoplanctoniques. Pour le zooplancton, aucune technique innovante (e.g. modélisation numérique) ne permet, à l'heure actuelle, de combler de manière opérationnelle et robuste ce manque de données spatiales et temporelles.

### 3.1.3. Durée des campagnes en mer

Les campagnes s'étendent sur environ 1 mois et intègrent donc la variabilité temporelle et spatiale des communautés planctoniques. Cette variabilité mensuelle peut être importante car elle est conditionnée par celle des conditions hydro-climatiques, entraînant l'observation d'une structure et d'un fonctionnement d'un écosystème différent entre le début et la fin de la campagne. Des évènements climatiques ponctuels (coups de vents, tempêtes sur 2-3 jours) peuvent entraîner des modifications drastiques de la distribution spatiale et de la composition des communautés zooplanctoniques (e.g. Vincent et al. 2002), contribuer à une hétérogénéité spatiale à court terme, et impacter la variabilité interannuelle (e.g. voir Figure 6 de l'abondance totale de copépodes sur PELMED ; voir, par exemple, la Figure 5 de Dessier et al. 2018).

## 3.2. Types de données et liens avec les évaluations BEE

### 3.2.1. Rappels / indicateurs et données d'entrée

D'après l'arrêté national relatif à la définition du BEE 2<sup>nd</sup> cycle (2018), trois indicateurs<sup>17</sup> peuvent être utilisés pour évaluer le critère D1C6 à l'échelle des SRM :

- PH1/FW5 : cet indicateur correspond à l'indicateur commun OSPAR portant sur les changements des groupes fonctionnels du plancton, tel que défini par les lignes directrices du programme coordonné de surveillance de l'environnement (CEMP) d'OSPAR<sup>18</sup> pour les SRM MMN, MC, GdG, et adapté à la SRM MO (cf. Annexe 1).
- PH2 : cet indicateur correspond à l'indicateur commun OSPAR portant sur les changements de biomasse du phytoplancton et d'abondance du zooplancton, tel que défini dans l'évaluation intermédiaire d'OSPAR 2017 pour les SRM MMN, MC, GdG, et adapté à la SRM MO.
- PH3 : cet indicateur correspond à l'indicateur commun OSPAR portant sur les changements de la biodiversité du plancton, tel que défini dans l'évaluation intermédiaire d'OSPAR 2017 pour les SRM MMN, MC et GdG, et adapté à la SRM MO.

---

<sup>17</sup> Indicateurs développés dans le cadre de la convention OSPAR, au sein du groupe de travail ICG-COBAM Pelagic Habitats

<sup>18</sup> OSPAR CEMP Guideline: common indicator PH1/FW5 plankton lifeforms – OSPAR Agreement 2018-07.

Les données d'entrée pour les calculs de ces indicateurs sont des données quantitatives de biomasse et d'abondance acquises au niveau de groupes (PH1 et PH2-zooplancton pour les copépodes), de genres et d'espèces (PH3-diversité).

Les données phytoplanctoniques (chlorophylle-a et composition spécifique) collectées sur les campagnes optimisées correspondent aux données d'entrées à utiliser pour les calculs des indicateurs PH1 (i.e. 5 groupes fonctionnels – cf Annexe 1), PH2-phytoplancton et PH3-diversité du microphytoplancton.

Pour les indicateurs zooplancton (PH1, PH2-zoo et PH3-zoo), l'utilisation de techniques d'analyse différentes et complémentaires amènent à des niveaux de détermination taxinomique différents et à des incertitudes sur certaines variables (e.g. abondance de certains groupes fonctionnels du zooplancton). Il est ainsi peu probable que les données acquises par ZooCAM et ZooScan (IBTS, CGFS, PELGAS, EVHOE) puissent intégrer les calculs de l'indicateur PH3-zooplancton dès lors que les indices de diversité sont fondés sur des niveaux taxinomiques spécifiques (ou au niveau du genre).

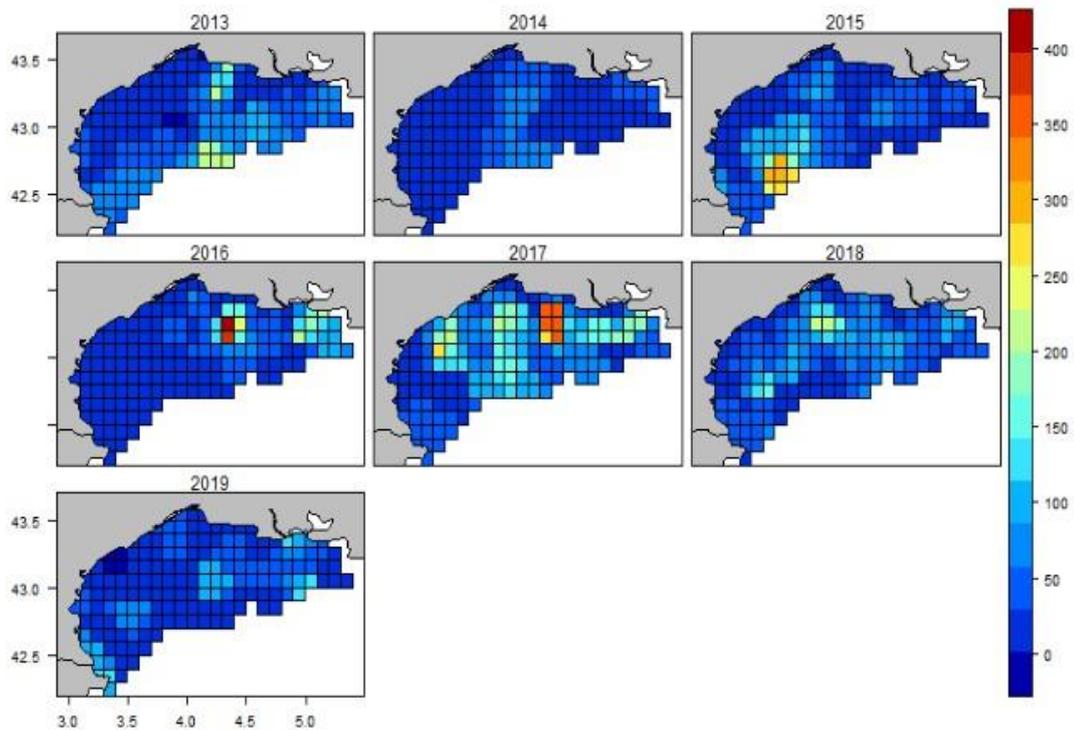
Pour les indicateurs PH2-zooplancton et PH1, les données collectées correspondent aux données d'entrée de ces indicateurs. Cependant, il apparaît nécessaire de comparer, dans différentes SRM, les méthodes d'analyse sur des échantillons zooplanctoniques communs afin de tenir compte des spécificités écologiques de chaque milieu (e.g. différences de composition) et des éventuelles incertitudes associées à l'analyse de certains groupes fonctionnels. Cette analyse devrait porter sur un nombre suffisant d'échantillons permettant des comparaisons statistiques robustes. Compte tenu de la distribution hétérogène (en patch) du zooplancton et de la saisonnalité marquée des communautés (cf. §3.1.2.), la comparaison des échantillons devrait idéalement être établie à partir d'une acquisition à large échelle spatiale permettant d'intégrer des zones hydrologiques contrastées (gradients côte/large ; fronts ; panaches de dilution de fleuves), sur une période de temps suffisamment longue (> 1 an).

### 3.2.2. Des séries temporelles courtes et des fréquences incompatibles avec le calcul des indicateurs BEE

L'optimisation des campagnes halieutiques pour la DCSMM ayant débutée en 2016, les séries temporelles actuellement acquises sont encore qualifiées de « courtes ». A ce jour, elles sont insuffisantes pour envisager des analyses à long terme. Les indicateurs sont en effet calculés à partir de données acquises à fréquence mensuelle et sur de longues séries temporelles (au moins 10 ans) afin d'intégrer au mieux la variabilité intrinsèque des communautés planctoniques. Lorsque les calculs sont envisagés sur des périodes plus réduites (5-6 ans, McQuatters-Gollop et al. 2019), les incertitudes sur les indicateurs calculés sont alors plus importantes et il devient difficile d'établir de manière certaine si les variations temporelles observées reflètent un réel changement d'état du milieu.

Les données des campagnes optimisées sont acquises à très basse fréquence puisque chaque SRM n'est visitée que 2 fois par an. Cette fréquence d'acquisition est actuellement incompatible avec le calcul des indicateurs BEE Habitats pélagiques qui reposent sur des données mensuelles.

L'analyse exploratoire des données zooplanctoniques des campagnes PELMED menée dans le cadre du stage d'A. Nithard (2021), ainsi que les travaux publiés sur les données des campagnes optimisées (Dessier et al. 2018 ; Feuilloley 2020 ; Houliez et al. 2021) ont montré une très forte variabilité d'une année à l'autre des abondances et de la composition des communautés planctoniques, en lien avec la variabilité des espèces dominantes (e.g. Figure 7). Cette variabilité est liée à la stratégie d'échantillonnage des campagnes halieutiques optimisées et, comme indiqué par Feuilloley (2020), « rend impossible l'analyse des séries chronologiques et la comparaison interannuelle ».



**Figure 7 : Variabilité spatiale des abondances (ind. m<sup>-3</sup>) du copépoïde *Centropages typicus*, espèce dominante des communautés de copépodes adultes pendant la campagne PELMED (Nithard 2021).**

### 3.2.3. Une acquisition de données hétérogène entre phyto- et zooplancton.

L'optimisation progressive des campagnes a conduit à un déséquilibre marqué entre les jeux de données disponibles (Figure 8 et Tableau I). En effet, pour certaines campagnes (PELGAS, EVHOE), l'analyse des communautés phytoplanctoniques pour la DCSMM a été initiée en 2018-2019 (Figure 8), celle des communautés zooplanctoniques ayant été initiée dès 2016. Pour MEDITS, en raison des moyens humains disponibles, il n'est pas possible d'assurer la collecte du phytoplancton à bord pour l'analyse spécifique des communautés.

Le déséquilibre entre l'acquisition des données phyto- et zooplanctoniques constitue une limite supplémentaire pour aboutir à une approche intégrée des communautés planctoniques telle que préconisée dans le programme thématique « Habitats pélagiques ». En effet, les indicateurs PH1, PH2 et PH3 reposent tous sur les composantes phyto- et zooplanctoniques. PELMED est la campagne dont les séries temporelles DCSMM phyto- et zooplanctoniques sont les plus complètes, malgré un problème associé à la fréquence d'acquisition. Cette série de données couvre la période d'évaluation du cycle 3 (2015-2020), mais ne permet pas de considérer une période de référence équivalente.

Début de financement par la DCSMM de l'optimisation des campagnes DCF

Série de campagne		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
PHYTO PLANCTON (dénombrement)	IBTS					✓	✓	✓		ⓘ	
	CGFS					✓	✓				
	PELGAS						✓		⌚		
	EVHOE								ⓘ		
	MEDITS	Non réalisable sur cette campagne									
	PELMED	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		⌚	
ZOOPLANKTON	IBTS				⌚	✓	✓	✓	⌚	ⓘ	
	CGFS		✓	✓	✓	✓	✓	⌚	⌚		
	PELMED	✓	✓	✓	✓	✓	✓	⌚	⌚		
	MEDITS			✓	✓	✓	✓	C19	⌚		
	EVHOE			✓	✓	✓	✓	✓	ⓘ		
	PELGAS			✓	✓	✓	✓	C19	⌚		

**Légende**

- ⓘ Prélèvements non programmés
- ⌚ Echantillons en cours d'analyse
- Données en cours de bancarisation
- ✓ Données intégrées dans Quadrigé en attente de validation
- ✓ Données intégrées dans Quadrigé et validées
- C19 Prélèvements annulés à cause de la crise COVID en 2020
- Données indisponibles

**Figure 8 : Bilan de l'acquisition des données phytoplanctoniques (comptages par microscopie) et zooplanctoniques (analyses ZooScan, ZooCAM et loupe binoculaire) dans le cadre de l'optimisation des campagnes halieutiques pour la DCSMM (A. Régimbart, pers. com. en date du 02/12/2021).**

### 3.2.4. Cas particulier des séries de données acquises sur le macroplancton gélatineux

Les campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM constituent le seul dispositif de suivi du zooplancton gélatineux (en composition, taille et biomasse) à large échelle en France. Aucun indicateur spécifique n'a jusqu'à présent été élaboré sur cette composante au niveau national ou européen, du fait d'un manque de données sur ces organismes (Aubert et al. 2018 ; McQuatters-Gollop et al. 2017). Un retour d'expérience sur les campagnes halieutiques réalisé en mars 2019 a cependant questionné la pertinence de ce dispositif de suivi à plusieurs niveaux.

Premièrement, les données acquises par chalutage sont semi-quantitatives et exprimées en représentativité des taxons (i.e. en proportion du nombre total compté) et/ou de leur biomasse (i.e. en proportion de poids total de la capture chalut). Des méthodes numériques de conversion doivent donc être développées pour aboutir à des données quantitatives robustes.

Deuxièmement, de par leur maillage (20 ou 24 mm selon le type de chalut), les prélèvements au chalut sous-estiment la diversité du plancton gélatineux en comparaison d'un prélèvement réalisé - au même moment - avec un filet de plus petite maille (e.g. filet MIK<sup>19</sup>; Hosia et al. 2017 ; Aubert et al. 2018). Le même effort d'échantillonnage étant déployé de manière standardisée sur chaque campagne, il n'en reste pas moins que des comparaisons temporelles et des analyses de tendances sont possibles sur les suivis existants.

Dans ce contexte, il apparaissait essentiel de réaliser une analyse exhaustive et critique des données relatives aux communautés de plancton gélatineux échantillonnées dans le cadre des campagnes halieutiques optimisées par la DCSMM depuis 2015. Cette analyse fait l'objet d'un projet R&D

<sup>19</sup> Le filet Methot Isaac Kidd (MIK) est particulièrement adapté à la capture des larves de poissons. Il est doté d'un diamètre d'ouverture de 2 m et d'une maille de 1,6 mm pour une longueur totale de 13 m.

(GELATINE<sup>20</sup>; partenariat OFB - Sorbonne Université - Ifremer) qui permettra d'aboutir à (i) une meilleure compréhension de la dynamique des communautés de gélatineux (taxinomie, spectre de taille, biomasse) à l'échelle des sous-régions marines. Plus particulièrement, le projet GELATINE vise à identifier s'il existe des zones et/ou des périodes potentiellement à enjeux en termes de prolifération d'organismes gélatineux. Ce projet a également pour objectifs de (ii) proposer une ou des méthodes numériques permettant le calcul de données d'abondance (quantitatives) à partir des données de chalut (semi-quantitatives), (iii) vérifier si les données obtenues peuvent alimenter les indicateurs du BEE, ou éventuellement (iv) proposer un ou des indicateurs spécifiques au plancton gélatineux (e.g. nouveaux indicateurs ou indicateurs dérivés OSPAR) et (v) envisager des orientations et recommandations de surveillance.

Ce dispositif de suivi ne présente pas les mêmes problématiques que celles observées pour les suivis des communautés phytoplanctoniques et zooplanctoniques (e.g. stratégies d'analyses différentes par SRM ; hétérogénéité dans l'acquisition des données pour certaines campagnes). Le coût associé au suivi du plancton gélatineux (05HP\_Action3\_Cycle2) est de 25-30 k€ par an, soit un total de 180 k€ par cycle de surveillance. Le devenir de cette acquisition de données relatives au plancton gélatineux (conservation en l'état, adaptation, abandon) est conditionné par les résultats du projet GELATINE. Le projet GELATINE (anciennement IZOOGEL) a débuté en avril 2022 après une accumulation de nombreux retards administratifs (e.g. création de l'OFB ; impossibilité de contractualisation longue durée par un des partenaires entraînant un repositionnement du post-doctorant dans un autre institut).

### 3.3. Complémentarité et plus-value des campagnes optimisées DCSMM

#### 3.3.1. Complémentarité spatio-temporelle d'autres dispositifs de suivi

- Continuous Plankton Recorder (CPR) en Manche et Atlantique

Le **Continuous Plankton Recorder (CPR)** est un instrument d'échantillonnage du plancton (zooplancton et phytoplancton) conçu pour être tiré par un navire marchand - ou un autre type de navire d'opportunité - au cours de sa navigation normale. Il est tracté à une profondeur d'environ 5-10 m. Au cours du déploiement, l'eau passe à travers le CPR et le plancton est filtré à travers une bande de soie (270 µm de taille de maille) se déroulant lentement et qui est recouverte par une deuxième bande de soie. Les bandes de soie enserrant le plancton sont alors enroulées dans un bac de stockage contenant du formol. De retour au laboratoire, la soie est enlevée du mécanisme et divisée en échantillons représentant chacun 10 milles nautiques (19 km) de remorquage. Depuis 2018, la Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science (SAHFOS) est rattachée à la Marine Biological Association (MBA ; Plymouth, UK) qui coordonne et gère le « CPR survey<sup>21</sup> ». Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse sont inchangées depuis 1948, ce qui permet :

- (i) un enregistrement complet - sur plus de 70 ans - de la dynamique spatio-temporelle des communautés planctoniques ;
- (ii) une comparabilité temporelle sans biais potentiellement imputable à la stratégie d'échantillonnage. La fréquence d'acquisition des données, mensuelle pour la plupart des régions, est également compatible avec les calculs des indicateurs BEE.

Les données acquises par le CPR ont déjà servi à alimenter les calculs des indicateurs BEE Habitats pélagiques pour OSPAR (e.g. indicateur PH1 ; McQuatters-Gollop et al. 2019 ; OSPAR QSR 2017<sup>22</sup>). Des études comparatives entre prélèvements CPR et filets à plancton (e.g. John et al. 2001 ; Hunt 2003) ont démontré la robustesse des données CPR pour reproduire la saisonnalité des communautés

---

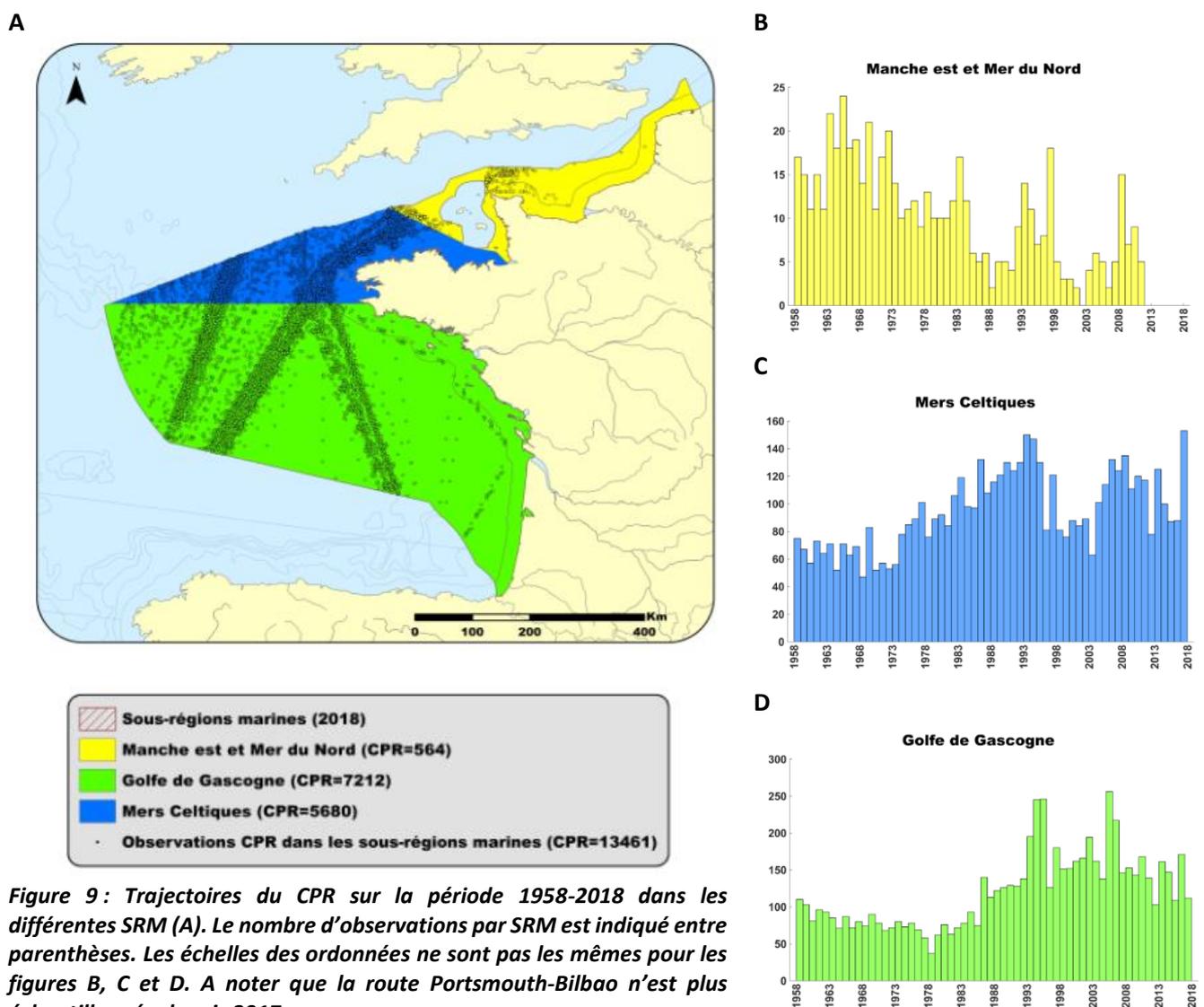
<sup>20</sup> GELatinous plankton INdicators for Ecological status assessment – Avril 2022 – Décembre 2023

<sup>21</sup> <https://www.cprsurvey.org/>

<sup>22</sup> <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017/biodiversity-status/habitats/changes-phytoplankton-and-zooplankton-communities/>

zooplanctoniques, ainsi que la réponse de ces communautés aux changements globaux (i.e. approches à macro-échelle ; e.g. Edwards et al. 2020). Les données acquises à long terme par le CPR sont donc comparables, et l'analyse des changements relatifs d'abondance, de diversité ou de certains rapports fonctionnels sur lesquels reposent les calculs d'indicateurs BEE n'est pas biaisée par cette technique d'échantillonnage.

A l'échelle métropolitaine, le CPR ne couvre pas la SRM MO et son analyse ne peut être considérée que pour les façades Manche et Atlantique. Si le CPR permet la prospection d'une zone plus au large que les campagnes optimisées, des choix stratégiques de déploiement ont été réalisés par la MBA et la route Portsmouth–Bilbao, à défaut de soutien financier, n'est plus prospectée depuis 2017 (soit une absence de données d'au moins 5 années consécutives sur la série temporelle utilisée en SRM GdG). La remise en route de certains transects (e.g. Portsmouth–Bilbao) est évaluée à 70 à 80 k€ par an<sup>23</sup>. L'effort d'échantillonnage total sur la période 1958-2018 est variable en fonction des SRM avec 7212 points échantillonnés en SRM GdG contre 5680 en MC et 564 en MMN (Figure 9B à 9D). A noter également qu'en raison de la stratégie d'échantillonnage sur des trajectoires régulières, la partie est de la SRM MMN est sous-échantillonnée.



<sup>23</sup> Une demande est en cours auprès de la MBA pour actualiser les coûts annuels de rétablissement de cette route.

L'analyse de la couverture spatiale du CPR à l'échelle des paysages marins (Tew-Kai et al. 2020) montre une hétérogénéité spatiale de l'effort d'échantillonnage en raison de la prévalence de la couverture des SRM au large. Cela amène logiquement à une couverture plus importante des paysages marins du large à stratification saisonnière (« offshore seasonally stratified waters » ; n=3352 points échantillonnés sur la période 1958-2018 ; Figure 10B), ou des eaux mélangées (« well mixed waters », n=6953) par rapport à ceux associés aux eaux du plateau continental (« offshore shelf waters with seasonal stratification », n=543) ou aux eaux mélangées sous influence tidale (« well mixed waters – tidal influenced » n=451 – Figure 10C). Par opposition, les paysages marins de localisation plus côtière comme les panaches de dilution de grands fleuves (n=5) et les eaux côtières sous influence d'apports en eau douce (n=54 – Figure 10D) sont globalement moins échantillonnés sur la période considérée ; l'échantillonnage y est plus irrégulier.

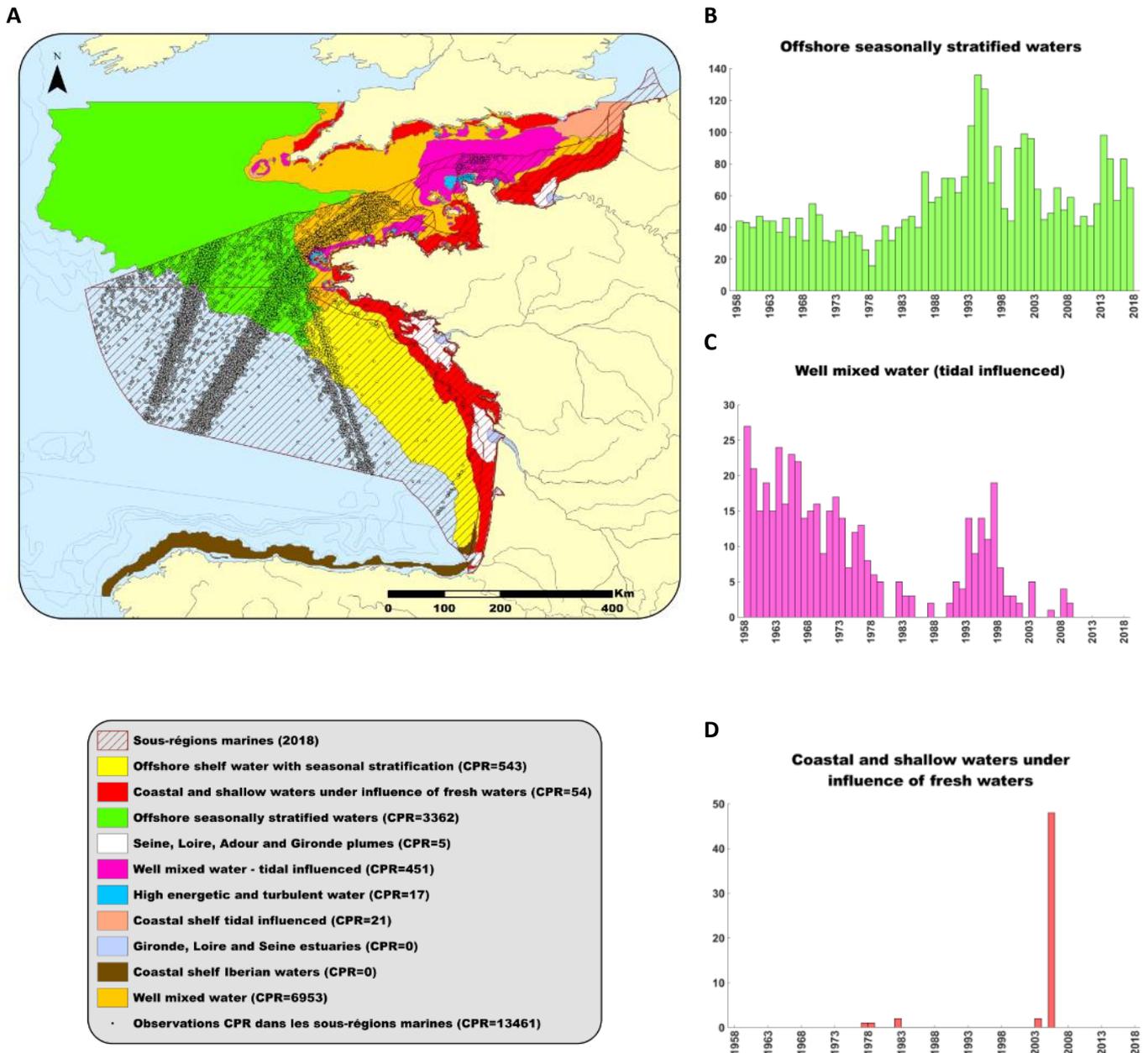


Figure 10 : Trajectoires du CPR sur la période 1958-2018 dans les différents paysages marins (A). Le nombre d'observations par PM est indiqué entre parenthèses. Les échelles des ordonnées ne sont pas les mêmes pour les figures B, C et D qui sont montrées à titre d'exemples. A noter que la route Portsmouth-Bilbao n'est plus échantillonnée depuis 2017 et que la SRM GdG au large n'est pas totalement couverte par les paysages marins.

Au sein d'une SRM donnée ou d'un paysage marin donné, l'effort d'échantillonnage (i.e. nombre d'échantillons collectés par an) présente également une forte hétérogénéité temporelle. A titre d'exemple, une diminution marquée est observée sur 2 périodes (1985-1993 ; 2000-2008) en SRM MMN avec environ 5 échantillons collectés par an par rapport à un maximum de 25 par an les autres années (Figure 9B). Dans les SRM GdG et MC, une augmentation nette de l'effort d'échantillonnage est observée depuis les années 1990, avec un minimum de 60 échantillons collectés par an (Figures 9C et 9D).

Sur la verticale, de par sa configuration, le CPR échantillonne systématiquement les eaux de surface. Ainsi, il est possible que les différences d'abondance et de composition observées sur certaines zones puissent résulter de processus de mélanges de la colonne d'eau et/ou de migrations verticales (nycthémérales) des communautés zooplanctoniques, même si l'information sur la période de collecte est disponible (jour et nuit). S'appuyer sur des stations de références sur lesquelles sont déployées des méthodes standardisées de collecte pour le zooplancton (trait vertical par filet standard) et le phytoplancton (échantillonnage d'eau sur la colonne d'eau pour analyse de concentrations en chlorophylle-a et/ou comptages par microscopie inversée) permettra d'appréhender les éventuels biais associés à la collecte de surface.

Le CPR permet l'acquisition de données mensuelles pour le calcul des abondances totales, ainsi que pour certains groupes fonctionnels du phyto- et du zooplancton qui répondent aux besoins des indicateurs PH1 et PH2-zooplancton. A partir de ces données, McQuatters-Gollop et al. (2019) ont ainsi évalué les changements temporels de 9 des 12 paires de groupes fonctionnels définis au sein de la convention OSPAR. Plus récemment, Bedford et al. (2020) ont précisé les changements d'abondance de 6 groupes fonctionnels du plancton à plus large échelle dans la partie Nord Atlantique. En revanche, ces travaux ainsi que des publications antérieures soulignent un sous-échantillonnage des organismes de plus petite taille (e.g. pico- nanoplancton) et du plancton gélatineux (Batten et al. 2003 ; Richardson et al. 2006) par le CPR. Lorsque l'on s'intéresse à ces groupes, il est recommandé d'associer des méthodes standardisées (e.g. filet à plancton et comptages, échantillon d'eau et analyses par microscopie optique ou HPLC) aux données issues du CPR. L'articulation entre les méthodes d'échantillonnage stationnelles et celles du CPR est totalement envisageable et les travaux antérieurs ont montré des résultats cohérents sur des données acquises par différentes méthodes d'échantillonnage (e.g. McQuatters-Gollop et al. 2019).

Le CPR fournit également un proxy de biomasse phytoplanctonique (PH2-Phytoplancton) : le Phytoplankton Colour Index (PCI ; Batten et al. 2003). Il correspond à une évaluation semi-quantitative de la couleur de la soie filtrante du CPR suite à l'accumulation des cellules phytoplanctoniques au cours de la collecte. Cet indice comporte 4 catégories : 0 (pas de couleur), 1 (vert très pâle), 2 (vert pâle) et 6,5 (vert), et présente une très bonne correspondance avec les concentrations de chlorophylle-a mesurées *in situ* (Raitso 2005) et dérivées des produits satellite (McQuatters-Gollop et al. 2007 ; Raitso et al. 2013). Bien que semi-quantitatif, un avantage du PCI est de permettre d'appréhender les changements à échelle pluri-décennale grâce à des données acquises sur plus de 60 ans. Ces données étant spatialement limitées aux trajectoires empruntées par les navires tractant le CPR, elles sont donc complémentaires des produits spatialisés dérivés des images satellite, disponibles sur des temporalités plus courtes (depuis 1997 pour le capteur Seawifs) mais permettant une couverture spatiale plus complète.

Enfin, la détermination taxinomique des échantillons planctoniques collectés est réalisée au niveau du genre et de l'espèce, rendant ce dispositif de suivi pertinent pour le calcul des indicateurs PH3 (diversité du zooplancton et du phytoplancton ; Bedford et al. 2020) ainsi que pour le suivi de l'extension de l'aire géographique de certaines espèces zooplanctoniques non indigènes (e.g. *Pseudodiaptomus marinus* ; Jha et al. 2013).

En l'état, les données acquises par le CPR peuvent donc intégrer le calcul des indicateurs BEE Habitats pélagiques. Elles alimentent les 3 indicateurs BEE et sont complémentaires d'autres techniques d'acquisition de données (stationnelles, spatialisées). Des travaux en cours dans le cadre de l'évaluation des Habitats pélagiques mobilisent ces données afin de définir des biorégions sur la base de l'évolution

temporelle des communautés zooplanctoniques (Vilain et al. 2022). Ces biorégions seront comparées aux paysages marins, établis sur la base des forçages hydrodynamiques, afin d'évaluer la cohérence des échelles spatiales d'évaluation avec la dynamique des communautés planctoniques.

- Service National d'Observation MOOSE (Mediterranean Ocean Observing System for the Environment) en SRM MO

Le **SNO MOOSE** (Bosse et al. 2021; Coppola et al. 2019) est un réseau élémentaire de l'infrastructure de recherche littorale et côtière (IR-ILICO<sup>24</sup>). Il s'appuie sur un système de stations fixes (lignes instrumentées, bouées de surface, radars, sémaphores), de plateformes mobiles (gliders, flotteurs profileurs), ainsi que de mesures et collectes d'échantillons réalisées à partir de navires de la flotte océanographique française (FOF ; Figure 11). Les données acquises sont en accès libre dans les infrastructures de données nationales (ODATIS, SEXTANT) et européennes (SeaDataNet).

La mesure des paramètres hydrodynamiques (courants, vents), hydrologiques et physico-chimiques (température, salinité, turbidité, nutriments, oxygène dissous) permet l'acquisition de données contextuelles afin d'expliquer la variabilité des communautés planctoniques. Les données relatives à la biomasse phytoplanctonique (concentration en chlorophylle-*a*) sont acquises sur différents niveaux de la colonne d'eau et alimentent les calculs de l'indicateur PH2-phytoplancton. Les communautés zooplanctoniques sont récoltées par filet à plancton (type WP2). L'analyse d'images automatisées (ZooScan) permet l'acquisition de données relatives à l'abondance totale du zooplancton (e.g. indicateur PH2-Zooplancton) et l'accès à certains groupes fonctionnels (PH1). Néanmoins, ce type d'analyse ne permet pas une détermination taxinomique au niveau spécifique pour le calcul des indices de diversité du PH3-zooplancton (cf. §.3.2.1.). Compte tenu du temps d'analyse associé et de la difficulté à mobiliser une expertise taxinomique de manière régulière et pérenne, les communautés phytoplanctoniques ne sont pas analysées au niveau spécifique.

La fréquence d'acquisition des données varie en fonction des composantes du réseau (horaire, journalière, mensuelle et annuelle). Au regard du PdS « Habitats pélagiques », les besoins d'acquisition de données au large sont couverts par la stratégie spatiale d'échantillonnage déployée lors des campagnes MOOSE-GE<sup>25</sup>. Cependant, comme pour les campagnes halieutiques optimisées, ces campagnes à large échelle ont lieu une fois par an. Les données acquises à cette fréquence ne peuvent pas intégrer le calcul des indicateurs BEE. La période de réalisation de la campagne (majoritairement en juin-juillet chaque année<sup>26</sup>) ne permet pas d'intégrer la période productive dans cette SRM.

Ces campagnes annuelles peuvent être complétées par les campagnes mensuelles réalisées sur les sites DYFAMED, ANTARES et MOLA pour la maintenance des appareils automatisés, ce qui permet la collecte de données utilisables en l'état pour certains indicateurs d'évaluation du BEE des Habitats pélagiques. Une analyse des données mises à disposition par le chantier collecte en février 2022 montre qu'à l'heure actuelle :

- Il est possible d'envisager l'évaluation de l'indicateur PH2-phytoplancton sur les données fluorimétriques des stations MOLA et DYFAMED<sup>27</sup>, mais pas sur la station ANTARES où les mesures de concentration en chlorophylle-*a* sont acquises *in situ* et *in vivo* par sonde ;
- Seules les données acquises sur DYFAMED (2001-2018) seront utilisées pour certains groupes fonctionnels du PH1 et pour l'indicateur PH2-zooplancton. La série relative aux abondances

---

<sup>24</sup> <https://www.ir-ilico.fr/>

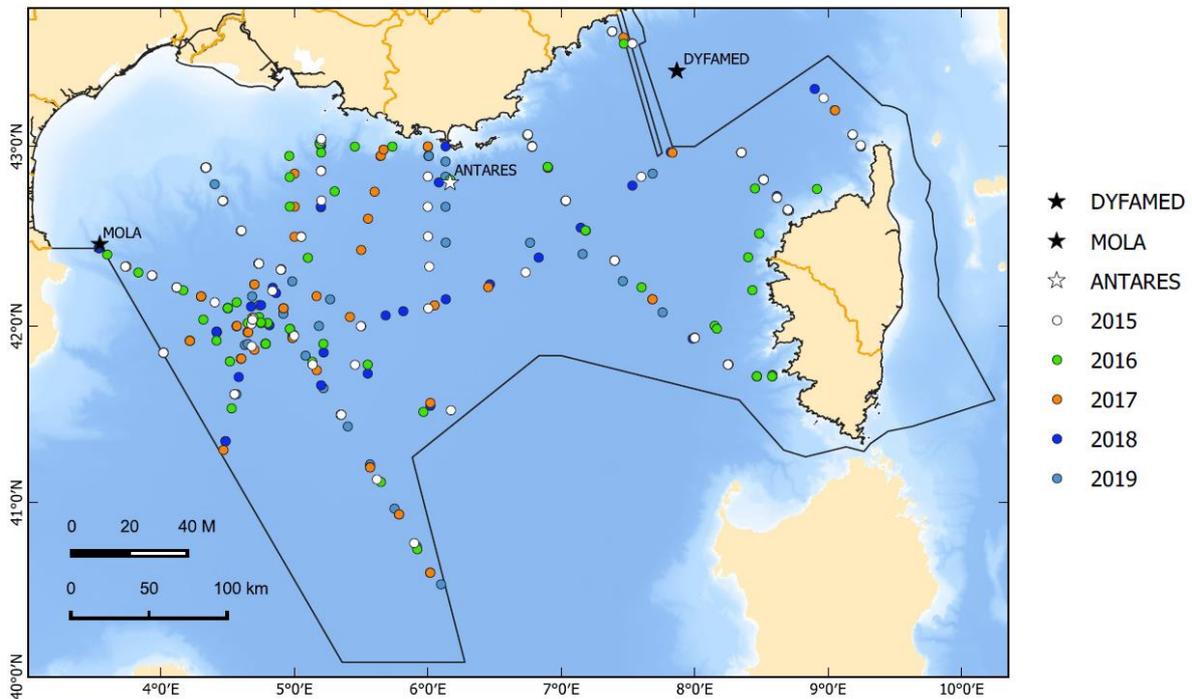
<sup>25</sup> TESTOR Pierre, COPPOLA Laurent, BOSSE Anthony (2010) MOOSE-GE, <https://doi.org/10.18142/235>

<sup>26</sup> En 2017 et en 2020, les campagnes MOOSE GE ont eu lieu en septembre

<sup>27</sup> Les données de concentration en chlorophylle-*a* sont disponibles sur le site BOUSSOLE, à proximité de DYFAMED (<http://www.obs-vlfr.fr/Boussole/html/home/home.php>)

zooplanctoniques sur la station ANTARES est actuellement trop courte (début en 2016) pour pouvoir intégrer l'évaluation cycle 3.

La station DYFAMED, localisée hors de la ZEE, est située sur la radiale Nice - Calvi, à environ 50 km de Nice. Cette station est représentative des conditions hydrologiques et hydrodynamiques typiques du centre de la Mer Ligure (Margirier et al. 2020). Il s'agit à l'heure actuelle de la plus longue série temporelle de mesures physiques et biogéochimiques en Méditerranée française (démarrage du suivi mensuel en 1991). Au titre de la DCSMM, elle correspond à la seule des stations au large (en dehors des masses d'eau côtières) pour laquelle nous disposons de données compatibles avec le calcul des indicateurs BEE (PH2-zooplancton et PH2-phytoplancton<sup>27</sup>).



**Figure 11 : Localisation des stations fixes MOLA, ANTARES et DYFAMED du SNO MOOSE et emprise spatiale des campagnes MOOSE-GE pour la période 2015-2019. ★ : données pouvant être utilisées pour l'évaluation BEE cycle 3 - Indicateur PH2. ☆ : données non utilisables en l'état pour l'évaluation BEE cycle 3 (pas de données disponibles ou séries trop courtes ne couvrant pas la période d'évaluation).**

Les stations fixes du SNO MOOSE sont des dispositifs de suivi stationnels complémentaires des suivis stationnels existant en SRM MO, permettant une acquisition de données au-delà des masses d'eau côtières. Ces dispositifs de suivi présentent un intérêt particulier au regard de l'indicateur PH2, surtout sur le site DYFAMED car ils permettent de disposer de séries de données phyto- et zooplanctoniques relativement complètes depuis 2010, en y associant des données contextuelles d'intérêt. Sur les autres sites, l'acquisition de données phyto- et zooplanctoniques est soit récente (ANTARES zooplancton) soit absente (ANTARES phytoplancton, MOLA zooplancton) pour le calcul de l'indicateur PH2. En raison de leur très basse fréquence d'acquisition, les campagnes MOOSE-GE ne répondent pas aux besoins d'évaluation BEE pour le programme thématique « Habitats pélagiques ». Elles présentent cependant un intérêt scientifique indéniable pour rendre compte de l'évolution de l'écosystème méditerranéen et de son fonctionnement (e.g. dynamique des cycles biogéochimiques) en réponse aux forçages environnementaux.

### 3.3.2. Rapport coût/efficacité de l'utilisation des campagnes optimisées pour répondre aux besoins de la DCSMM.

L'action « optimisation des campagnes halieutiques » du PdS « Habitats pélagiques » est transversale au PdS « Eutrophisation ».

Les coûts annuels associés aux suivis des communautés planctoniques et des paramètres hydro-biologiques varient entre 123,6 et 189,1 k€, et correspondent à un coût total de 755,6 k€ sur la période 2017-2021. Le coût prévisionnel de ce dispositif sur un cycle de surveillance DCSMM (6 ans) atteint 1,3 millions d'euros.

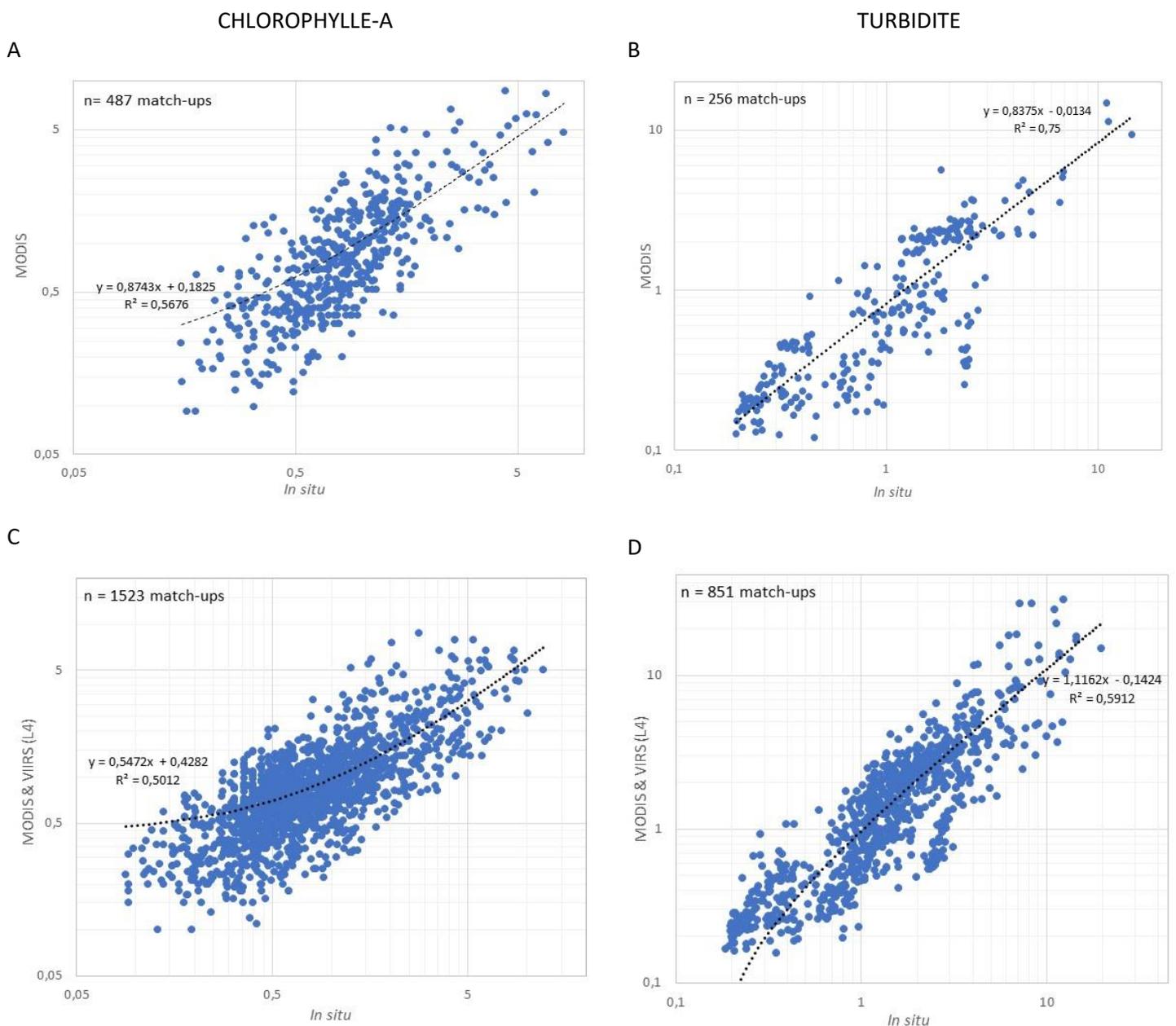
Les données issues des campagnes optimisées ont été utilisées pour valider les produits dérivés des images satellite (paramètres chlorophylle-a et turbidité de surface) dans le cadre d'une action 2021 du PdS « Eutrophisation » (« Estimations issues des images satellite » ; Figure 12), transversale au PdS « Habitats pélagiques ». Ces travaux de validation (Bryère 2022) ont porté sur les données bancarisées et accessibles au moment de l'action (Tableau III) et se sont intéressés aux produits issus du capteur MODIS (Figures 12A et 12B). Ils ont également utilisé les produits dérivés des capteurs MODIS et VIIRS puis krigés et interpolés (produits L4) selon la méthode de Saulquin et al. (2010 ; Figures 12C et 12D) pour combler le manque de données à échelle spatiale et temporelle.

**Tableau III : Données de concentration en chlorophylle-a et de turbidité (in situ, surface) issues des campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM et mobilisées pour la calibration des produits issus des images satellite. X : données non bancarisées au moment de l'action (octobre 2021) car chantier collecte en cours ; NC : données non collectées.**

Campagne	Période de validation des données de chlorophylle-a	Période de validation des données de turbidité
CGFS	2015-2019	2015-2020
IBTS	2014-2020	2014-2019
PELGAS	2004-2019	X
EVHOE	2018-2019	X
PELMED	2019	2019-2020
MEDITS	NC	2018-2019

La validation des produits issus des images satellite est généralement réalisée à partir des données côtières des réseaux nationaux (e.g. REPHY) et des services d'observation existants (SOMLIT). L'utilisation de ces données à emprise nationale dans les différentes SRM permet de considérer des écosystèmes côtiers contrastés en termes de maximum et minimum de chlorophylle-a et de turbidité. Ces données *in situ* étant collectées à échelle mensuelle, elles permettent la validation des produits satellite à échelle saisonnière, c'est-à-dire de vérifier la bonne reproduction des signaux saisonniers au regard, de la dynamique des efflorescences phytoplanctoniques (Gohin et al. 2020), et des apports fluviaux impactant la turbidité au large. Les campagnes halieutiques optimisées offrent une plus-value pour cette phase de validation des images satellite car elles permettent l'intégration de données spatialisées à large échelle à un instant donné. L'analyse des concordances entre les données *in situ* et les produits dérivés des images satellite est réalisée par le biais des « match-ups » (Figure 12) : les résultats de validation montrent une bonne corrélation des signaux de chlorophylle-a avec *l'in situ* à partir de données issues du capteur unique MODIS (n= 487 match-ups ; Figure 12A) ou par approche multi-capteurs (MODIS et VIIRS ; n=1523 match-ups ; Figure 12C). La même observation peut être faite à partir des données de turbidité (Figures 12 B et 12D). Ces travaux ont d'ailleurs permis de requalifier certaines valeurs de matière en suspension sur la campagne PELMED 2019 (passage en code « qualité douteuse » du fait de valeurs particulièrement élevées au large).

Une phase de validation/calibration des images satellite à large échelle est nécessaire et pourrait être envisagée 1 fois par cycle DCSMM en utilisant différentes sources de données au large (e.g. campagnes MOOSE-GE, campagnes halieutiques, campagnes triennales DCE et autres campagnes d'opportunité, données du CPR, réseau Argo). Avec le développement des systèmes de mesure automatisés (e.g. drones, gliders), l'acquisition et la mesure de certains paramètres biogéochimiques pourrait être facilitée dans le futur sur certaines zones d'intérêt au large. Il conviendra donc de suivre les développements techniques réalisés dans le cadre des observatoires à large échelle. Cette phase de validation/calibration doit être dissociée des travaux réalisés à fréquence annuelle visant à tenir compte des mises à jour des capteurs opérés par la NASA et l'ESA (e.g. tables de correspondance), des développements sur les algorithmes pour corriger les estimations issues des images satellite et des transferts de données réguliers pour alimenter les développements numériques sur les indicateurs.



**Figure 12 : Diagrammes de dispersion entre les valeurs de concentration en chlorophylle-a (A et C) et de turbidité (B, D) in situ et dérivées du capteur MODIS (A, B) et des capteurs VIRSS et MODIS (C, D ; données krigées L4). Le détail des données in situ utilisées pour ces calibrations est présenté dans le tableau III. Les graphiques sont extraits du rapport de Bryère (2022).**

## 4. Conclusions et perspectives

De par leur basse fréquence d'échantillonnage et leur déroulement lors de périodes de faible productivité planctonique, les campagnes halieutiques optimisées pour la DCSMM ne permettent actuellement pas d'ajouter une plus-value directe pour renseigner les indicateurs du bon état écologique des habitats pélagiques et d'évaluer leur bon fonctionnement au sens de la DCSMM. A l'heure actuelle, les données sont très hétérogènes en termes d'acquisition des paramètres (déséquilibre entre phyto- versus zooplancton), de méthodes d'analyse (ZooScan, ZooCAM, loupe binoculaire) et *de facto*, des niveaux de détermination taxinomiques considérés (en particulier pour le zooplancton).

L'emprise spatiale des données récoltées lors de ces campagnes optimisées n'en reste pas moins intéressante et ces données de terrain pourront servir d'aide à l'interprétation pour confirmer des changements observés sur d'autres dispositifs, comme le CPR, dont les données sont utilisables en l'état pour les évaluations.

Les données acquises sur les campagnes halieutiques optimisées présentent un intérêt indéniable pour la recherche. Par exemple, elles permettent d'étudier les liens entre les communautés planctoniques et leur environnement (Houliet et al. 2021) ainsi qu'entre les communautés planctoniques et les petits pélagiques, en particulier pour évaluer les relations entre la composition, la distribution (voire la valeur énergétique) des communautés planctoniques et la distribution de leurs prédateurs potentiels (e.g. Dessier et al. 2018 ; Feuilloley 2020). En conséquence, les données acquises lors des campagnes optimisées pourraient davantage servir le Descripteur 4 - Réseaux trophiques, sous réserve que la très basse fréquence d'acquisition des données soit en cohérence avec les indicateurs développés/proposés. Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse mises en œuvre sur les premiers maillons trophiques permettent en effet de considérer des guildes trophiques d'intérêt pour ce descripteur, telles que les producteurs primaires et secondaires et/ou d'accéder à certains critères comme la distribution des classes de taille au sein d'une guildes trophique donnée. Il reste cependant nécessaire de rendre opérationnelles certaines techniques d'analyse comme l'analyse d'images par ZooCAM pour l'évaluation des abondances de certains groupes zooplanctoniques, en réalisant des phases d'inter-comparaisons avec des techniques éprouvées (comptages sous loupe binoculaire et/ou ZooScan).

En termes de fréquence, les campagnes présentant un coût non négligeable (e.g. logistique de campagne, consommables, coûts du personnel embarquant et du personnel en charge des analyses d'échantillons, coûts des analyses elles-mêmes), elles ne peuvent donc pas être envisagées à plus haute fréquence. Leur utilisation en tant qu'outil de validation/calibration d'approches spatialisées (e.g. images satellite) reste à discuter, au regard d'autres dispositifs dont les données pourraient être mobilisées, et dans la mesure où cette phase de validation est maintenue à minima 1 fois par cycle de surveillance.

Le calendrier d'évaluation cycle 3 amène l'équipe Habitats pélagiques à prioriser l'utilisation des dispositifs dont les données peuvent intégrer en l'état les évaluations BEE. Compte tenu des avancées actuelles des travaux sur les indicateurs « Habitats pélagiques », il semble plus pertinent de s'orienter en priorité vers une collecte de données à fréquence d'échantillonnage plus élevée (mensuelle), intégrant la dimension verticale si nécessaire, quitte à réduire l'échelle spatiale d'évaluation. Une stratégie peut être d'identifier des zones d'intérêt avec des conditions hydrodynamiques particulières où des suivis historiques permettent d'avoir des « hotspots » de données (Raybaud et al. 2011) puis d'étendre l'échelle spatiale grâce à des dispositifs pérennes éprouvés comme le CPR (SRM MMN, MC), en encourageant (i) la remise en place de la route Portsmouth-Bilbao (SRM GdG et MC) et (ii) la mise en place d'une route CPR en Méditerranée. Ces perspectives doivent être discutées au regard des résultats de la prochaine évaluation, des projets R&D en cours (GELATINE), des avancées qui auront été réalisées sur les développements des indicateurs BEE, et des spécificités des milieux et des communautés présentes.

## 5. Références bibliographiques

- Antajan, E., S. Pitois, F. Coppin, C. Lynam, A. Auber, M. Travers-Trolet, P. Laffargue, M. Doray, A. Jadaud, T. Hattab, J. Baudrier, et S. Vaz. 2019. « Monitoring gelatinous zooplankton a cost-effective methodology during routine fishery trawl surveys ». Copenhagen, Denmark.
- Aubert, A., E. Antajan, C. Lynam, S. Pitois, A. Pliru, S. Vaz, et D. Thibault. 2018. « No More Reason for Ignoring Gelatinous Zooplankton in Ecosystem Assessment and Marine Management: Concrete Cost-Effective Methodology during Routine Fishery Trawl Surveys ». *Marine Policy* 89:100-108. doi: 10.1016/j.marpol.2017.12.010.
- Batten, S. D., A. W. Walne, M. Edwards, et S. B. Groom. 2003. « Phytoplankton Biomass from Continuous Plankton Recorder Data: An Assessment of the Phytoplankton Colour Index ». *Journal of Plankton Research* 25(7):697-702. doi: 10.1093/plankt/25.7.697.
- Baudrier, J. 2015. *Mise en oeuvre du programme de surveillance de la DCSMM : synthèse des essais réalisés à bord des campagnes halieutiques*. Ifremer, Dyneco-Vigies.
- Baudrier, J., A. Lefebvre, F. Galgani, C. Sarau, et M. Doray. 2018. « Optimising French Fisheries Surveys for Marine Strategy Framework Directive Integrated Ecosystem Monitoring ». *Marine Policy* 94:10-19. doi: 10.1016/j.marpol.2018.04.024.
- Bedford, J., C. Ostle, D. G. Johns, A. Atkinson, M. Best, E. Bresnan, M. Machairopoulou, C. A. Graves, M. Devlin, A.x Milligan, S. Pitois, A. Mellor, P. Tett, et A. McQuatters-Gollop. 2020. « Lifeform Indicators Reveal Large-scale Shifts in Plankton across the North-West European Shelf ». *Global Change Biology* 26(6):3482-97. doi: 10.1111/gcb.15066.
- Bedford, J., C. Ostle, D. G. Johns, A. Budria, et A. McQuatters-Gollop. 2020. « The Influence of Temporal Scale Selection on Pelagic Habitat Biodiversity Indicators ». *Ecological Indicators* 114:106311. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106311.
- Bosse, A., L. Coppola, P. Testor, D. Aubert, F. Carlotti, P. Conan, X. Durrieu de Madron, F. d'Ortenzio, L. Wolfgang, et L. Mortier. 2021. « A decade of observations and achievements of the MOOSE observatory in the Northwestern Mediterranean Sea ». Brest.
- Bryère, P. 2022. *Estimations issues des images satellite. Action DCSMM Satellite 2021. Rapport scientifique et technique*. A1931-002. Argans.
- Checkley, D. M., R. C. Dotson, et D. A. Griffith. 2000. « Continuous, Underway Sampling of Eggs of Pacific Sardine (*Sardinops Sagax*) and Northern Anchovy (*Engraulis Mordax*) in Spring 1996 and 1997 off Southern and Central California ». *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 47(5-6):1139-55. doi: 10.1016/S0967-0645(99)00139-3.
- Colas, F., M. Tardivel, J. Perchoc, M. Lunven, B. Forest, G. Guyader, M. M. Danielou, S. Le Mestre, P. Bourriau, E. Antajan, M. Sourisseau, M. Huret, P. Petitgas, et J. B. Romagnan. 2018. « The ZooCAM, a New in-Flow Imaging System for Fast Onboard Counting, Sizing and Classification of Fish Eggs and Metazooplankton ». *Progress in Oceanography* 166:54-65. doi: 10.1016/j.pocean.2017.10.014.
- Coppola, L., P. Raimbault, L. Mortier, et P. Testor. 2019. « Monitoring the Environment in the Northwestern Mediterranean Sea ». *Eos* 100. doi: 10.1029/2019EO125951.
- Delegrange, A., A. Lefebvre, F. Gohin, L. Courcot, et D. Vincent. 2018. « Pseudo-Nitzschia Sp. Diversity and Seasonality in the Southern North Sea, Domoic Acid Levels and Associated Phytoplankton Communities ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 214:194-206. doi: 10.1016/j.ecss.2018.09.030.
- Delegrange, A., D. Vincent, M. Duret, et R. Amara. 2015. « The Use of Mussels for Mitigating the Noxious Effect of Phytoplankton Spring Blooms on Farmed Fish ». *Aquacultural Engineering* 66:52-61. doi: 10.1016/j.aquaeng.2015.03.001.
- Dessier, A., P. Bustamante, T. Chouvelon, M. Huret, M. Pagano, E. Marquis, F. Rousseaux, C. Pignon-Mussaud, F. Mornet, M. Bréret, et C. Dupuy. 2018. « The Spring Mesozooplankton Variability and Its Relationship with Hydrobiological Structure over Year-to-Year Changes (2003–2013) in the Southern Bay of Biscay (Northeast Atlantic) ». *Progress in Oceanography* 166:76-87. doi: 10.1016/j.pocean.2018.04.011.
- Dessier, A., C. Dupuy, A. Kerric, F. Mornet, M. Authier, P. Bustamante, et J. Spitz. 2018. « Variability of Energy Density among Mesozooplankton Community: New Insights in Functional Diversity to Forage Fish ». *Progress in Oceanography* 166:121-28. doi: 10.1016/j.pocean.2017.10.009.

- Devreker, D., et A. Lefebvre. 2018. *Optimisation du programme de surveillance DCSMM pour les descripteurs 5-Eutrophisation et 1- Habitats Pélagiques. Campagnes océanographiques à l'échelle des sous-régions marines. Ifremer. ODE/UL/LER BL/18.06.*
- Directive 2008/56/CE. 2008. « Directive 2008/56/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre «stratégie pour le milieu marin») ».
- Dolan, J., et Virginie Raybaud. 2020. « Zooplankton I. Micro- and Mesozooplankton ». P. 67-107 in *The Mediterranean Sea in the Era of Global Change 2*, édité par C. Migon, P. Nival, et A. Sciandra. Wiley.
- Doray, M., P. Petitgas, M. Huret, E. Duhamel, J.-B. Romagnan, M. Authier, C. Dupuy, et J. Spitz. 2018. « Monitoring Small Pelagic Fish in the Bay of Biscay Ecosystem, Using Indicators from an Integrated Survey ». *Progress in Oceanography* 166:168-88. doi: 10.1016/j.pocean.2017.12.004.
- Duflos, M., G. Wacquet, A. Aubert, I. Rombouts, D. Devreker, A. Lefebvre, et L. F. Artigas. 2018. *Evaluation de l'État Écologique des Habitats Pélagiques 2018 - Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin. Rapport national.*
- Dupuy, C., A. Talarmin, H. J. Hartmann, D. Delmas, C. Courties, et E. Marquis. 2011. « Community Structure and Grazing of the Nano-Microzooplankton on the Continental Shelf of the Bay of Biscay ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 95(1):1-13. doi: 10.1016/j.ecss.2011.05.002.
- Edwards, M., A. Atkinson, E. Bresnan, P. Helaouet, A. McQuatters-Gollop, C. Ostle, S. Pitois, et C. Widdicombe. 2020. « Plankton, Jellyfish and Climate in the North-East Atlantic ». *MCCIP Science Review 2020* 32 pages. doi: 10.14465/2020.ARC15.PLK.
- Feuilloley, G. 2020. « Analyse de la variabilité spatio-temporelle du zooplankton dans le Golfe du Lion et conséquences sur les populations de petits pélagiques ». Université de Montpellier.
- Feuilloley, G., J.-M. Fromentin, C. Sarau, J.-O. Irisson, L. Jalabert, et L. Stemmann. 2021. « Temporal Fluctuations in Zooplankton Size, Abundance, and Taxonomic Composition since 1995 in the North Western Mediterranean Sea » édité par B. C. Woodson. *ICES Journal of Marine Science* fsab190. doi: 10.1093/icesjms/fsab190.
- Gaudy, R., F. Youssara, F. Diaz, et P. Raimbault. 2003. « Biomass, Metabolism and Nutrition of Zooplankton in the Gulf of Lions (NW Mediterranean) ». *Oceanologica Acta* 26(4):357-72. doi: 10.1016/S0399-1784(03)00016-1.
- Gohin, F., P. Bryère, A. Lefebvre, P.-G. Sauriau, N. Savoye, V. Vantrepotte, Y. Bozec, T. Cariou, P. Conan, S. Coudray, G. Courtay, S. Françoise, A. Goffart, T. Hernández Fariñas, M. Lemoine, A. Piraud, P. Raimbault, et M. Rétho. 2020. « Satellite and In Situ Monitoring of Chl-a, Turbidity, and Total Suspended Matter in Coastal Waters: Experience of the Year 2017 along the French Coasts ». *Journal of Marine Science and Engineering* 8(9):665. doi: 10.3390/jmse8090665.
- González-Gil, R., F. González Taboada, C. Cáceres, J. L. Largier, et R. Anadón. 2018. « Winter-Mixing Preconditioning of the Spring Phytoplankton Bloom in the Bay of Biscay: Winter Mixing and Spring Bloom ». *Limnology and Oceanography* 63(3):1264-82. doi: 10.1002/lno.10769.
- Gorsky, G., M. D. Ohman, M. Picheral, S. Gasparini, L. Stemmann, J.-B. Romagnan, A. Cawood, S. Pesant, C. García-Comas, et F. Prejger. 2010. « Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system ». *Journal of Plankton Research* 32(3):285-303. doi: 10.1093/plankt/fbp124.
- Grattepanche, J. D., D. Vincent, E. Breton, et U. Christaki. 2011. « Microzooplankton Herbivory during the Diatom–Phaeocystis Spring Succession in the Eastern English Channel ». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 404(1-2):87-97. doi: 10.1016/j.jembe.2011.04.004.
- Hernández-Fariñas, T., D. Soudant, L. Barillé, C. Belin, A. Lefebvre, et C. Bacher. 2014. « Temporal Changes in the Phytoplankton Community along the French Coast of the Eastern English Channel and the Southern Bight of the North Sea ». *ICES Journal of Marine Science* 71(4):821-33. doi: 10.1093/icesjms/fst192.
- Hosia, A., T. Falkenhaus, E. J. Baxter, et F. Pagès. 2017. « Abundance, Distribution and Diversity of Gelatinous Predators along the Northern Mid-Atlantic Ridge: A Comparison of Different Sampling Methodologies » édité par E. V. Thuesen. *PLOS ONE* 12(11):e0187491. doi: 10.1371/journal.pone.0187491.

- Houliez, E., S. Lefebvre, A. Dessier, M. Huret, E. Marquis, M. Bréret, et C. Dupuy. 2021. « Spatio-Temporal Drivers of Microphytoplankton Community in the Bay of Biscay: Do Species Ecological Niches Matter? » *Progress in Oceanography* 194:102558. doi: 10.1016/j.pocean.2021.102558.
- Hunt, B. P. V. 2003. « The Continuous Plankton Recorder in the Southern Ocean: A Comparative Analysis of Zooplankton Communities Sampled by the CPR and Vertical Net Hauls along 140 E ». *Journal of Plankton Research* 25(12):1561-79. doi: 10.1093/plankt/fbg108.
- Huret, M., P. Bourriau, M. Doray, F. Gohin, et P. Petitgas. 2018. « Survey Timing vs. Ecosystem Scheduling: Degree-Days to Underpin Observed Interannual Variability in Marine Ecosystems ». *Progress in Oceanography* 166:30-40. doi: 10.1016/j.pocean.2017.07.007.
- Jha, U., A. Jetter, J. A. Lindley, L. Postel, et M. Wootton. 2013. « Extension of Distribution of Pseudodiaptomus Marinus, an Introduced Copepod, in the North Sea ». *Marine Biodiversity Records* 6:e53. doi: 10.1017/S1755267213000286.
- John, E. H., S. D. Batten, R. P. Harris, et G. C. Hays. 2001. « Comparison between zooplankton data collected by the Continuous Plankton Recorder survey in the English Channel and by WP-2 nets at station L4, Plymouth UK ». *Journal of Sea Research* 46:223-32.
- Jouandet, M.-P., L. Petit, M. Duflos, G. Wacquet, C. Dédécker, A. Aubert, I. Rombouts, B. Mialet, E. Lebourg, M. Bruaut, F. Gomez, A. Nowaczyk, J. Delarbre, V. Cornille, E. Lécuyer, M. Didry, F. Lizon, et L. F. Artigas. 2019. *Mise en oeuvre du programme de surveillance « Habitats pélagiques » : test de mise en place des campagnes saisonnières et calcul d'indicateurs sur le site atelier Manche Mer du Nord et Mers Celtiques. Rapport scientifique et technique.*
- Labry, C., A. Herbland, D. Delmas, P. Laborde, P. Lazure, J. M. Froidefond, A. M. Jegou, et B. Sautour. 2001. « Initiation of Winter Phytoplankton Blooms within the Gironde Plume Waters in the Bay of Biscay ». *Marine Ecology Progress Series* 212:117-30. doi: 10.3354/meps212117.
- Lazard, C., Y. Vérin, et A. Aubert. 2021. *International Bottom Trawl Survey (IBTS2021- Q1) - French cruise report. Rapport de campagne océanographique.* Ifremer - Unité HMMN - Laboratoire Ressources Halieutiques.
- Lefebvre, A., et E. Poisson-Caillault. 2019. « High Resolution Overview of Phytoplankton Spectral Groups and Hydrological Conditions in the Eastern English Channel Using Unsupervised Clustering ». *Marine Ecology Progress Series* 608:73-92. doi: 10.3354/meps12781.
- Lefebvre, A., et D. Devreker. 2019. *Contributions des mesures automatisées à haute fréquence de type FerryBox pour les programmes thématiques Eutrophisation et Habitats pélagiques de la DCSMM. Rapport scientifique Ifremer.* ODE/LITTORAL/LER.BL/19.06.
- Legendre, L., et F. Rassoulzadegan. 1995. « Plankton and Nutrient Dynamics in Marine Waters ». *Ophelia* 41(1):153-72. doi: 10.1080/00785236.1995.10422042.
- Macias, D., E. Garcia-Gorritz, et A. Stips. 2018. « Major Fertilization Sources and Mechanisms for Mediterranean Sea Coastal Ecosystems: Fertilization of Mediterranean Coasts ». *Limnology and Oceanography* 63(2):897-914. doi: 10.1002/lno.10677.
- Margirier, F., P. Testor, E. Heslop, K. Mallil, A. Bosse, L. Houpert, L. Mortier, M.-N. Bouin, L. Coppola, F. D'Ortenzio, X. Durrieu de Madron, B. Mourre, L. Prieur, P. Raimbault, et V. Taillandier. 2020. « Abrupt Warming and Salinification of Intermediate Waters Interplays with Decline of Deep Convection in the Northwestern Mediterranean Sea ». *Scientific Reports* 10(1):20923. doi: 10.1038/s41598-020-77859-5.
- Mastail, M., et A. Battaglia. 1978. *Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton. Rapport scientifique et technique.* C.M. 1978/L. Conseil International de l'Exploration de la Mer.
- McQuatters-Gollop, A., A. Atkinson, A. Aubert, J. Bedford, M. Best, E. Bresnan, K. Cook, M. Devlin, R. Gowen, D. G. Johns, M. Machairopoulou, A. McKinney, A. Mellor, C. Ostle, C. Scherer, et P. Tett. 2019. « Plankton lifeforms as a biodiversity indicator for regional-scale assessment of pelagic habitat for policy ». *Ecological indicators* 101:913-25. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.010.
- McQuatters-Gollop, A., D. G. Johns, E. Bresnan, J. Skinner, I. Rombouts, R. Stern, A. Aubert, M. Johansen, J. Bedford, et A. Knights. 2017. « From Microscope to Management: The Critical Value of Plankton Taxonomy to Marine Policy and Biodiversity Conservation ». *Marine Policy* 83:1-10. doi: 10.1016/j.marpol.2017.05.022.

- McQuatters-Gollop, A., D. E. Raitsos, M. Edwards, Y. Pradhan, L. D. Mee, S. J. Lavender, et M. J. Attrill. 2007. « A Long-Term Chlorophyll Dataset Reveals Regime Shift in North Sea Phytoplankton Biomass Unconnected to Nutrient Levels ». *Limnology and Oceanography* 52(2):635-48. doi: 10.4319/lo.2007.52.2.0635.
- Nithard, A. 2021. *Gradients de variabilité spatiale et inter-annuelle de la diversité taxinomique et fonctionnelle planctonique dans le Golfe du Lion. Mémoire de fin d'études d'Ingénieur agronome. Spécialisation / Option : Sciences halieutiques et aquacoles – Ressources et Ecosystèmes Aquatiques. Agrocampus Ouest, CFR Rennes.*
- Petitgas, P., M. Doray, M. Huret, J. Massé, et M. Woillez. 2014. « Modelling the Variability in Fish Spatial Distributions over Time with Empirical Orthogonal Functions: Anchovy in the Bay of Biscay ». *ICES Journal of Marine Science* 71(9):2379-89. doi: 10.1093/icesjms/fsu111.
- Raitsos, D. E., A. Walne, S. J. Lavender, P. Licandro, P. C. Reid, et M. Edwards. 2013. « A 60-Year Ocean Colour Data Set from the Continuous Plankton Recorder ». *Journal of Plankton Research* 35(1):158-64. doi: 10.1093/plankt/fbs079.
- Raitsos, D. E. 2005. « Extending the SeaWiFS Chlorophyll Data Set Back 50 Years in the Northeast Atlantic ». *Geophysical Research Letters* 32(6):L06603. doi: 10.1029/2005GL022484.
- Raybaud, V., D. Héroin, T. Raud, J.-M. Brylinski, L. Stemmann, D. Thibault-Botha, et B. Sautour. 2011. « Census and analysis of zooplankton metadata of the French coasts since 1955 ». *Journal of Oceanography, Research and Data* 4:11-37.
- Richardson, A. J., A. W. Walne, A. W. G. John, T. D. Jonas, J. A. Lindley, D. W. Sims, D. Stevens, et M. Witt. 2006. « Using Continuous Plankton Recorder Data ». *Progress in Oceanography* 68(1):27-74. doi: 10.1016/j.pocean.2005.09.011.
- Robinson, K. L., S. Sponaugle, J. Y. Luo, M. R. Gleiber, et R. K. Cowen. 2021. « Big or Small, Patchy All: Resolution of Marine Plankton Patch Structure at Micro- to Submesoscales for 36 Taxa ». *Science Advances* 7(47):eabk2904. doi: 10.1126/sciadv.abk2904.
- Romagnan, J.-B., L. Aldamman, S. Gasparini, P. Nival, A. Aubert, J.-L. Jamet, et L. Stemmann. 2016. « High Frequency Mesozooplankton Monitoring: Can Imaging Systems and Automated Sample Analysis Help Us Describe and Interpret Changes in Zooplankton Community Composition and Size Structure — An Example from a Coastal Site ». *Journal of Marine Systems* 162:18-28. doi: 10.1016/j.jmarsys.2016.03.013.
- Saulquin, B., F. Gohin, et R. Garrello. 2010. « Regional Objective Analysis for Merging High-Resolution MERIS, MODIS/Aqua, and SeaWiFS Chlorophyll- a Data From 1998 to 2008 on the European Atlantic Shelf ». *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 49(1):143-54. doi: 10.1109/TGRS.2010.2052813.
- Seuront, L., et D. Vincent. 2008. « Increased Seawater Viscosity, Phaeocystis Globosa Spring Bloom and Temora Longicornis Feeding and Swimming Behaviours ». *Marine Ecology Progress Series* 363:131-45. doi: 10.3354/meps07373.
- Seuront, L., D. Vincent, et J. Mitchell. 2006. « Biologically Induced Modification of Seawater Viscosity in the Eastern English Channel during a Phaeocystis Globosa Spring Bloom ». *Journal of Marine Systems* 61(3-4):118-33. doi: 10.1016/j.jmarsys.2005.04.010.
- Siokou-Frangou, I., U. Christaki, M. G. Mazzocchi, M. Montessor, M. Ribera d'Alcalá, D. Vaqué, et A. Zingone. 2010. « Plankton in the Open Mediterranean Sea: A Review ». *Biogeosciences* 7(5):1543-86. doi: 10.5194/bg-7-1543-2010.
- Tew-Kai, E., V. Quilfen, M. Cachera, et M. Boutet. 2020. « Dynamic Coastal-Shelf Seascapes to Support Marine Policies Using Operational Coastal Oceanography: The French Example ». *Journal of Marine Science and Engineering* 8(8):585. doi: 10.3390/jmse8080585.
- Tranter, D. J., et P. E. Smith. 1968. « Filtration Performance ». in *Monographs on oceanographic methodology 2 : Zooplankton Sampling*. Switzerland.
- Uusitalo, L., J. A. Fernandes, E. Bachiller, S. Tasala, et M. Lehtiniemi. 2016. « Semi-Automated Classification Method Addressing Marine Strategy Framework Directive (MSFD) Zooplankton Indicators ». *Ecological Indicators* 71:398-405. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.05.036.
- Vandromme, P., L. Stemmann, C. Garcia-Comas, L. Berline, X. Sun, et G. Gorsky. 2012. « Assessing Biases in Computing Size Spectra of Automatically Classified Zooplankton from Imaging Systems: A Case Study with the ZooScan Integrated System ». *Methods in Oceanography* 1-2:3-21. doi: 10.1016/j.mio.2012.06.001.

- Véron, M., E. Duhamel, M. Bertignac, L. Pawlowski, et M. Huret. 2020. « Major Changes in Sardine Growth and Body Condition in the Bay of Biscay between 2003 and 2016: Temporal Trends and Drivers ». *Progress in Oceanography* 182:102274. doi: 10.1016/j.pocean.2020.102274.
- Vilain, M., E. Goberville, D. Vincent, et A. Goffart. 2022. « Approche de biorégionalisation pour alimenter les échelles d'évaluation du programme thématique "Habitats pélagiques" de la DCSMM ». *Note scientifique et technique Sorbonne université - BOREA / OFB / Univ. Liège*. 25 pp.
- Vincent, D. 2020. *Programme de surveillance « Habitats pélagiques ». Orientations et priorités au 2ème cycle. Synthèse finale. Rapport scientifique et technique - Office Français de la Biodiversité (OFB)*.
- Vincent, D., Christophe L., et B. Sautour. 2002. « Effects of a Brief Climatic Event on Zooplankton Community Structure and Distribution in Arcachon Bay (France) ». *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 82(1):21-30. doi: 10.1017/S0025315402005143.

## Annexe 1

Indicateur PH1 relatif aux groupes fonctionnels du plancton (d'après le rapport CEMP OSPAR 2017 ; modifié d'après Gowen et al. 2011).

GROUPES FONCTIONNELS	CRITERE ADDITIONNEL	NIVEAU DE CONFIANCE	SIGNIFICATIONS
Diatomées vs Dinoflagellés		Elevé	La dominance des dinoflagellés peut être un indicateur de l'eutrophisation ou d'un changement dans la structure de la colonne d'eau. Le réseau trophique qui en résulte est en général peu rentable en termes de flux d'énergie.
Plancton gélatineux vs Larves/œufs de poissons	Cténaires et Cnidaires avec les œufs de poissons	Elevé	Indicateur des flux d'énergie et des voies trophiques possibles.
Petits copépodes vs Grands copépodes	Adultes <1,9 mm (sans nauplii ni œufs) Adultes > 2 mm	Elevé	Indicateur basé sur la taille relatif à la structure et aux flux d'énergie dans le réseau trophique.
Zooplancton carnivore vs Zooplancton non carnivore		Faible	Indicateur de flux d'énergie et de l'équilibre entre les consommateurs primaires et secondaires.
Crustacés vs zooplancton gélatineux		Elevé	Indicateur de flux d'énergie et des voies trophiques possibles.
Phytoplancton de grande taille vs Phytoplancton de petite taille	Cellules > 20 µm Cellules < 20 µm	Elevé	Indicateur basé sur la taille relatif à l'efficacité des flux d'énergie vers les maillons trophiques supérieurs.
Microphytoplancton vs Zooplancton non carnivore	Biomasse (e.g. chlorophylle-a) Abondance	Elevé	Indicateur de flux d'énergie et de l'équilibre entre les producteurs primaires et les consommateurs primaires.
Diatomées vs Dinoflagellés autotrophes et mixotrophes		Faible	Une modification vers les producteurs primaires peut indiquer un phénomène d'eutrophisation ou un changement dans la structure de la colonne d'eau.
Diatomées pélagiques vs Diatomées tychopélagiques		Elevé	Indicateur de la perturbation benthique et de la fréquence des phénomènes de remise en suspension.
Diatomées nuisibles et/ou toxiques vs Diatomées Ou Dinoflagellés nuisibles et/ou toxiques vs Dinoflagellés		Faible	Indicateur d'une modification de la structure de la communauté algale vers des espèces nuisibles et/ou toxiques pouvant potentiellement impacter les niveaux trophiques supérieurs.
Holoplancton vs Méroplancton		Elevé	Indicateur de l'importance du couplage benthopélagique et rendement de reproduction de la faune benthique / faune pélagique.
Ciliés vs Microflagellés	Tintinnides inclus Toutes les espèces < 20 µm	Faible	Indicateur d'un changement du statut trophique du système passant de l'autotrophie à l'hétérotrophie.