



**HAL**  
open science

## **Programme de surveillance "Habitats pélagiques" : Orientations et priorités au 2<sup>e</sup> cycle Synthèse finale - Version 2**

Dorothee Vincent

### **► To cite this version:**

Dorothee Vincent. Programme de surveillance "Habitats pélagiques" : Orientations et priorités au 2<sup>e</sup> cycle Synthèse finale - Version 2. Office français de la biodiversité (OFB). 2020. <hal-04143269>

**HAL Id: hal-04143269**

**<https://hal.science/hal-04143269v1>**

Submitted on 27 Jun 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.

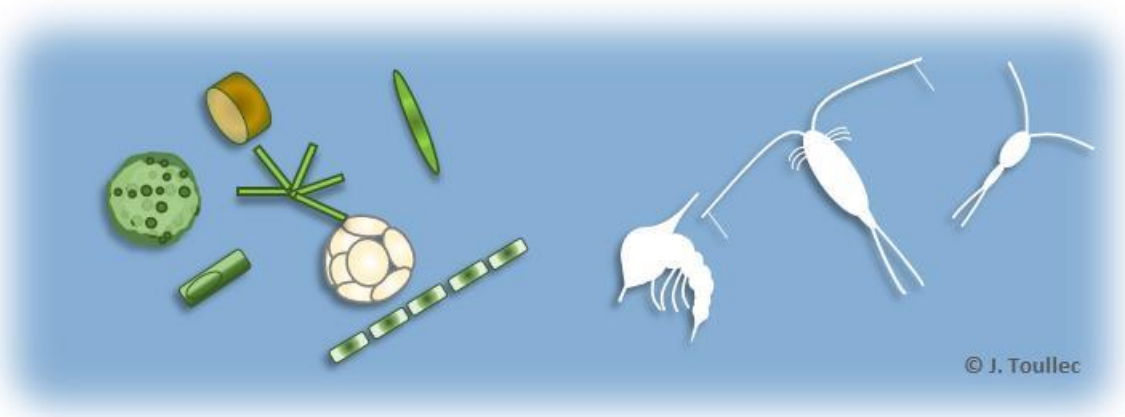
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

**Programme de surveillance  
« Habitats pélagiques »  
Orientations et priorités au 2<sup>nd</sup> cycle  
SYNTHESE FINALE – Version 2**

Sous-régions marines :  
MMN/MC/GDG Nord/ GDG Sud /MO



Dorothée VINCENT



## Préambule

Cette synthèse finale a été réalisée à partir d'une analyse critique du Programme de Surveillance (PdS) « Habitats pélagiques » 1<sup>er</sup> cycle au titre des évaluations du Bon Etat Ecologique (BEE) et des liens avec les politiques européennes, les conventions des mers régionales et les états membres. Ce travail, réalisé au cours de l'année 2019, a permis de définir les orientations et priorités du 2<sup>nd</sup> cycle de surveillance. Certains des éléments produits pendant l'année 2019 ont été repris ici et mis à jour en s'appuyant sur les travaux réalisés à l'échelle nationale (coordination BEE – Ifremer ; Copil S&T DCSSM ; GT DCE Eaux Littorales) et européenne, en particulier les travaux du groupe de travail ICG-COBAM PH (*Pelagic Habitat*) de la convention OSPAR.

! Les mises à jour réalisées sur les dispositifs transversaux par les responsables thématiques et de surveillance du D7- Changements Hydrographiques ont été intégrées à la date de préparation de ce document.

**Dans cette seconde version, cette synthèse tient compte des retours de la coordination PdS et est donc représentative de l'état d'avancement des travaux en date du 15 septembre 2020.**

Ce document est accompagné du fichier intitulé « **Fiches dispositifs PdS Habitats pélagiques – Annexe 7** » dans lequel l'ensemble des dispositifs de suivi du PdS 2<sup>nd</sup> cycle sont détaillés. Lorsqu'il en sera fait mention, la page de référence sera indiquée entre **[crochets en gras et en bleu]**.

*Ce travail a bénéficié de l'appui et des conseils de certains acteurs de la recherche que je tiens à remercier. P. Raimbault (Institut Méditerranéen d'Océanologie) et L. Coppola (Observatoire Océanique de Villefranche sur Mer), coordinateurs du Réseau MOOSE pour les discussions relatives à l'intégration de ce dispositif dans le PdS 2<sup>nd</sup> cycle. A. Goffart (Laboratoire d'Océanologie, Université de Liège) pour les échanges sur les méthodes d'analyses des communautés phytoplanctoniques par HPLC en Méditerranée. E. Goberville (Sorbonne Université ; FRE BOREA) pour ses conseils en écologie numérique, et les discussions sur le Continuous Plankton Recorder. E. Antajan (Ifremer Arcachon) et A. Nowaczyk (UMR EPOC) pour leurs partages d'expertise sur les systèmes d'analyses d'images.*

<b>1. Stratégie du programme thématique « Habitats pélagiques » pour le 2<sup>nd</sup> cycle .....</b>	<b>1</b>
1.1. Présentation et objectifs du programme thématique .....	1
1.1.1. Spécificités et enjeux des communautés planctoniques .....	1
1.1.2. Objectifs du programme thématique.....	3
1.2. Structuration du programme thématique .....	4
1.3. Principaux dispositifs de suivi mobilisés.....	7
1.4. Principales perspectives .....	10
1.4.1. Orientations en termes de surveillance et d'acquisition de données.....	10
1.4.2. Orientations en termes d'évaluation .....	11
<b>2. Analyse globale des préconisations pour le PdS DCSMM 2<sup>nd</sup> cycle .....</b>	<b>13</b>
2.1. Analyse globale des dispositifs .....	13
2.1.1. Dispositif opérationnel à maintenir pour l'établissement de l'échelle spatiale d'évaluation du BEE (paysages marins).....	14
2.1.2. Analyse des dispositifs non opérationnels à maintenir au 2 <sup>nd</sup> cycle .....	15
2.1.3. Le réseau MOOSE : un dispositif non opérationnel à intégrer au 2 <sup>nd</sup> cycle .....	18
2.1.4. Les dispositifs candidats du PdS « Habitats pélagiques » 2 <sup>nd</sup> cycle.....	18
2.1.4.1. Dispositifs dont la fréquence d'acquisition nécessitent des développements numériques.....	19
• Acquisition de données à haute fréquence sur points fixes .....	19
• Dispositif candidat à très basse fréquence d'acquisition : campagnes optimisées DCSMM.....	20
2.1.4.2. Dispositifs candidats nécessitant la définition d'une stratégie de surveillance.....	23
• Campagnes DCSMM dédiées aux habitats pélagiques.....	23
• Réunir les conditions nécessaires aux déploiements opérationnels dans l'ensemble des SRM 25	
2.1.4.3. Dispositifs associés à la modélisation couplée hydrodynamique/biogéochimie .....	26
2.1.4.4. Des analyses complémentaires nécessaires pour les données acquises par le Continuous Plankton Recorder (CPR).....	27
2.1.4.5. Dispositifs candidats associés à la surveillance des micro-organismes .....	31
2.2. Analyse globale des dispositifs de suivis PdS DCSMM 2 <sup>nd</sup> cycle au regard de l'évaluation BEE 2024 (3 <sup>ème</sup> cycle).....	33
2.2.1. Eléments de cadrage : les indicateurs BEE du programme thématique « Habitats pélagiques ».....	33
2.2.2. Modalités d'analyse du lien entre dispositifs de suivi et indicateurs BEE.....	34
2.2.3. Résultats .....	34
2.2.4. Discussion .....	36
2.2.4.1. Poursuivre les développements méthodologiques pour aboutir à des indicateurs BEE opérationnels .....	36

2.2.4.2. Proposer de nouveaux indicateurs BEE, adapter les indicateurs existants ? .....	37
2.2.4.3. Mobiliser les données existantes et établir des liens avec les méthodes déployées dans d'autres directives .....	38
• Des travaux à harmoniser avec la DCE pour le phytoplancton .....	38
• Vers une meilleure mobilisation des données relatives à la composante zooplanctonique.....	39
2.3. Analyse globale des dispositifs de suivis PdS DCSMM 2 <sup>nd</sup> cycle au regard de l'évaluation DCSMM des OE DCSMM en 2024.....	40
2.4. Analyse globale des dispositifs de suivis PdS DCSMM 2 <sup>nd</sup> cycle en lien avec les autres politiques européennes/ CMR/EM .....	40
2.4.1. Liens établis ou à établir avec les autres politiques européennes et les conventions de mer régionales .....	40
2.4.2. Renforcement des liens avec les suivis menés conjointement avec les autres états-membres.....	43
2.4.2.1. Conserver et intégrer les dispositifs de suivis assurant une collaboration effective entre états membres.....	43
2.4.2.2. Ouvrir à de nouvelles actions de collaboration entre états-membres .....	43
• Mutualisation de campagnes en mer.....	43
• Mutualisation d'outils/techniques innovantes développés dans le cadre de projets Européens.....	43
2.4.3. Renforcement des liens au travers des infrastructures Européennes de données et de recherche.....	45
2.4.3.1. Principales infrastructures de données.....	45
• SeaDataNet.....	45
• European Marine Observation and Data network : EMODnet .....	45
• Copernicus Marine Ecosystem Monitoring Service : CMEMS .....	45
• GOOS et EuroGOOS.....	46
2.4.3.2. Infrastructures Européennes de recherche .....	48
• JERICO, JERICO-NEXT et JERICO S3 .....	48
• EMSO ERIC (European Multidisciplinary Sea Floor and water column Observatory) ...	49
2.5. Cohérence du PdS 2 <sup>nd</sup> cycle avec l'évaluation communautaire au 1 <sup>er</sup> cycle .....	50
<b>3. Principales orientations pour les PdS DCSMM 2<sup>nd</sup> cycle.....</b>	<b>53</b>
3.1 Bilan des dispositifs de suivi opérationnels au titre de la DCSMM à maintenir ou intégrer dans le PdS 2 <sup>nd</sup> cycle.....	53
3.2. Bilan des dispositifs de suivi non opérationnels à maintenir/intégrer dans le PdS 2 <sup>nd</sup> cycle.....	53
3.3. Bilan des dispositifs de suivi candidats pour le PdS 2 <sup>nd</sup> cycle.....	55
<b>4. Analyse des sciences participatives.....</b>	<b>57</b>
4.1. Analyse critique des programmes de sciences participatives.....	57

4.2. Programmes ou dispositifs de sciences participatives candidats .....	57
4.2.1. Dispositifs de sciences participatives candidats associés au phytoplancton .....	57
• Objectif plancton .....	57
• Phenomer .....	58
4.2.2. Dispositifs de sciences participatives candidats associés au zooplancton.....	59
<b>5. Analyse des nouvelles technologies .....</b>	<b>59</b>
5.1. Analyse critique des outils de nouvelles technologies.....	59
5.2. Outils ou dispositifs intégrant les nouvelles technologies et faisant partie de dispositifs de suivi non opérationnels .....	60
5.2.1. Analyses d'images satellites .....	60
5.2.2. Modélisation couplée hydrodynamique/biogéochimie.....	61
• Des outils opérationnels pour reproduire la dynamique des communautés phytoplanctoniques.....	61
• Des outils en développement pour les composantes zooplanctoniques (protozoaires et métazoaires).....	62
5.3. Outils ou dispositifs intégrant les nouvelles technologies et faisant partie de dispositifs de suivi candidats .....	62
5.3.1. Approches à haute résolution et outils automatisés .....	62
5.3.1.1. Instruments basés sur la fluorescence spectrale .....	63
5.3.1.2. Instrument basé sur la fluorescence variable : FRRF .....	63
5.3.1.3. Cytométrie en flux automatisée.....	63
5.3.1.4. Conclusions et orientations proposées au 2 <sup>nd</sup> cycle de surveillance .....	64
5.3.2. Systèmes d'acquisition et d'analyses d'images.....	64
5.3.3. Outils et méthodes moléculaires : des travaux à suivre pour la surveillance des micro-organismes .....	66
<b>6. Bilan des dispositifs de suivis à supprimer des PdS .....</b>	<b>68</b>
<b>7. Références bibliographiques .....</b>	<b>69</b>
<b>Annexe 1.....</b>	<b>75</b>
<b>Annexe 2.....</b>	<b>76</b>

# 1. Stratégie du programme thématique « Habitats pélagiques » pour le 2<sup>nd</sup> cycle

## 1.1. Présentation et objectifs du programme thématique

### 1.1.1. Spécificités et enjeux des communautés planctoniques

Le domaine **pélagique** abrite l'ensemble des organismes animaux et végétaux vivant en plein eau, sans rapport direct avec le fond. Au sein du *pelagos*, deux catégories d'organismes peuvent être identifiées :

1/ le **necton** qui correspond aux animaux qui possèdent des **possibilités de déplacement actif** leur permettant de s'affranchir de l'entraînement des courants. Il comprend les poissons et les céphalopodes, les tortues et les mammifères marins. Ces composantes nectoniques sont abordées dans les programmes thématiques des Descripteurs 3 et 1 de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM).

2/ Le **plancton** regroupe les organismes présentant une relative passivité vis-à-vis des mouvements des masses d'eau et qui sont entraînés par les courants (bien que certains soient capables de migrer verticalement entre différentes masses d'eau). Il regroupe des organismes présentant une grande diversité d'espèces, de spectres de taille (du pico- 0,2 µm au macroplancton > 20 mm), et de mode trophique (autotrophie, mixotrophie, hétérotrophie). L'ensemble de ces organismes planctoniques sont abordés au sein du programme thématique « Habitats pélagiques » de la DCSMM.

Leur surveillance est conditionnée par la place et les rôles qu'ils peuvent jouer dans le milieu marin.

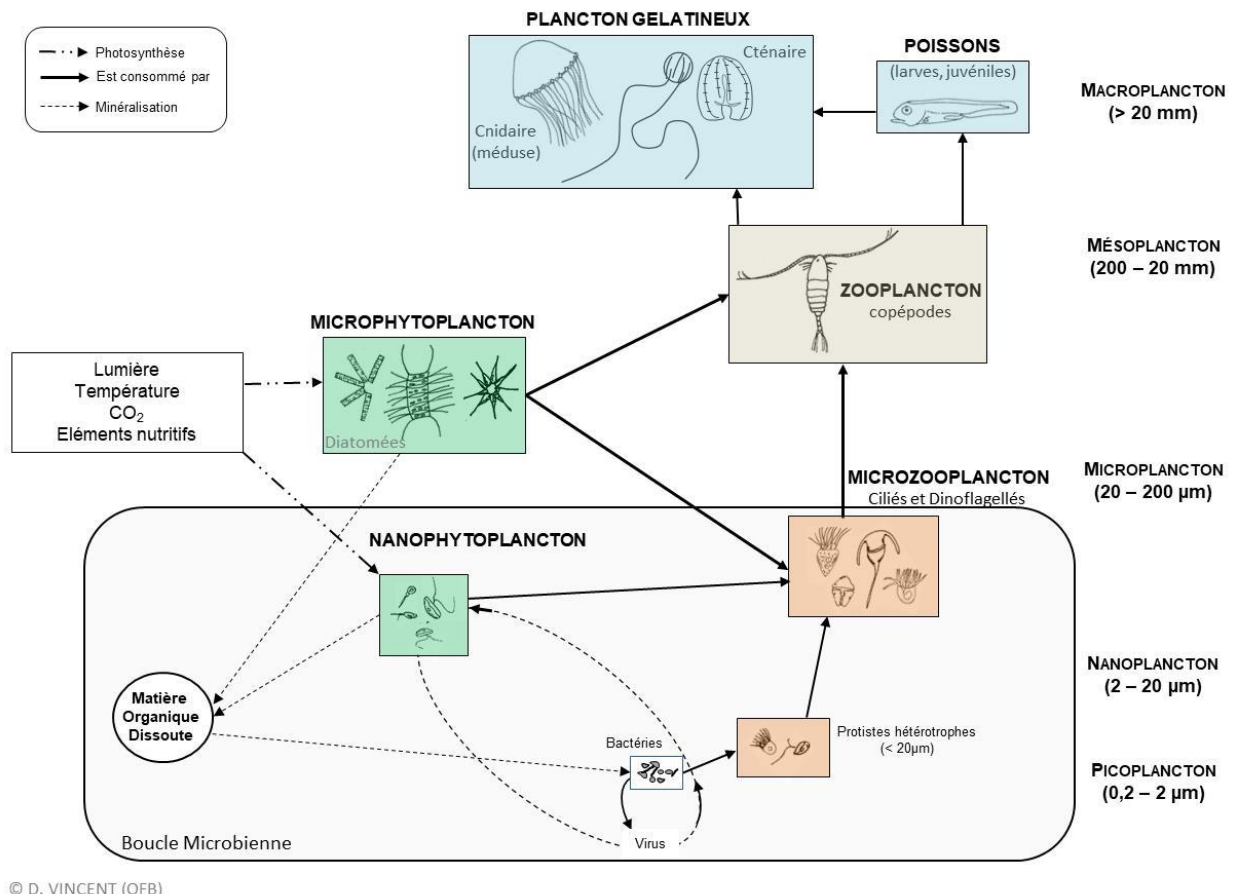
1/ Les organismes planctoniques sont **d'excellents traceurs des masses d'eau** dans lesquelles ils vivent. Le lien entre conditions hydrologiques et communautés planctoniques a été démontré à de multiples reprises : les forçages climatiques à échelle globale (e.g. oscillation multi-décennale Atlantique, oscillation nord Atlantique) et/ou régionale (modification de la température de surface, régime des vents) impactent les conditions hydrologiques, et en conséquence, la variabilité, la phénologie, la diversité et la distribution des communautés planctoniques (Chaalali et al. 2013 ; Chevillot et al. 2016 ; Richirt et al. 2019). Les organismes planctoniques sont également des **intégrateurs**, voire des **amplificateurs, des changements des conditions environnementales** (Kirby et Beaugrand 2009). Outre leur variabilité naturelle saisonnière, des modifications de leur structure et de leur distribution peuvent se produire de manière (i) abrupte, et refléter l'impact d'évènements extrêmes (e.g. tempête ; Vincent et al. 2002) ou (ii) graduelle, en réponse à des changements s'exerçant à plus long terme (e.g. changement global ; Beaugrand 2012).

2/ Certains organismes d'intérêt commercial présentent un stade de vie larvaire planctonique. C'est le cas de nombreuses larves de poissons (e.g. harengs, bars) et de mollusques benthiques (e.g. moules, huitres, gastéropodes). Les conditions abiotiques et biotiques (e.g. conditions nutritionnelles) rencontrées pendant la phase larvaire peuvent impacter le recrutement ultérieur, cette phase planctonique constituant ainsi un goulot d'étranglement à la dynamique de certaines populations pélagiques et benthiques (e.g. Denis et al. 2017, 2018).

3/ Les communautés planctoniques, qu'elles soient autotrophes (phytoplancton) ou hétérotrophes, hébergent des espèces introduites non indigènes (Descripteur 2), potentiellement toxiques, nuisibles, voire des parasites qui peuvent affecter les ressources (e.g. poissons commerciaux, bivalves d'intérêt pour la consommation ; Anderson et al. 2019).

4/ Les communautés planctoniques constituent des **éléments essentiels de la chaîne trophique marine**. En tant que principaux producteurs de matière organique, la structure des communautés phytoplanctoniques (e.g. présence d'espèces toxiques et/ou nuisibles, structure de taille, dominance

de certains groupes) et leur variabilité spatio-temporelle conditionnent fortement celles de leurs prédateurs zooplanctoniques (e.g. copépodes, ciliés, dinoflagellés ; **Figure 1**). Le zooplancton, et en particulier le mésozooplancton (> 200 µm), occupe ainsi une place centrale au sein du réseau trophique pélagique puisqu'il comprend à la fois les **prédateurs** des composantes microphyto- et microzooplanctoniques (e.g. Kleppel 1993 ; Stoecker et Egloff 1987 ; revue de Mauchline 1998) et qu'il constitue la **proie** principale pour les organismes de niveaux trophiques supérieurs (poissons, Ware et Thompson 2005 ; oiseaux marins, Amélineau et al. 2016 ; méduses et cténaïres, Purcell et al. 1994 ; Richardson et al. 2009).



**Figure 1 : Représentation schématique du réseau trophique planctonique et classes de taille des différentes composantes planctoniques.** La boucle microbienne (Azam et al. 1983) est définie à l'intérieur du réseau trophique microbien comme étant la communauté des organismes hétérotrophes (archées, bactéries, flagellés et ciliés)

Il est démontré que les changements spatio-temporels dans la structure et la composition des communautés planctoniques, sous dépendance de facteurs environnementaux (changement global) et anthropiques (eutrophisation, surpêche ; Edwards 2016), agissent comme des facteurs forçant la dynamique de leurs prédateurs et peuvent engendrer des conséquences socio-économiques non négligeables. En Mer du Nord, le remplacement du copépode subarctique *Calanus finmarchicus* par son congénère tempéré *Calanus helgolandicus*, a permis d'expliquer en partie la diminution de biomasse des stocks de morues à la fin des années 1990 (Beaugrand et al. 2003 ; Edwards et al. 2020). Au cours des deux dernières décennies, plusieurs auteurs ont suggéré que les proliférations de **plancton gélatineux** (e.g. cténaïres et cnidaires) pourraient augmenter, en fréquence et en amplitude, en réponse aux changements climatiques et aux autres perturbations d'origine anthropique affectant les zones côtières (e.g. eutrophisation, surpêche, translocation d'espèces ; Richardson et al. 2009 ; Edwards et al. 2020). Bien que de fortes incertitudes persistent (Condon et al. 2012, 2013), de tels scénarios appellent assez naturellement à une réévaluation des risques possibles liés à ces organismes.

Le caractère cosmopolite et la facilité d'échantillonnage des organismes planctoniques en font des organismes de choix pour la surveillance de l'évolution des écosystèmes marins. Témoins des conditions hydroclimatiques au sein d'un écosystème, ils sont considérés comme des indicateurs pertinents de changements : toute modification de la structure et de la biomasse des communautés planctoniques peut impacter le fonctionnement du réseau trophique et l'équilibre des cycles biogéochimiques, et avoir des incidences socio-économiques fortes, comme sur les activités de pêche, par exemple. En conséquence, la biomasse et la diversité du phytoplancton et du zooplancton ont été identifiées comme Variables Océaniques Essentielles (**EOV**, *Essential Oceanic Variables*) et comme Variables Climatiques Essentielles (**ECV**, *essential Climatic Variables*) dans le cadre du Système Mondial d'Observation du Climat (**SMOC** ou **GCOS** pour *Global Climate Observing System* ; Chiba et al. 2018 ; Miloslavich et al. 2018 ; Muller-Karger et al. 2018 ; Bax et al. 2019).

### 1.1.2. Objectifs du programme thématique

Les Habitats Pélagiques constituent une composante du Descripteur 1 - Biodiversité de la DCSMM : « **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) repose sur **le seul critère primaire D1C6 (Tableau 1)**. Les habitats pélagiques y sont considérés dans leur globalité en intégrant leurs caractéristiques biotiques, et abiotiques, ainsi que leurs fonctions.

**Tableau 1. Eléments constitutifs, critère unique et normes méthodologiques pour l'atteinte du Bon Etat Ecologique (BEE) des HABITATS PELAGIQUES au titre du DESCRIPTEUR 1**

ELEMENTS CONSTITUTIFS DU CRITERE	CRITERE <sup>1</sup>	NORMES METHODOLOGIQUES
<p>Grands types d'habitats pélagiques (eaux à salinité variable<sup>2</sup>, eaux côtières, eaux du plateau continental et haute mer), s'ils sont présents dans la région ou la sous-région, et autres types d'habitats tels que définis au deuxième paragraphe.</p> <p>Les états membres peuvent choisir, <i>via</i> la coopération au niveau régional ou sous-régional, des types d'habitats supplémentaires, conformément aux critères établis dans la rubrique « spécifications relatives au choix des espèces et des habitats ».</p>	<p><b>D1C6 – Primaire</b>  <b>Les caractéristiques du type d'habitat, notamment sa structure biotique et abiotique et ses fonctions</b> (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), <b>ne subissent pas d'effets néfastes dus à des pressions anthropiques.</b></p> <p>Les états membres coopèrent au niveau régional ou sous-régional en vue d'établir des valeurs seuils en ce qui concerne l'état de chaque type d'habitat, en veillant à ce que celles-ci soient compatibles avec les valeurs correspondantes fixées au titre des descripteurs 2, 5 et 8.</p>	<p><i>Echelle d'évaluation</i>            Subdivision de région ou de sous-région telle qu'utilisée pour les évaluations des grands types d'habitats benthiques, de manière à refléter les différences biogéographiques dans la composition en espèces du type d'habitats.</p> <p><i>Application des critères</i>            Le degré de réalisation du bon état écologique est exprimé de la manière suivante, pour chaque zone évaluée :</p> <p>a) Estimation de la proportion et de la mesure dans lesquelles chaque type d'habitat évalué a atteint la valeur seuil fixée ;            b) Liste des grands types d'habitats dans la zone d'évaluation qui n'ont pas été évalués.</p>

Spécifications et méthodes normalisées de surveillance et d'évaluation en rapport avec le thème « Habitats Pélagiques »  
 1. Le terme « côtier » doit être entendu sur la base de paramètres physiques, hydrologiques et écologiques et ne se réduit pas aux eaux côtières telles que définies à l'article 2, paragraphe 7, de la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE.

<sup>1</sup> Unité de mesure pour ce critère : étendue de l'habitat subissant des effets néfastes en kilomètres carrés (km<sup>2</sup>) et en proportion (%) de l'étendue totale du type d'habitat.

<sup>2</sup> Ce critère est appliqué dans le cas où les eaux d'estuaire s'étendent au-delà des eaux qualifiées d'«eaux de transition» dans la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE.

2. Les évaluations des effets néfastes liés aux pressions, notamment sur la base des critères D2C3 (impact des espèces non indigènes), D5C2 (concentration en chlorophylle-*a*), D5C3 (nombre, étendue spatiale et durée des proliférations d'algues toxiques), D5C4 (transparence de la colonne d'eau), D7C1 (étendue spatiale, répartition de la modification permanente des conditions hydrographiques), D8C2 (état de santé des espèces vis-à-vis des contaminants) et D8C4 (effets négatifs des épisodes de pollution algale sur la santé des espèces et la condition des habitats) sont à prendre en compte dans les évaluations des habitats pélagiques réalisées au titre du descripteur 1.

Les normes méthodologiques associées à ce critère seront complétées à la suite d'études supplémentaires, comme le prévoit l'article 6 de l'arrêté<sup>3</sup>.

La typologie des habitats pélagiques considérés au titre du Descripteur 1 correspond (i) pour les eaux côtières, aux types de masses d'eaux côtières telles que définies dans l'arrêté du 12 janvier 2010 modifié ; (ii) au-delà des eaux côtières, aux grands types de **paysages marins** définis pour les façades Manche, Atlantique et Méditerranéenne sur la base de caractéristiques physico-chimiques, notamment hydrologiques et hydrographiques évaluées au titre du Descripteur 7- Changements Hydrographiques.

**Le programme de surveillance (PdS) « Habitats pélagiques » a donc pour objectifs d'acquérir des données permettant de déterminer la répartition, l'étendue et l'état écologique de ces habitats en s'intéressant :**

- à la **caractérisation des communautés planctoniques** (diversité, composition, structure de taille, distribution et variabilité spatio-temporelle) et des conditions environnementales associées ;
- au **fonctionnement de l'écosystème pélagique** et plus spécifiquement du réseau trophique (en lien avec le Descripteur 4-Réseau trophique ; **Figure 1**).

## 1.2. Structuration du programme thématique

La structuration du PdS « Habitats pélagiques » au 2<sup>nd</sup> cycle est modifiée par rapport au premier cycle (**Tableau 2 ; Figure 2**) et les changements majeurs concernent :

- la fusion de deux Sous-Programmes (SP) en un seul, le **SP1 intitulé Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie**. Cette fusion permet de regrouper des dispositifs communs aux deux anciens SP1 et SP2, et de considérer, au sein d'un même SP, l'ensemble des paramètres hydrologiques et physico-chimiques pouvant expliquer la variabilité des communautés planctoniques.
- la suppression du SP1-météorologie, qui n'alimente pas directement les calculs des indicateurs BEE et dont les dispositifs associés sont déjà présents dans le nouveau SP1-Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie. Les données météorologiques sont donc toujours disponibles dans le SP1 qui présente des dispositifs de suivi transversaux avec le PdS « Changements hydrographiques ».

---

<sup>3</sup> La définition du bon état écologique des eaux marines est mise à jour conformément à la directive 2008/56/CE susvisée. Cette mise à jour tient compte : 1° De l'amélioration des connaissances, relatives notamment à la structure, au fonctionnement et à la capacité de résilience des écosystèmes, aux liens entre pressions, état écologique et impacts ; 2° Des modifications des conditions environnementales existantes, y compris liées aux changements globaux, dont le changement climatique ; 3° De l'évolution des pressions provenant des activités anthropiques et d'évaluations des risques ; 4° Des résultats issus de la mise en œuvre du programme de surveillance et du programme de mesures ; 5° Des avancées des travaux de coopération régionale et des travaux européens.

**Tableau 2 : Structuration du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle en Sous-Programmes et modifications apportées par rapport au 1<sup>er</sup> Cycle**

PdS « Habitats pélagiques » 1 <sup>er</sup> cycle	PdS « Habitats pélagiques » 2 <sup>nd</sup> cycle
SP1 – Météorologie	SP1 – Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie
SP2 – Hydrodynamismes et hydrologie	SP2 – Phytoplancton
SP3 – Physico-chimie	SP3 – Zooplancton
SP4 – Micro-organismes	SP4 – Micro-organismes
SP5 – Phytoplancton	
SP6 – Zooplancton	

Cette organisation en **4 Sous-Programmes** permet le suivi :

- de **paramètres « socles »** décrivant les **conditions environnementales et contextuelles** (SP1-hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie). Comme mentionné précédemment, les paramètres environnementaux du SP1 dépendent de forçages climatiques et hydrodynamiques à plus large échelle, abordés dans le PdS « Changements hydrographiques ».

- de **paramètres d'état du milieu** décrivant les **communautés phytoplanctoniques** (SP2), **zooplanctoniques** (SP3) et **microbiennes** (SP4).

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 compartimer les composantes planctoniques est justifié par les stratégies d'échantillonnage et d'analyses mises en œuvre pour leur surveillance.

## Données contextuelles

### SP1 - Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie



Ce SP est transversal avec les PdS « Changements hydrographiques » et « Eutrophisation ». Les données acquises permettent de caractériser les conditions environnementales de la colonne d'eau.

Elles permettent d'évaluer 3 critères du Descripteur 5 – Eutrophisation :

- Concentrations en nutriments dans la colonne d'eau (D5C1)
- Limite photique de la colonne d'eau (D5C4)
- Concentration en oxygène dissous au fond de la colonne d'eau (D5C5)

## Communautés planctoniques

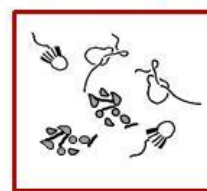
### SP2 - Phytoplancton



### SP3 - Zooplancton



### SP4 - Micro-organismes



Les données acquises dans les SP2, SP3 et SP4 permettent le calcul des indicateurs BEE « Habitats pélagiques »

PH1 : changement dans les rapports entre groupes fonctionnels planctoniques

PH2 : changement de biomasse du phytoplancton (PH2-Phytoplancton) et d'abondance du zooplancton (PH2-Zooplancton)

PH3 : changement dans la diversité du phytoplancton (PH3-Phytoplancton) et du zooplancton (PH3-Zooplancton)

Les données acquises dans les SP2, SP3 et SP4 alimentent d'autres critères de la DCSMM

#### Descripteur 5 – Eutrophisation

Critère D5C2 : concentration en chlorophylle-a dans la colonne d'eau

Critère D5C3 : proliférations d'algues toxiques dans la colonne d'eau

#### Descripteur 4 – Réseau trophique

Critère D4C1 : diversité de la guildes trophique

Critère D4C2 : équilibre de l'abondance entre guildes trophiques

Critère D4C3 : répartition par taille des individus au sein d'une guildes trophique

Critère D4C4 : productivité de la guildes trophique.

Figure 2 : Représentation schématique du PdS « Habitats pélagiques » au 2<sup>nd</sup> cycle et liens avec les descripteurs et critères de la DCSMM

Certaines des données acquises dans les Sous-Programmes du PdS « Habitats pélagiques » alimentent d'autres PdS. Ainsi, les données acquises dans le SP1-Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie sont partagées avec les PdS des Descripteurs D7-Conditions Hydrographiques et D5-Eutrophisation.

Le **SP2-Phytoplancton** comprend des dispositifs de suivi transversaux avec le SP correspondant du PdS « Eutrophisation » et certains des paramètres (abondance totale, production primaire, paramètres photosynthétiques) alimentent des critères transversaux au D4-Réseau trophique (**Tableau 3**).

**Tableau 3. Structuration du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle en Sous-Programmes (SP), liens avec les paramètres de surveillance définis selon l'arrêté 2015<sup>4</sup>. Les liens avec les autres PdS et/ou descripteurs de la DCSMM sont indiqués**

SOUS-PROGRAMMES	PARAMETRES SELON ARRETE 2015	LIENS INTER-DESCRIPTEURS
<p><b>SP1 – Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie</b></p>	<p><b>Paramètres climatologiques</b> Vitesse et direction des vents, température de l'air, pluviométrie, pression atmosphérique</p> <p><b>Paramètres hydrodynamiques</b> Courantologie (vitesse et direction des courants, stratification de la colonne d'eau), vagues ou états de mer, marée</p> <p><b>Paramètres hydrologiques</b> Température et salinité de la colonne d'eau</p> <p><b>Paramètres descriptifs de la concentration en particules au fond et en surface</b> Turbidité, matières en suspension, matière organique, matière minérale, POC, PON, <sup>13</sup>C, <sup>15</sup>N, POP, concentration en particules par spectre de taille BSi, lumière disponible pour la photosynthèse PAR</p> <p><b>Paramètres descriptifs de l'acidité ou alcalinité du milieu</b> pH, pCO<sub>2</sub>, carbone inorganique dissous</p> <p><b>Oxygène dissous</b></p> <p><b>Concentration en nutriments</b> Nutriments inorganiques NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, NID, PO<sub>4</sub>, Si[OH]<sub>4</sub> Nutriments organiques dissous (C, N, P)</p> <p><b>Concentration en azote total et phosphore total dans l'eau et le sédiment</b></p> <p><b>Rapports stœchiométriques de Redfield et Bzrezinski</b></p>	<p><b>PdS Changements Hydrographiques (D7)</b></p> <p><b>PdS Eutrophisation (D5)</b></p>
<p><b>SP2 – Phytoplancton</b> <b>SP3 – Zooplancton</b> <b>SP4 – Micro-organismes</b></p>	<p><b>Diversité biologique</b> du phytoplancton et du zooplancton (espèces et/ou grands groupes taxinomiques)</p> <p><b>Abondance totale</b> du phytoplancton et du zooplancton, par taxon, par groupe fonctionnel et/ou classe de taille</p> <p><b>Biomasse totale</b> du phytoplancton et du zooplancton, par taxon, par groupe fonctionnel (le cas échéant, spectre de taille)</p> <p><b>Production primaire</b> du phytoplancton / Paramètres photosynthétiques</p>	<p><b>Descripteur 4-Réseau trophique</b></p> <p><b>PdS Eutrophisation (D5)</b></p>

### 1.3. Principaux dispositifs de suivi mobilisés

Le PdS « Habitats pélagiques » s'appuie principalement sur des dispositifs de suivis existant dans les eaux côtières qui répondent aux besoins d'autres directives (Directive Cadre sur l'Eau, DCE), aux conventions de mers régionales (OSPAR, Convention de Barcelone) et qui permettent une couverture de l'ensemble des sous-régions marines. Pour combler les lacunes de données dans les zones au large, moins fréquemment prospectées, ainsi que dans les zones sous influence des panaches fluviaux, des **approches complémentaires** croisant l'acquisition de données *in situ* (par méthodes classiques et innovantes), l'analyse d'images satellites et la modélisation sont mises en œuvre. Cette combinaison d'approches permet l'acquisition de données relatives aux paramètres environnementaux, à la biomasse chlorophyllienne dans toutes les SRM de la côte au large. Par

<sup>4</sup> Arrêté du 28 avril 2015 relatif aux critères et méthodes pour l'élaboration et la mise en œuvre du programme de surveillance du plan d'action pour le milieu marin. NOR:DEVL1425248A

contre, pour certaines composantes (diversité du phytoplancton, du zooplancton et des micro-organismes), les données acquises sur les dispositifs de suivi du PdS sont plus hétérogènes dans l'espace (certaines SRM sont mieux couvertes que d'autres) et le temps (séries temporelles irrégulières ou très basse fréquence d'acquisition).

Les principaux dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » sont décrits de manière succincte dans les parties suivantes. Ils seront revus en détails dans les différentes sections de cette annexe (sections 2, 3 et 5) et dans le document joint (« **Fiches dispositifs PdS Habitats pélagiques-Annexe 7** »).

- Le **SP1-Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie** permet l'acquisition dans toutes les SRM (de la côte au large) de **données contextuelles** (température, salinité, éléments nutritifs, oxygène dissous), partagées avec les PdS « Changements hydrographiques » et « Eutrophisation » (**Figure 2, Tableau 2**). Ces données proviennent de mesures *in situ* acquises à basse fréquence (cf encart ci-dessous) sur les réseaux de surveillance nationaux et régionaux (e.g. réseaux régionaux de suivis de nutriments, réseaux REPHY surveillance, SOMLIT<sup>5</sup>, RESOMAR-Pelagos, etc...).

Certains paramètres sont suivis à des échelles temporelles plus fines grâce aux systèmes de mesures automatisés (réseau de bouées instrumentées) et peuvent, pour certains, être estimés à l'aide de l'analyse d'images satellites (dans la couche de surface) ou de la modélisation couplée hydrodynamisme/biogéochimie. Des données contextuelles sont également acquises *in situ* au large lors de campagnes dédiées et lors de l'optimisation des campagnes halieutiques de l'Ifremer.

#### **Basse fréquence/Haute fréquence**

Les données acquises à basse fréquence s'expriment à échelle mensuelle (fréquence mensuelle ou bimensuelle voire hebdomadaire).

Les données haute fréquence se réfèrent à une échelle temporelle infra-journalière jusqu'à l'ordre de la minute. Les systèmes à haute résolution (e.g. bouées instrumentées, ferrybox) permettent l'acquisition de données à des fréquences < 10 à 20 min.

A noter que dans le texte, il pourra être fait état de données acquises à très basse fréquence. Il s'agit dans ce cas de données acquises entre 1 et 4 fois par an.

- La surveillance du **phytoplancton (SP2)** permet l'acquisition de données relatives à la biomasse chlorophyllienne (concentration en chlorophylle-*a*) et à la structure des communautés phytoplanctoniques (diversité, principaux groupes fonctionnels, structure de taille) sur des dispositifs communs au PdS « Eutrophisation ». Elle s'appuie principalement sur :

- les réseaux PHYTOBS et REPHY-surveillance mis en place dans la zone côtière pour répondre aux besoins de la DCE,

- les réseaux de suivis existants hors DCE comme par exemple, le suivi des communautés phytoplanctoniques réalisé par le Parc Naturel Marin d'Iroise (PNMI) en SRM Mers Celtiques (MC), le suivi de la biomasse phytoplanctonique (chlorophylle-*a*) réalisé par dans le cadre du SOMLIT, du RESOMAR-Pelagos, et du Réseau MOOSE en SRM Méditerranée Occidentale (MO),

- les campagnes en mer (campagnes DCSMM dédiées habitats pélagiques campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM, campagnes annuelles du réseau MOOSE). Les **campagnes océanographiques au large étant moins fréquentes (1 à 4 fois par an par sous-région marine)**, les données récoltées visent à calibrer et à valider les estimations issues de la **télé-détection spatiale** et de la **modélisation numérique**. La combinaison de l'ensemble de ces dispositifs de suivi permet une couverture spatiale côte/large de l'ensemble des SRM pour le paramètre « chlorophylle-*a* ». Les

<sup>5</sup> SOMLIT : Service d'Observation du Milieu Littoral (<http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>)

données relatives aux communautés phytoplanctoniques (abondance et diversité) sont beaucoup plus hétérogènes dans l'espace. On note en effet une prévalence de la surveillance dans les eaux côtières en raison de l'existence de dispositifs historiques comme le REPHY ou le RESOMAR-pelagos. Dans le temps, l'hétérogénéité des données est associée à l'acquisition à très basse fréquence au large *versus* une fréquence mensuelle ou bimensuelle à la côte, et à l'acquisition de séries temporelles dégradées par le manque de données dans le cas de conditions météorologiques défavorables ou d'absence d'expertises permettant les analyses taxinomiques.

Ces suivis sont complétés par des études à **haute fréquence temporelle** permettant le déploiement d'instruments spécifiques (Cytométrie en flux automatisée, appareils de mesure basés sur la fluorescence spectrale, e.g. AOA : *Algae Online Analyser* et Fluoroprobe ; FRRF<sup>6</sup>) lors de campagnes en mer ou sur des systèmes fixes (bouées, mouillages). Ces tests de déploiement d'instruments spécifiques ont pour l'instant essentiellement concernés les SRM Manche-Mer du Nord et Mers Celtiques. Ils ont permis de mieux suivre la dynamique des communautés phytoplanctoniques à la côte comme au large en fournissant des informations complémentaires concernant la variabilité spatio-temporelle de l'abondance du phytoplancton et de ces grands groupes fonctionnels (e.g. diatomées *versus* dinoflagellés ; phytoplancton de grande taille *versus* phytoplancton de petite taille<sup>7</sup>), et en permettant de considérer les paramètres photosynthétiques pour estimer la production primaire (en lien avec le Descripteur 4).

- Le **SP3** vise à caractériser la composition et la distribution des communautés du **zooplancton**. Il s'appuie sur le réseau de suivi RESOMAR-pelagos regroupant les données de suivis des stations marines Françaises dans les eaux côtières. L'acquisition de données au large est basée sur des systèmes d'échantillonnage éprouvés comme le Continuous Plankton Recorder (CPR) couvrant toutes les SRM sauf la Méditerranée occidentale, ou par des traits de filets à plancton réalisés au cours de campagnes dédiées et des campagnes halieutiques DCF optimisées. Les données récoltées au large doivent permettre de compléter l'analyse des données acquises en domaine côtier. Elles ont d'ores et déjà permis de développer des stratégies d'échantillonnage nationales standardisées pour certaines composantes comme le plancton gélatineux (e.g. pêche au chalut de méduses, cténaïres et salpes ; e.g. Aubert et al. 2018).

- Les actions relatives à la surveillance des **micro-organismes (SP4)** comprennent des développements méthodologiques pour tester/appliquer des techniques spécifiques comme la cytométrie en flux, l'imagerie automatisée et les approches moléculaires par séquençage. Ces travaux préliminaires et en particulier l'analyse des données existantes sont nécessaires avant d'envisager une stratégie de déploiement opérationnelle à l'échelle nationale. En conséquence, tous les dispositifs de suivi associés à ce SP sont des dispositifs candidats pour le second cycle. Il s'agit pour toutes les SRM, des données côtières issues de suivis réalisés par les laboratoires marins du RESOMAR, et des suivis cytométriques opérés dans le cadre du SOMLIT. L'acquisition de données sur les micro-organismes au large concerne certaines SRM couvertes par des campagnes existantes (Campagne MOOSE-GE en SRM MO ; campagnes dédiées Habitats pélagiques en SRM MMN et MC). Enfin, les développements méthodologiques réalisés au cours de projets de recherche internationaux (e.g. expéditions TARA), nationaux (projet AMI INDIGENE<sup>8</sup>) ou d'ateliers nationaux (e.g. Atelier Métabarcoding du RESOMAR-Pelagos) permettront des avancées certaines sur ces composantes au 2<sup>nd</sup> cycle.

---

<sup>6</sup> FRRF : Fast Repetition Rate Fluorometry – permet la mesure de la fluorescence et des paramètres photosynthétiques du phytoplancton

<sup>7</sup> Phytoplancton de petite taille appartenant au picoplancton (0,2-2µm) et au nanoplancton (2-20 µm, cf. Figure 1)

<sup>8</sup> INDIGENE : Données génétiques et indicateurs de biodiversité microbienne pélagique. AMI OFB 2019. Porteurs du projet : N. Simon et C. Jeanthon (Sorbonne univ. Station Biologique de Roscoff)

## 1.4. Principales perspectives

Les perspectives du programme thématique « Habitats pélagiques » sont présentées de manière détaillée dans les différentes parties de cette Annexe. Les principales orientations sont reprises ici et concernent les deux composantes, surveillance et évaluation, du programme thématique. Elles s'appuient sur la **feuille de route du PdS « Habitats pélagiques »**, structurée en **7 actions principales** listées ci-dessous (**Tableau 4**) et présentées en détails dans les dispositifs de suivi associés (cf. fichier « **Fiches dispositifs PdS Habitats pélagiques – Annexe 7** »).

**Tableau 4 : Principales actions de la feuille de route du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle et transversalité avec le PdS « Eutrophisation »** (✓ : transversal ; ✗ : non transversal).

CODE ACTION	INTITULE DE L'ACTION	ACTION TRANSVERSALE AU PdS EUTROPHISATION
05HP_Action1	Campagnes dédiées DCSMM (Recherche/Observation/Surveillance)	✓
05HP_Action2	Constitution d'un parc instrumenté DCSMM	✓
05HP_Action3.2 <sup>9</sup>	Développement d'indicateurs zooplancton gélatineux	✗
04HP_Action 4.2 <sup>10</sup>	Stratégie de suivi des micro-organismes	✗
05HP_Action5	Mobilisation/Pérennisation des données <i>in situ</i> contribuant au PdS « Habitats pélagiques »	✓
05HP_Action 6	Optimisation des campagnes halieutiques DCF	✓
05HP_Action 7	Définition d'une stratégie de suivi du zooplancton et constitution d'un réseau national zooplancton (ZONNET)	✗

Au 2<sup>nd</sup> cycle, les priorités qui seront données au programme thématiques « Habitats pélagiques » viseront principalement **à conserver les dispositifs de suivi dont les données ont été utilisées au 1<sup>er</sup> cycle et à analyser les données existantes, non utilisées lors de l'évaluation 2018 et/ou en cours d'acquisition.**

**Les travaux à mener sur le développement des indicateurs BEE sont importants et ils doivent s'appuyer sur des données acquises avant d'envisager des déploiements supplémentaires.** Certains travaux n'ont pas totalement aboutis au 1<sup>er</sup> cycle (e.g. campagnes DCSMM dédiées habitats pélagiques). Par ailleurs, l'analyse détaillée de certains dispositifs de suivi (e.g. Continuous Plankton Recorder ; campagnes halieutiques DCF optimisées) a permis d'identifier des actions à mener de manière prioritaire.

### 1.4.1. Orientations en termes de surveillance et d'acquisition de données

- **Lever les verrous d'accès aux données** pour les dispositifs de suivi non opérationnels relevant de contrats (e.g. IGA), de projets en cours (Suivi STARESO) et/ou pour lesquels il est nécessaire d'assurer une bancarisation régulière et pérenne (e.g. suivis du milieu pélagique dans les AMPs, suivi du PNMI ; cf.§.2.1.2).

<sup>9</sup> L'action 3.1 (Action3 du Cycle 1) correspondant à une mutualisation des réseaux de suivi REPHY/SOMLIT/RESOMAR pour le phytoplancton est terminée. Elle a donné lieu à la labellisation du Service National d'Observation PHYTOBS.

<sup>10</sup> L'action 4.1 (Action 4 du Cycle 1) correspondait à une étude de faisabilité pour compléter des dispositifs de suivi existants (nouveaux paramètres, nouvelles stratégies) a été supprimée. La priorité au 2<sup>nd</sup> cycle est en effet de s'appuyer sur l'analyse de données existantes avant d'envisager des déploiements complémentaires. Cette doit être adaptée à chaque dispositif de suivi, en fonction des SRM, des coordonnateurs de suivi, et ne peut être envisagée pour tout le PdS. Une partie de cette action est rattachée au PdS « Eutrophisation » : Complément (et extension ?) du réseau de bouées instrumentées de capteurs multiparamètres et/ou radiales côte-large pour les zones à enjeux (08EUTRO\_Action2)

- **Initier la surveillance des micro-organismes** en définissant des stratégies d'échantillonnage et d'analyses répondant aux spécificités des SRM. Ce travail s'appuiera prioritairement sur l'analyse par cytométrie en flux des données déjà acquises sur les réseaux de suivis nationaux (SOMLIT, RESOMAR-Pelagos ; cf.§.2.1.3.5). L'intégration de dispositifs de suivi existant hors DCSMM au 2<sup>nd</sup> cycle comme le réseau MOOSE (cf.§.2.1.3) permettra d'aborder les spécificités de l'écosystème méditerranéen.
- **Conserver les dispositifs relevant de techniques innovantes** comme les estimations issues des **images satellites** (cf.§.5.2.1) et la **modélisation couplée hydrodynamique/biogéochimie** (i) en poursuivant les travaux de recherche en façade Manche-Atlantique (cf.§. 2.1.2) et (ii) en initiant des approches concertées à l'échelle locale (SRM MO ; cf.§.2.1.4.3) comme européenne (suivis conjoints, développements technologiques) avec les autres états membres (cf.§.2.4.2.1 ; cf.§.2.4.2.2).
- Poursuivre les réflexions et travaux sur les **dispositifs candidats** afin de **définir les stratégies d'échantillonnage répondant aux spécificités en enjeux des SRM (approche spatiale, temporelle, paramètres d'intérêt ; cf.§.2.1.4.2)** et/ou de **valider la pertinence, en termes d'acquisition de données** (types de données, fréquences, approches comparatives), pour le calcul des indicateurs BEE. Cela correspond aux **campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM (cf.§.2.1.4.1), aux campagnes DCSMM dédiées aux habitats pélagiques(cf.§.2.1.4.2)**, aux données acquises par le biais du **Continuous Plankton Recorder (cf.§.2.1.4.4)**, et aux déploiements à définir pour les équipements acquis dans le cadre de la constitution du **parc instrumenté DCSMM (cf.§.2.1.4.2 et §.5.3.1)**.
- **Adopter des stratégies adaptatives** en couplant déploiement de techniques innovantes et prélèvements d'échantillons discrets pour des analyses 'classiques' (comptages, analyses pigmentaires), permettant la calibration/validation des observations et de manière plus générale, en définissant de manière concertée avec les acteurs de la recherche et de la gestion, **les conditions nécessaires aux déploiements opérationnels (cf. §.2.1.4.2)**.
- Suivre les **développements techniques et scientifiques** à l'échelle nationale et européenne réalisés dans les domaines de **l'imagerie automatisée (cf.§.5.3.2.)** et de la **biologie moléculaire (cf.§.5.3.3.)**.

#### 1.4.2. Orientations en termes d'évaluation

Les orientations en termes d'évaluation s'appuient principalement sur le constat de l'évaluation précédente et sur les discussions au sein des groupes de travail européen (e.g. ICG-COBAM OSPAR) et nationaux (ateliers du RESOMAR-Pelagos ; Copil S&T DCSMM ; GT DCE EL). Elles viseront à :

- **Intégrer les évolutions relatives aux échelles spatiales d'évaluation au-delà des eaux côtières (paysages marins ; cf.§.2.1.1.** L'utilisation d'une échelle spatiale commune permettra de **renforcer les liens inter-directives à l'échelle Européenne (OSPAR/DCSMM), les états membres s'appuyant sur des outils d'évaluation développés conjointement dans le cadre de projets et de groupes de travail (cf. §.2.5).** A l'échelle nationale, les liens **inter-descripteurs** seront également renforcés entre les producteurs de ces échelles d'évaluation (D7-Changevements hydrographiques) et les utilisateurs (D1-Habitats pélagiques et D5-Eutrophisation).
- **Poursuivre les développements conceptuels et numériques permettant d'opérationnaliser les indicateurs, et de fait, les dispositifs de suivi associés.** Cela concerne plus particulièrement les **dispositifs de suivi non opérationnels de surveillance en milieu côtier** (suivi DCE-REPHY surveillance, PHYTOBS, REPHY-Observation, données du RESOMAR-Pelagos, SOMLIT), et des dispositifs faisant appel à des techniques innovantes comme **l'analyse d'images satellite** ou la **modélisation couplée hydrodynamisme/biogéochimie**. Ces dispositifs ont l'intérêt de présenter des séries temporelles (ou rejeu de données) longues (> 10 ans), peu ou pas dégradées, et pour lesquelles les stratégies d'échantillonnage sont standardisées et les données qualifiées. **La non-opérationnalité de ces dispositifs relève strictement de la méthode de calcul des indicateurs BEE.** Dans ce contexte, les principaux développements nécessaires (cf.§.2.2.4.1) concernent la définition :

- de la **période de référence** par rapport à la période d'évaluation,
- de **seuils de significativité statistiques permettant de mettre en évidence des changements majeurs** dans la structure et/ou l'abondance des communautés planctoniques,
- de **seuils** permettant d'évaluer l'atteinte ou non du BEE pour chaque indicateur,
- de **méthodes d'agrégation et d'intégration spatiale pour les indicateurs communs** à l'échelle des masses d'eau côtière/paysages marins et d'un grand type d'habitat donné.

- **Réaliser les adaptations numériques nécessaires au calcul des indicateurs BEE (cf.§.2.2.4.2), voire adapter les indicateurs existants et/ou en proposer de nouveaux (cf.§.2.1.4.1 et §.2.2.4.2)** pour les dispositifs de suivi permettant l'acquisition de données à très basse fréquence ou au contraire, à haute fréquence. Ces travaux sont indispensables pour statuer sur le devenir (conservation, abandon, modification) de certains dispositifs candidats comme les campagnes halieutiques DCF optimisées DCSMM et les campagnes dédiées. Ils s'inscriront dans une volonté **d'harmoniser les méthodes de suivi et d'évaluation avec d'autres directives comme la DCE pour certaines composantes planctoniques (e.g. phytoplancton) tout en mobilisant davantage les données existantes (cf.§.2.2.4.3).**

- **La nécessité de mobiliser des experts référents en écologie microbienne** pour contribuer au développement d'une stratégie de surveillance au 2<sup>nd</sup> cycle et valider l'utilisation des données existantes dans le calcul des indicateurs « Habitats pélagiques » actuels (cf.§.2.1.4.5). Au-delà du second cycle, il sera indispensable d'intégrer la composante bactérienne dans les évaluations.

## 2. Analyse globale des préconisations pour le PdS DCSMM 2<sup>nd</sup> cycle

### 2.1. Analyse globale des dispositifs

L'analyse globale des dispositifs de suivi pour le 2<sup>nd</sup> cycle a été réalisée selon trois modalités qui seront utilisées dans les parties suivantes (**Tableau 5 ; Figure 3**).

1/ La modalité « *Dispositif opérationnel* » est utilisée quand, pour un dispositif donné, la méthode d'échantillonnage est stabilisée (i.e. couverture spatio-temporelle, protocole d'échantillonnage, bancarisation...) et que les données collectées ont renseigné, et/ou pourront renseigner, un indicateur d'ores et déjà opérationnel du BEE ou des OE. Lorsqu'un dispositif renseigne plusieurs indicateurs, il est considéré comme opérationnel s'il l'est au moins pour un indicateur.

2/ La modalité « *dispositif non opérationnel* » se réfère à un dispositif dont la méthode d'échantillonnage n'est pas stabilisée et/ou dont les indicateurs BEE/OE ne sont pas opérationnels. Les actions à mettre en œuvre pour ces dispositifs concernent des développements méthodologiques (méthode d'échantillonnage, développements d'indicateurs BEE/OE) en vue de rendre le dispositif opérationnel à court terme (3 ans). Les dispositifs de suivi non-opérationnels concernent uniquement des dispositifs déjà existants, soit au titre des PdS DCSMM 1<sup>er</sup> cycle (par exemple un nouveau dispositif créé et mis en œuvre dans le cadre des PdS 1<sup>er</sup> cycle), soit au titre d'une autre directive. Tous les dispositifs de suivi à créer dans le cadre des PdS 2<sup>nd</sup> cycle relèvent des dispositifs candidats.

3/ La modalité « *dispositifs candidats* » concerne tous les dispositifs de suivi qui ne relèvent pas des points précédents. Il peut s'agir, par exemple, d'un dispositif à créer, d'un dispositif exploratoire (à l'état d'étude) ou d'un dispositif existant mais dont la pertinence pour la DCSMM est à approfondir.

**Tableau 5 : Méthode de classification des dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle en fonction de l'opérationnalité de la stratégie d'échantillonnage (déploiement) et de l'opérationnalité des indicateurs BEE.**

OPERATIONNALITE DU DEPLOIEMENT	OPERATIONNALITE DES INDICATEURS	CLASSIFICATION FINALE DU DISPOSITIF
X	X	Opérationnel
X	0	Non opérationnel
0	X	Non opérationnel
0	0	Candidat

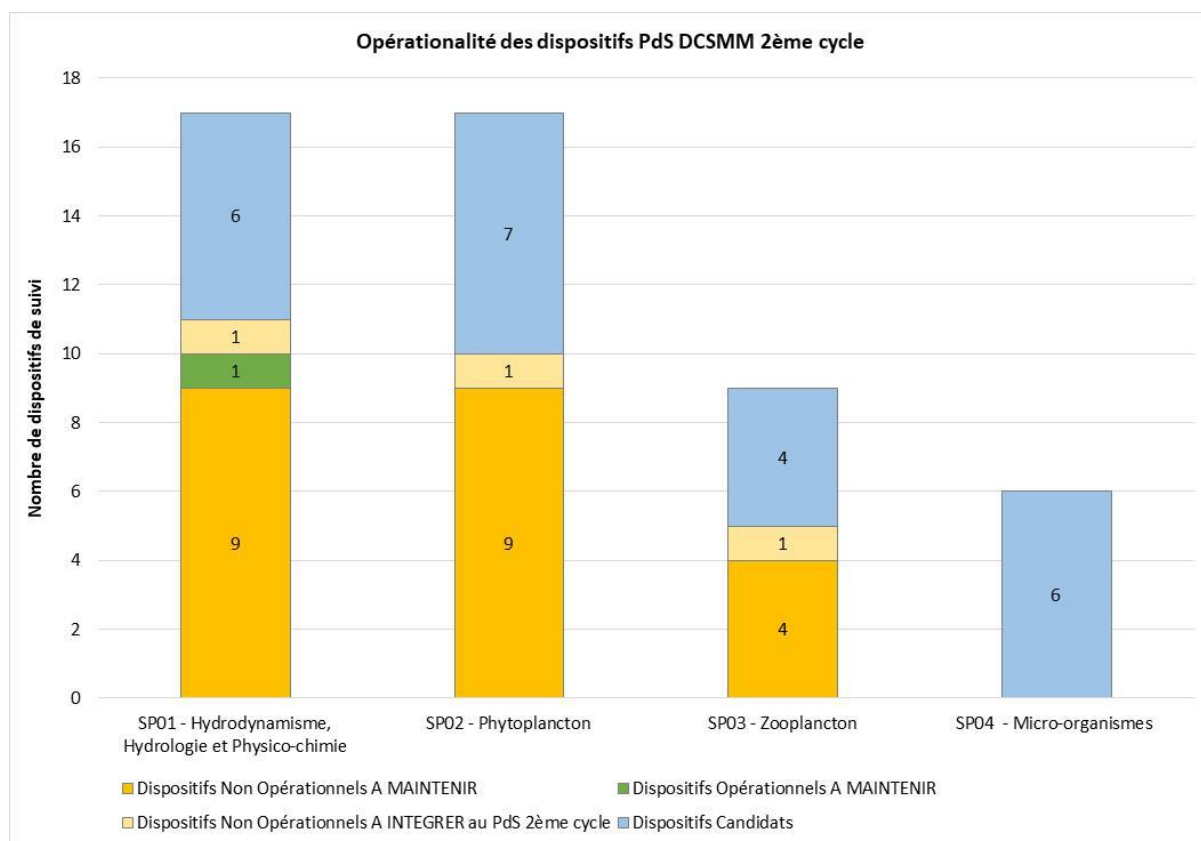
L'opérationnalité des indicateurs BEE fait suite aux travaux menés par la coordination BEE (Ifremer) et l'appui des responsables thématiques (RT) et de surveillance (RS). Cette analyse a été réalisée au cours de l'année 2019 en considérant 2 axes d'évaluation :

- un axe « *données* » (score total sur 6 points) considérant le nombre de données disponibles, leur pertinence, leur accessibilité et leur représentativité spatiale et temporelle dans les différentes SRM ;
- un axe « *méthodes* » (score total sur 5 points) intégrant les méthodes de calcul au sens strict, les seuils (établis, existants ou à développer).

Dans la suite de ce rapport, un indicateur BEE est considéré comme opérationnel si le score relatif à l'opérationnalité de la méthode d'évaluation est  $\geq 3/5$ . **A noter que pour l'ensemble des indicateurs BEE du PdS « Habitats pélagiques » (PH1, PH2 et PH3), la méthode et/ou le seuil sont en développement ou à développer. En conséquence, et sauf exception, l'ensemble des dispositifs de suivi associés seront non opérationnels ou candidats.**

Ainsi sur les 17 dispositifs de suivi que compte le PdS « Habitats pélagiques » au 2<sup>nd</sup> cycle, **la majorité des dispositifs (59% ; n=10) sont non opérationnels (à maintenir et/ou à intégrer) au 2<sup>nd</sup> cycle**, et correspondent à des dispositifs existants du 1<sup>er</sup> cycle (Figure 3). Le PdS « Habitats pélagiques »

comprend ensuite **6 dispositifs de suivi candidats** (35%) et **un dispositif opérationnel à maintenir** (soit 6% du total des dispositifs de suivi).



**Figure 3 : Opérationnalité des dispositifs de suivis par Sous-Programmes pour le PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle. A noter que certains dispositifs de suivi sont comptés dans chacun des SP qu'ils alimentent et sont donc dénombrés plusieurs fois dans cette figure.**

Les intitulés de certains dispositifs de suivi ont été remaniés au 2<sup>nd</sup> cycle. La liste des anciens *versus* nouveaux intitulés de dispositifs est présentée en **Annexe 1**.

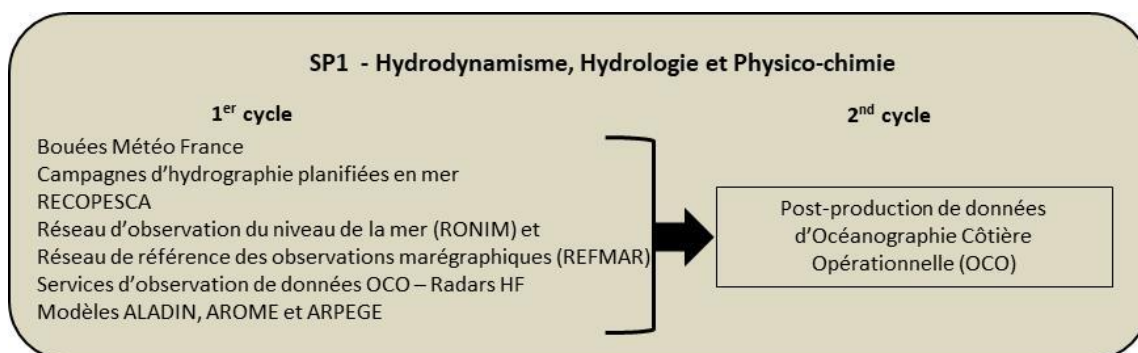
### 2.1.1. Dispositif opérationnel à maintenir pour l'établissement de l'échelle spatiale d'évaluation du BEE (paysages marins)

Au sein du **SP1-Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie**, le dispositif de suivi intitulé « **Post-production de données d'océanographie côtière opérationnelle (OCO)** » est opérationnel pour l'acquisition de données contextuelles (ou données socles) et sera maintenu au prochain cycle. Il regroupe l'ensemble des dispositifs de suivi transversaux au PdS « Changements hydrographiques » (Descripteur 7) permettant l'acquisition de données hydrodynamiques (température de surface, courants, régimes des vents, hauteur d'eau, etc.) collectées par les bouées Météo France, lors des campagnes d'hydrographie et d'océanographie planifiées (OCO), par les réseaux d'observation marégraphiques (RONIM, REFMAR), par les réseaux de capteurs instrumentés (RECOPESCA) ou par le biais de modèles météorologiques (Aladin, Arome et Arpège ; **Figure 4**).

Ce dispositif contribue à la définition des **paysages marins**, entités spatio-temporelles homogènes du point de vue de leur fonctionnement hydrologique et hydrodynamique. Ces paysages marins ont été élaborés par les responsables thématiques (RT) du D7-Changements hydrographiques à partir d'une analyse géostatistique de 12 variables d'intérêt issues du modèle HYCOM<sup>11</sup> (profondeur de la couche de mélange, déficit d'énergie potentielle, température de surface, salinité de surface, moyenne de

<sup>11</sup> <https://www.hycom.org/>

courant de marée,... ; Tew-Kai et al. 2015 ; Cachera et al. 2018 ; Tew-Kai et al. 2020). Au total, au 1<sup>er</sup> cycle, il existait 10 paysages marins pour la région Manche-Atlantique et 7 paysages marins pour la Méditerranée. Ils ont constitué l'échelle spatiale d'évaluation du D1-Habitats pélagiques (Duflos et al. 2018) dans les eaux localisées au-delà de la bande côtière (> 1 mille nautique).



**Figure 4 : Composition du dispositif de suivi « Post-Production de données océanographique côtière opérationnelle (OCO) » au 2<sup>nd</sup> cycle.** La description détaillée des dispositifs existants au 1<sup>er</sup> cycle est réalisée dans l'Annexe 7 du PdS « Changements hydrographiques ».

Cette utilisation des paysages marins ou régions éco-hydrodynamiques permet :

- de **mobiliser et d'utiliser davantage les données contextuelles**, peu ou pas utilisées au 1<sup>er</sup> cycle, et ceci, sans coûts supplémentaires pour le PdS « Habitats pélagiques ». Les données environnementales issues de ces dispositifs (température, salinité, irradiance, régimes des vents) constituent des aides à l'interprétation, essentielles à la compréhension de tendances évolutives, et à l'identification d'évènements extrêmes (e.g. tempête, sécheresse) pouvant avoir lieu pendant les périodes d'évaluation. Les forçages climatiques à échelle globale et locale sont rapportés pour influencer l'hydrologie des milieux (e.g. oxygène dissous, formes de nutriments disponibles), et à terme, la distribution des organismes voire leur *preferendum* écologique (i.e. niche écologique ; cf. §. 1.1.1). Ces paramètres seront donc particulièrement importants pour interpréter les indicateurs BEE « Habitats pélagiques », basés sur des changements de rapports entre groupes fonctionnels du plancton (PH1), d'abondance ou de biomasse (PH2) et de diversité (PH3) ;

- de **renforcer les liens inter-descripteurs à l'échelle nationale** entre les fournisseurs de ces unités d'évaluations des SRM (D7-Changements hydrographiques), et les utilisateurs (D1-Habitats pélagiques ; D5-Eutrophisation ; cf. Annexe 7 Pds « Eutrophisation »).

- de **renforcer les liens des dispositifs de suivi des descripteurs 1, 5 et 7 avec les politiques européennes**, et en particulier avec la convention OSPAR, en utilisant des outils établis conjointement dans le cadre de groupes de travail (ICG-EUT<sup>12</sup> et ICG-COBAM<sup>13</sup>). Au-delà des eaux côtières, l'utilisation des paysages marins du D7 est prévue dans la révision de la procédure commune d'OSPAR (TG-COMP4). Elle sera mutualisée avec l'utilisation des régions éco-hydrodynamiques définies au cours du projet JMP-EUNOSAT<sup>14</sup>. La définition de ces régions est basée sur la modélisation pour les paramètres physiques, et intègre les produits dérivés des images satellites pour la biomasse phytoplanctonique et la production primaire.

### 2.1.2. Analyse des dispositifs non opérationnels à maintenir au 2<sup>nd</sup> cycle

**Neuf dispositifs de suivi** communs au **SP1-Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie** et au **SP2-Phytoplancton** sont « non opérationnels à maintenir au 2<sup>nd</sup> cycle » (**Tableau 6**). Sur ces neuf

<sup>12</sup> Groupe de correspondance intersessionnel EUTrophisation

<sup>13</sup> Groupe de correspondance intersessionnel pour la Coordination de l'évaluation de la surveillance de la biodiversité

<sup>14</sup> JMP-EUNOSAT: Joint Monitoring Program of the Eutrophication of the North Sea with Satellite data.

dispositifs de suivi, **quatre permettent l'acquisition de données relatives aux communautés zooplanctoniques (SP3).**

Les neuf dispositifs communs aux SP1 et SP2 correspondent à :

1/ des **dispositifs de suivi nationaux de surveillance en milieu côtier** (suivi DCE-REPHY surveillance, PHYTOBS, REPHY-Observation, données du RESOMAR-Pelagos, SOMLIT), et des dispositifs faisant appel à des techniques innovantes comme **l'analyse d'images satellite** ou la **modélisation couplée hydrodynamisme/biogéochimie**. Ces dispositifs ont l'intérêt de présenter des séries temporelles (ou rejeu de données) longues (> 10 ans), peu ou pas dégradées, et pour lesquelles les stratégies d'échantillonnage sont standardisées et les données qualifiées. **La non-opérationnalité de ces dispositifs relève strictement de la méthode de calcul des indicateurs BEE (e.g. nécessité de définir des seuils et des méthodes d'intégration).**

Les données extraites du **modèle ECO-MARS3D** ont permis de suivre l'évolution conjointe du rapport du groupe fonctionnel diatomées *versus* dinoflagellés (en termes de contribution à la chlorophylle-*a* totale) dans les SRM GdG Nord et GdG Sud, et ont démontré leur potentiel pour renseigner l'un des indicateurs BEE (PH1). Au cours de l'année 2018, des travaux de mise à jour du modèle ont été entrepris dans le cadre d'une prestation Ifremer - Actimar afin de répondre aux besoins d'évaluation du BEE de la DCSMM. **Des améliorations ont ainsi été apportées pour aboutir à une meilleure estimation de certains paramètres au large, dans la SRM GdG Sud (e.g. Chlorophylle-*a*).** Au 2<sup>nd</sup> cycle, il conviendra de confirmer la pertinence du modèle ECO-MARS3D dans les autres SRM de la façade Manche-Atlantique (e.g. SRM MC et MMN) pour estimer certains indicateurs BEE (e.g. PH1, PH2-changements d'abondance zooplanctonique et/ou de biomasse phytoplanctonique).

2/ des **dispositifs de suivi et ciblant certaines SRM**. Certains de ces dispositifs de suivi sont communs avec les PdS « Eutrophisation » et « Changements hydrographiques » et présentent des problèmes d'accès aux données du fait d'une bancarisation irrégulière, d'un accès restreint à certaines périodes, ou de raisons contractuelles. Peuvent être cités dans ce cadre :

- Les suivis associés à la **surveillance écologique des centrales nucléaires de production d'électricité (Suivis IGA [27]) sur les sites de Paluel, Penly, Flamanville et Gravelines (SRM MMN)**. Ils sont financés à 100 % par EDF et le pilotage est assuré par Ifremer pour la période 2019-2024. Ce dispositif de suivi permet d'acquérir des données alimentant les SP1, SP2 et SP3 du PdS « Habitats pélagiques » et directement utilisables (en termes de paramètres, de fréquence d'acquisition et de longueur de séries temporelles) pour les calculs des indicateurs BEE. A l'heure actuelle, ces dispositifs sont totalement opérationnels pour répondre aux besoins d'évaluation du D1-Habitats pélagiques. Cependant, **l'accès aux données est restreint et des discussions sont en cours (prise de décision en juillet 2020).**

- Le suivi réalisé en Baie de Calvi par la station de recherches océanographiques et sous-marines (**STARESO [32]**). Dès le 1<sup>er</sup> cycle, ce dispositif de suivi est apparu comme pertinent pour intégrer les PdS « Eutrophisation » et « Habitats pélagiques ». La station de suivi présente peu de pressions anthropiques (i.e. système à faible ruissellement) et sert de référence pour la DCE. Les paramètres acquis (nutriments, chlorophylle-*a*) tout comme la fréquence (bi-hebdomadaire à mensuelle) et la longueur des séries temporelles (depuis 1979) sont en adéquation avec la structure des SP1 et SP2 du PdS « Habitats pélagiques ». Néanmoins, certaines des séries chronologiques relatives aux communautés phytoplanctoniques (concentrations en chlorophylle-*a* et groupes pigmentaires) ne couvrent que la période 1999-2011. Elles sont disponibles sur l'infrastructure de données PANGAEA<sup>15</sup> et sont identifiées par DOI (Digital Object Identifier). Les données plus récentes ne sont pas accessibles à l'heure actuelle car en cours de publication ou non bancarisées. **Des discussions sont envisagées avec les responsables de STARESO pour identifier les actions à mener afin d'accéder à ces données pouvant alimenter les futures évaluations.** Pour le zooplancton, les échantillons

---

<sup>15</sup> <https://www.pangaea.de/>

collectés ont été analysés par compteur optique de plancton (OPC<sup>16</sup>) et les séries de données disponibles sont ponctuelles (2012-2013) et/ou hétérogènes (e.g. séries discontinues). L'OPC permet l'acquisition de mesures en biovolume (mm<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>). Or, les indicateurs BEE actuels sont développés pour recevoir des données d'abondance (ind.m<sup>-3</sup>). Il sera donc nécessaire d'étudier la pertinence des données acquises (séries temporelles, types de données) pour intégrer le SP3-Zooplancton du PdS « Habitats pélagiques ». Ce dispositif reste néanmoins utilisable pour les autres SP (SP1 et SP2) du Pds.

**Tableau 6 : Dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle « NON OPERATIONNELS A MAINTENIR » et communs aux SP1, SP2 et SP3.** Sont indiqués l'utilisation des données pour les tests numériques dans le rapport d'évaluation 2018 (✓ : utilisé ; ✗ : non utilisé), les Sous-Programmes associés, les SRM concernées, la transversalité avec d'autres descripteurs DCSMM (D5 EUTRO – Eutrophisation ; D7 C. HYDRO : Changements hydrographiques) et les liens vers la description détaillée de chaque dispositif. SP1 : Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie ; SP2 : Phytoplancton ; SP3 : Zooplancton

DISPOSITIF DE SUIVI	DONNEES MOBILISEES EN 2018	SP ASSOCIE	MMN	MC	NORD GdG	SUD GdG	MO	DISPOSITIF TRANSVERSAL	DETAILS
Suivis DCE - REPHY Surveillance, PHYTOBS et réseaux régionaux/locaux	✓	SP1 SP2	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO D7 – C. HYDRO	[1]
Suivis stationnels REPHY Observation (hors DCE)	✓	SP1 SP2	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO D7 – C. HYDRO	[5]
Modèle ECO-MARS3D	✓	SP1 SP2	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO D7 – C. HYDRO	[9]
Observations satellitaires	✓	SP1 SP2	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO D7 – C. HYDRO	[13]
Suivis SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral)	✓	SP1 SP2	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO D7 – C. HYDRO	[16]
RESOMAR – Pelagos	✓	SP1 SP2 SP3	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO D7 – C. HYDRO	[21]
IGA - suivis associés aux rejets des centrales nucléaires	✗	SP1 SP2 SP3	X	-	-	-	-	D5 – EUTRO D7 – C. HYDRO	[27]
Suivi STARESO - Baie de Calvi	✗	SP1 SP2 SP3	-	-	-	-	X	D5 – EUTRO	[32]
Suivis du milieu pélagique des AMPs (Parcs Naturels Marins ; Sites N2000 ; etc...)	✗	SP1 SP2 SP3	-	X	-	-	-	D5 – EUTRO	[36]

Le suivi réalisé en SRM MC par le Parc Naturel Marin d'Iroise (PNMI ; [36]) depuis 2010 permet de disposer de données couvrant les SP1, SP2 et SP3 du PdS « Habitats pélagiques ». Cependant, pour les données hydrologiques et physico-chimiques, une mise à jour de la bancarisation sous Quadrige<sup>2</sup> a été réalisée en janvier 2019. Les données relatives au zooplancton sont disponibles sur demande sous l'application web ECOTAXA<sup>17</sup>. Par contre, les données relatives aux communautés phytoplanctoniques n'ont, à ce jour, pas été bancarisées. En raison de contraintes d'emploi du temps et de la nécessité de suivre une formation dédiée à l'utilisation de Quadrige<sup>2</sup>, la bancarisation des données n'a pas été régulière. La création de l'interface QuadriLabo et l'utilisation des pro-formats proposés par le RESOMAR-Pelagos devraient permettre de lever ces freins au 2<sup>nd</sup> cycle. Certains parcs naturels ont la volonté de développer des suivis hydro-biologiques pour répondre à leur plan de

<sup>16</sup> Optical Plankton Counter

<sup>17</sup> <https://ecotaxa.obs-vlfr.fr/>

gestion et à la politique nationale des Aires Marines Protégées (e.g. Estuaires Picards et Mers d'Opale ; Parc naturel du Golfe du Lion). Dans ce contexte, des discussions ont été amorcées en 2018 et 2019 au sein du Réseau Thématique « Qualité de l'Eau » de l'ex-AFB (RTQE) afin **d'accompagner au mieux ces démarches pour que les données acquises puissent répondre aux besoins des directives (directive Aires Marines Protégées, DCE et DCSMM).**

**La mobilisation des données *in situ* contribuant au programme de surveillance sans modification est une action du PdS « Habitats pélagiques » qu'il faut poursuivre au second cycle (05HP\_Action5).** Il est fondamental d'examiner la faisabilité d'intégrer ces données de manière régulière et pérenne dans des bases de données existantes alimentant les PdS « Habitats pélagiques », « Changements hydrographiques » et « Eutrophisation » (e.g. base de données du RESOMAR-Pelagos, Quadrige<sup>2</sup>) et d'évaluer les coûts (humains et matériels) associés.

### 2.1.3. Le réseau MOOSE : un dispositif non opérationnel à intégrer au 2<sup>nd</sup> cycle

Le réseau MOOSE (**Mediterranean Ocean Observing System for the Environment** ; Coppola et al. 2019 ; [41]) est un dispositif transversal au PdS « Eutrophisation » qui s'appuie sur un système de stations fixes (lignes instrumentées, bouées de surface, radars, sémaphores), de plateformes mobiles (gliders, flotteurs profileurs) et de mesures et collectes d'échantillons réalisées à partir de navires de la flotte océanographique française (FOF). Les données acquises sont en accès libre dans les infrastructures de données nationales (ODATIS, SEXTANT) et Européennes (SeaDataNet). Les paramètres hydrodynamiques mesurés (courants, vents), hydrologiques et physico-chimiques (température, salinité, turbidité, nutriments, oxygène dissous) répondent aux besoins du **SP1-Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie** du PdS « Habitats pélagiques ». Les données relatives à la biomasse phytoplanctonique (concentration en chlorophylle-*a*) alimentent le **SP2-Phytoplancton** et l'indicateur PH2-phytoplancton relatif aux changements de la biomasse phytoplanctoniques. Les communautés **zooplanctoniques (SP3)** sont récoltées par filet à plancton et l'analyse d'images automatisées (e.g. ZooScan ; cf.§.2.1.4.1) 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 fine des communautés zooplanctoniques comme cela est possible par analyse optique à la loupe binoculaire. **Il conviendra de vérifier quels seront les impacts de l'intégration de données taxinomiquement dégradées (au niveau du groupe ou du genre) sur l'indicateur de changement de diversité du zooplancton (PH3).**

La fréquence d'acquisition des données varie en fonction des composantes du réseau (horaire, journalière, mensuelle à annuelle). Les campagnes annuelles MOOSE-GE sont présentées comme un soutien logistique potentiel aux actions de surveillance (Devreker et Lefebvre 2018b). Au regard des PdS « Habitats pélagiques » et « Eutrophisation », les besoins d'acquisition de données au large sont totalement couverts par la stratégie d'échantillonnage déployée lors des campagnes MOOSE-GE. Ces campagnes annuelles pourront être complétées par les campagnes mensuelles réalisées sur les trois sites DYFAMED, ANTARES et MOLA pour la maintenance des appareils automatisés, ce qui permettrait la collecte de données alimentant directement les indicateurs d'évaluation du BEE.

### 2.1.4. Les dispositifs candidats du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle

Le PdS « Habitats pélagiques » comprend **6 dispositifs candidats** correspondant à des dispositifs dont la pertinence est à approfondir au 2<sup>nd</sup> cycle (**Tableau 7 et Tableau 9**). Il s'agit ici de dispositifs pour lesquels :

1/ les stratégies d'acquisition de données sont définies et établies (e.g. couverture spatiale, paramètres échantillonnés) mais qui présentent des fréquences d'acquisition incompatibles avec les calculs des indicateurs BEE reposant actuellement sur des données acquises à fréquence mensuelle.

Peuvent être cités dans ce cadre le **réseau de bouées instrumentées** et les **campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM**.

2/ il est nécessaire à la fois, de **définir la stratégie d'échantillonnage, en termes de couverture spatiale**, et/ou de **valider la pertinence, en termes d'acquisition de données** (types de données, fréquence), pour le calcul des indicateurs BEE. Cela correspond aux **campagnes tests dédiées à la DCSMM**, à **certaines paramètres acquis sur les campagnes halieutiques DCF optimisées** pour la DCSMM et aux déploiements à définir pour les équipements acquis dans le cadre de la constitution du **parc instrumenté DCSMM (05HP\_Action 2)**.

3/ la pertinence des données doit être confirmée. Il s'agit des dispositifs associés à la modélisation couplée hydrodynamisme/biogéochimie en SRM MO.

4/ des réflexions sont en cours. Entrent dans cette catégorie les données phytoplanctoniques et zooplanctoniques acquises par le **Continuous Plankton Recorder (CPR)**, dont l'une des trajectoires en SRM MC, GdG Nord et Sud a été suspendue en 2017, faute de financement.

5 / la **surveillance n'a pas débutée au 1<sup>er</sup> cycle**. Sont concernés par cette catégorie tous les dispositifs de suivi relevant du **SP4-Micro-organismes** (hétérotrophes et mixotrophes).

**Tableau 7 : Dispositifs de suivi CANDIDATS du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle communs aux SP1, SP2 et SP3.** Sont indiqués l'utilisation des données pour les tests numériques dans le rapport d'évaluation 2018 (✓ : utilisé ; ✗ : non utilisé), les Sous-Programmes associés, les SRM concernées, la transversalité avec d'autres descripteurs DCSMM (D5 EUTRO – Eutrophisation ; D7 C. HYDRO – Changements hydrographiques) et les liens vers la description détaillée de chaque dispositif.  
SP1 : Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie ; SP2 : Phytoplancton ; SP3 : Zooplancton.

DISPOSITIF DE SUIVI	DONNEES MOBILISEES EN 2018	SP ASSOCIE	MMN	MC	NORD GdG	SUD GdG	MO	DISPOSITIF TRANSVERSAL	DETAILS
Réseau de bouées instrumentées de capteurs multiparamétriques	✗	SP1 SP2	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO D7 – C. HYDRO	[48]
Campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM	✗	SP1 SP2 SP3	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO	[53]
Campagnes DCSMM dédiées habitats pélagiques	✗	SP1 SP2 SP3	X	X	-	-	-	D5 – EUTRO	[61]
Modèle 3DVAR-OGSTM-BFM	✗	SP1 SP2 SP3	-	-	-	-	X	D5 – EUTRO	[77]
Modèle Méditerranéen	✗	SP1 SP2	-	-	-	-	X	D5 – EUTRO	[82]
Continuous Plankton Recorder (CPR)	✓	SP2 SP3	X	X	X	X	-	-	[85]

#### 2.1.4.1. Dispositifs dont la fréquence d'acquisition nécessitent des développements numériques

- Acquisition de données à haute fréquence sur points fixes

Les données acquises à haute fréquence par le biais du **réseau de bouées instrumentées de capteurs multiparamétriques [48]** sont pertinentes pour la DCSMM dès lors qu'elles permettent la mesure de paramètres hydrologiques (température, salinité, turbidité) et physico-chimiques (oxygène dissous) utiles à l'interprétation de la dynamique des communautés planctoniques. Les fréquences d'acquisition (< 20 min) sont totalement pertinentes avec les échelles temporelles de certains processus biologiques (e.g. efflorescences). Dans la mesure où certains capteurs permettent de mesurer la fluorescence, les données acquises pourraient contribuer, *via* des calibrations

chlorophylle-*a* versus fluorescence, au calcul de l'indicateur PH2-Phytoplancton (e.g. changement de la biomasse phytoplanctonique).

- Dispositif candidat à très basse fréquence d'acquisition : campagnes optimisées DCSMM

Les **campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM** (Baudrier et al. 2018 ; [53]) ont été identifiées au début du 1<sup>er</sup> cycle (2012) comme support potentiel de suivis complémentaires à la surveillance menée en routine, essentiellement ciblée vers les expertises halieutiques. L'optimisation des campagnes pour la DCSMM a été jugée prioritaire car elle permettait de collecter, à des coûts modérés, des données hydrologiques, physico-chimiques et biologiques (phytoplancton et zooplancton, dont le macroplancton gélatineux) au large, une partie des coûts étant déjà couverts au titre de la Politique Commune des Pêches (PCP ; Devreker et Lefebvre 2018b). La surveillance DCSMM a été déployée sur 6 campagnes (IBTS, PELGAS MEDITIS, PELMED, EVHOE et CGFS) dans les 4 SRM depuis 2016. Les stratégies d'échantillonnage et d'analyses sont clairement définies mais la catégorisation de ce **dispositif en candidat est liée à plusieurs éléments à savoir** :

1/ la **très basse fréquence d'acquisition des données (1 à 4 fois par an par SRM)**,

2/ le caractère **récent (< 4 ans) des séries acquises** et,

3/ la **nécessité de traiter les données acquises** pour évaluer leur pertinence pour le calcul des indicateurs BEE existants et/ou proposer le développement de nouveaux indicateurs. Cela concerne plus particulièrement les données de comptages et de détermination taxinomique du phytoplancton, du zooplancton (> 200 µm) et du macrozooplancton gélatineux (méduses et cténaïres > 20 mm) récolté par chalutage.

Le suivi et l'analyse taxinomique des communautés zooplanctoniques de gélatineux sont assurés sur toutes les façades, depuis 2015, selon un protocole harmonisé (Aubert et al. 2018) mis en œuvre lors des campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM. Il s'agit **du seul suivi, en France, du zooplancton gélatineux à large échelle, sachant que le manque de données sur ces organismes a, jusqu'à présent, limité l'élaboration d'indicateurs spécifiques dans le cadre de la DCSMM (McQuatters-Gollop et al. 2017 ; Aubert et al. 2018)**. La série de données acquises 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, et d'y associer les propriétés physico-chimiques (hydrologie, physico-chimie) et biologiques (phytoplancton et mésozooplancton<sup>18</sup>) de leur environnement.

**Cependant, un retour d'expérience réalisé en mars 2019 sur les campagnes halieutiques optimisées DCSMM a 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 (en proportion du nombre total compté) et/ou de leur biomasse (en proportion de poids total de la capture chalut). En l'état actuel, elles ne peuvent donc pas alimenter directement les indicateurs PH1 et PH2 basés sur des données quantitatives d'abondance. Des méthodes numériques de conversion doivent donc être développées pour aboutir à des données quantitatives.

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>, 5 mm de maillage ; Hosia et al.

<sup>18</sup> Le **mésozooplancton** (200 µm - 20 mm) est en général dominé par les copépodes planctoniques (80-95% de la biomasse; 70-95% de l'abondance, Turner 2004) et peut comprendre du plancton gélatineux de petite taille (cténaïres et cnidaires).

<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.

2017 ; Aubert et al. 2018). De fait, la pertinence des données acquises pour alimenter l'indicateur PH3 relatif au changement de la diversité planctonique peut être questionnée.

Dans ce contexte, il apparaît 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 permettra d'aboutir à (i) une meilleure compréhension de la dynamique saisonnière et interannuelle des communautés de gélatineux (taxinomie, spectre de taille, biomasse) à l'échelle des sous-régions marines. Ce projet permettra également de **(ii) proposer une ou des méthodes numériques permettant le calcul de données d'abondance** (quantitatives) à partir des données de chalut, **(iii) vérifier si les données obtenues peuvent alimenter les indicateurs du BEE, ou (iv) proposer un ou des indicateurs spécifiques au plancton gélatineux** (e.g. nouveaux indicateurs ou indicateurs dérivés OSPAR). Ces travaux sont envisagés dans le cadre d'une action dédiée du PdS « Habitats pélagiques » (05HP\_Action3 cycle2) et d'un projet R&D (IZOOGEL : Indicateurs ZOOplancton GELatineux) s'appuyant sur un partenariat avec les laboratoires halieutiques et environnement ressources d'Ifremer et Sorbonne Université.

Ces travaux numériques sur les communautés ciblées de plancton gélatineux pourront être adaptés aux données acquises sur les communautés phyto- et mésozooplanctoniques (> 200 µm ; cf. point suivant). **Ils sont essentiels pour décider du statut (i.e. conservation, adaptation(s), abandon) à attribuer à ce dispositif à basse fréquence au 2<sup>nd</sup> cycle.**

4/ la **nécessité d'harmoniser les méthodes d'analyses des communautés mésozooplanctoniques et d'évaluer leur pertinence/complémentarité pour répondre aux indicateurs PH-Zooplancton**. Les méthodes d'analyse du mésozooplancton diffèrent en fonction des campagnes halieutiques et des SRM. Ainsi, l'analyse d'images est privilégiée en SRM MMN, MC et GdG (Nord et Sud). Elle s'appuie sur des techniques éprouvées comme le ZooScan (campagnes IBTS et CGFS) et en cours de développement (ZOOCAM, campagnes PELGAS et EVHOE ; Colas et al. 2018). En Méditerranée, les analyses se font sous loupe binoculaire ce qui amène à une détermination spécifique fine (par genre, espèces, voire stades).

Le **dénombrement et l'analyse des communautés zooplanctoniques sous loupe binoculaire** permettent d'acquérir des données relatives à l'abondance totale et spécifique des organismes (par groupes, genres et espèces) qui alimentent directement les indicateurs PH-Zooplancton (i.e. groupes fonctionnels, abondance et diversité). 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 (Plankton Identifier, Zooprocess, Zoo/PhytoImage) de reconnaissance et classification. Elles permettent l'analyse d'un nombre importants d'échantillons sur des zones étendues.

L'analyse d'images par **ZooScan** a déjà démontré sa pertinence pour évaluer l'abondance totale et le biovolume des communautés zooplanctoniques dans de nombreux écosystèmes (e.g. Gorsky et al. 2010 ; Vandromme et al. 2012 ; Uusitalo et al. 2016). Cet appareil fonctionne comme un scanner permettant la numérisation des échantillons de zooplancton en milieu liquide et utilise l'analyse d'image 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. **A ce titre, les données acquises peuvent directement intégrer le calcul d'un des rapports fonctionnels du PH1 (petits versus grands copépodes) et l'indicateur PH2-Zooplancton.**

Le **ZooCam** (Colas et al. 2018) est un couple instrument d'imagerie/logiciels d'analyse d'images, dont le but est d'offrir une **classification semi-automatisée** des organismes zooplanctoniques vivants 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 équivalent sphérique, ce qui limite l'intégration de nombreux organismes mésozooplanctoniques comme les stades copépodites et les larves d'organismes benthiques (e.g. cirripèdes, bivalves et gastéropodes). L'appareil apporte des mesures pertinentes pour les œufs de poissons commerciaux (nombre, stades de développement ; Colas et al. 2018) ce qui permettra d'alimenter un des 12 rapports entre groupes fonctionnels de l'indicateur PH1 (i.e. rapport plancton gélatineux *versus* larves et œufs de poissons ; cf. **Annexe 2**). **Cependant, des incertitudes subsistent sur les mesures d'abondance totale du zooplancton (jusqu'à 20% d'incertitude associée sur certains sites ; Colas et al. 2018) et ceci est particulièrement marqué pour les organismes de grande taille (méduses, appendiculaires, mysidacés) qui peuvent être localement très abondants.**

**Enfin, pour l'ensemble de ces équipements basés sur l'analyse d'images (ZooScan et ZooCam) de nombreuses 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 et qui ne correspondent pas à une vision 2D, mais 3D des organismes vivants. Il est peu probable que ces données puissent être utilisées pour évaluer la diversité des communautés zooplanctoniques.

**Pour les campagnes optimisées DCSMM, il sera donc nécessaire au 2<sup>nd</sup> cycle de surveillance de comparer les méthodes d'analyses sur des échantillons communs et dans différentes SRM afin de tenir compte des spécificités écologiques de chaque milieu. Cette analyse doit être envisagée pour aboutir à une harmonisation des stratégies d'échantillonnage et d'analyse du zooplancton.** Elle devra porter sur un nombre suffisant d'échantillons permettant des comparaisons statistiques robustes. De plus, compte tenu de la distribution hétérogène du zooplancton (en patch) et de la saisonnalité marquée des communautés, la comparaison des échantillons devra être établie à partir d'une acquisition à large échelle spatiale permettant d'intégrer des zones hydrologiques contrastées (gradient côte/large ; fronts ; panaches de dilution de fleuves), et sur une période de temps suffisamment longue (> 1 an). **Les résultats de ces travaux permettront de proposer une adaptation des stratégies d'échantillonnage et d'analyses en fonction des SRM.**

Dans l'attente de ces travaux, l'analyse des données déjà acquises permettra d'évaluer leur pertinence pour intégrer les indicateurs existants. En particulier, il serait intéressant :

- d'identifier, dans chaque SRM, les espèces et les groupes zooplanctoniques pour lesquels les incertitudes sont les plus importantes (en termes de dénombrement, d'identification, de mesures de biovolume et biomasse),
- d'évaluer l'effet de ces incertitudes sur le calcul des indicateurs (e.g. PH1 et PH2),
- et enfin, de tester l'effet de la dégradation taxinomique des données (par rapport à un comptage sous loupe binoculaire) sur le calcul de l'indicateur s'intéressant au changement de la diversité (PH3-Zooplancton).

**Les travaux à réaliser sur les communautés zooplanctoniques échantillonnées dans le cadre des campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM sont conséquents. Ils devront être planifiés à long terme et s'appuyer sur les experts nationaux.** Dans ce sens, les chercheurs et experts zooplanctonologues du RESOMAR-Pelagos ont la volonté de créer **un service national d'observation du zooplancton (ZONET, Zooplankton NETwork)**. Ces travaux ont permis d'aboutir jusqu'à présent :

- à la définition de stratégies d'échantillonnage (fréquence, méthode, préservation) et d'analyses standardisées et harmonisées. Les recommandations actuelles préconisent l'utilisation du ZooScan et/ou de la loupe binoculaire en fonction des objectifs recherchés. Les travaux relatifs aux outils moléculaires (cf. §.5.3.3) sont en développement et seront suivis par les partenaires du réseau.

- à l'édition de listes d'espèces cibles devant être suivies à minima et définies, d'une part pour la façade Manche-Atlantique et, d'autre part, pour la façade Méditerranée.

Les discussions au sein du groupe ZONET seront utiles pour orienter les stratégies de surveillance et d'analyses des composantes zooplanctoniques au 2<sup>nd</sup> cycle. Ces travaux s'appuieront sur l'organisation d'ateliers et de conférences régulières permettant d'échanger sur les développements techniques et scientifiques récents sur cette thématique.

#### 2.1.4.2. Dispositifs candidats nécessitant la définition d'une stratégie de surveillance

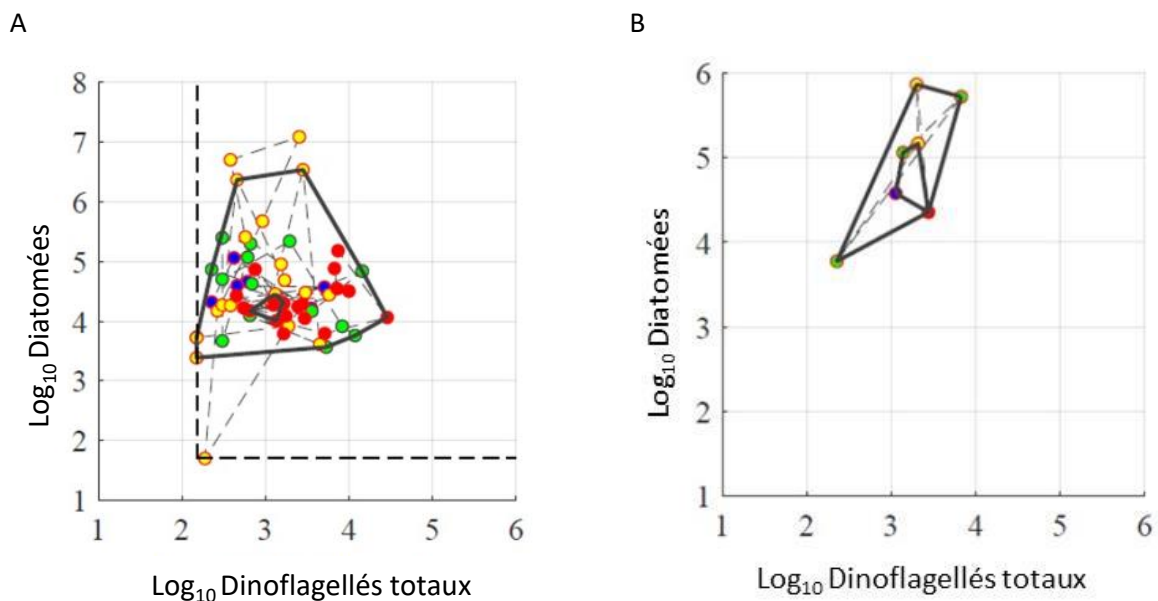
- Campagnes DCSMM dédiées aux habitats pélagiques

Les campagnes DCSMM dédiées aux habitats pélagiques [61] correspondent à une action de la feuille de route du PdS « Habitats pélagiques » (05HP\_Action1). Il s'agit de campagnes tests, intercalées temporellement avec les campagnes halieutiques DCF optimisées, visant à appréhender la saisonnalité des communautés planctoniques à large échelle spatiale, et à valider (ou non) la pertinence d'une acquisition de données à échelle saisonnière (4 fois par an) pour le calcul des indicateurs BEE « Habitats pélagiques ».

Les SRM MMN et MC ont constitué les sites ateliers de cette approche saisonnière en 2018. Quatre campagnes successives ont été réalisées et intégraient deux campagnes halieutiques DCF existantes (IBTS et CGFS, en janvier et septembre, respectivement) et deux campagnes complémentaires dédiées DCSMM (ECOPEL 1 et 2 en mai et juillet). Les objectifs de ces travaux préliminaires étaient multiples et comprenaient, en particulier, (i) une étude de la complémentarité/plus-value des instruments automatisés par rapport aux techniques classiques pour caractériser la dynamique des communautés phytoplanctoniques et (ii) des propositions pour envisager les déploiements opérationnels futurs dans les autres SRM.

Des déploiements d'équipements permettant des **approches à haute résolution** (e.g. haute fréquence HF) ont permis (i) d'acquérir, de manière simultanée et par le biais d'un FerryBox, des données relatives aux conditions environnementales (température, salinité, turbidité et oxygène dissous), et (ii) d'appréhender la répartition du phytoplancton et ces principaux groupes pigmentaires *via* l'utilisation d'un *Algae Online Analyser* (AOA ; Lefebvre et Poisson-Caillault 2019 ; Lefebvre et Devreker 2019) et d'un cytomètre en flux automatisé (Jouandet et al. 2019). La mise en œuvre de systèmes de mesures tels que les FerryBox permet d'envisager l'étude des paramètres hydrologiques à large échelle et répond aux besoins d'autres descripteurs de la DCSMM (D7- Changements hydrographiques). L'ajout de capteurs de pH, alcalinité et de pCO<sub>2</sub> est envisageable et contribuerait aux travaux s'intéressant aux effets de l'acidification des océans sur les communautés planctoniques dans le contexte du changement global (e.g. Edwards 2016), suivant ainsi les orientations du groupe de travail européen ICG-COBAM.

Le déploiement de la **cytométrie en flux automatisée** (cf.§.5.3.1.3) a permis la considération des communautés phytoplanctoniques sur un large spectre de taille (0,2  $\mu\text{m}$  à 800  $\mu\text{m}$ ) et a démontré sa pertinence pour (i) proposer une modification d'un des rapports fonctionnels du phytoplancton existant dans le cadre de la convention OSPAR, en l'adaptant aux données acquises par cytométrie automatisée. Ainsi le rapport « grand phytoplancton » regroupant le nano- (2-20 $\mu\text{m}$ ) et le microphytoplancton (20-200  $\mu\text{m}$ ) sur « petit phytoplancton » (picophytoplancton ; 0,2 – 2  $\mu\text{m}$ ) a été préféré à la paire micro- *versus* nano- et pico-plancton préalablement définie pour le PH1, essentiellement applicable aux comptages microscopiques. Ces travaux ont également démontré qu'à l'échelle d'une zone éco-hydrodynamique donnée (e.g. paysage marin), l'acquisition d'un nombre plus importants de données renforce la robustesse de l'évaluation relative à la variabilité saisonnière des communautés, et suggère qu'il est nécessaire d'adapter les stratégies d'échantillonnages afin de prospecter, de manière équilibrée, l'ensemble des paysages marins (**Figures 5A et 5B**).



**Figure 5 : Importance du nombre de données acquises à l'échelle saisonnière pour estimer les rapports entre groupes planctoniques fonctionnels Diatomées versus Dinoflagellés. Exemple issu de l'étude réalisée en 2018 A/ dans le paysage marin PM5 (SRM MMN et MC) et B/ dans le paysage marin PM6 (SRM MMN). Hiver (bleu, IBTS2018), printemps (vert, ECOPEL1), été (jaune, ECOPEL2), et automne (rouge, CGFS2018) – d'après le rapport provisoire de Jouandet et al. (2019).**

Si ces travaux offrent de nouvelles perspectives sur le déploiement d'outils automatisés, la version provisoire du rapport de Jouandet et al. (2019) permet d'identifier les travaux à réaliser. Il s'agit :

- **de poursuivre les analyses des échantillons acquis lors de ces campagnes** (HPLC, données acquises par fluoroprobe ; analyses comparatives de l'approche loupe binoculaire *versus* ZooScan pour le zooplancton) afin de vérifier comment ces données complémentaires pourraient alimenter les indicateurs BEE. Cela permettra aussi de confirmer la complémentarité/plus-value de certaines techniques et d'orienter les actions de surveillance,
- **d'aboutir, par des développements numériques complémentaires** (e.g. itérations, propositions de méthode d'intégration), à la démonstration que les données acquises à échelle saisonnière pourront effectivement alimenter les futures évaluations du BEE. Des adaptations numériques ont été réalisées pour démontrer la faisabilité de l'approche saisonnière pour calculer certains indicateurs (e.g. rapports fonctionnels du PH1, **Figure 4**). Cependant, les propositions d'intégration à long terme n'ont pas été testées car les données ont été acquises sur une seule année. **Une approche d'inférence statistique, basée sur un ré-échantillonnage aléatoire et itératif des jeux de données (i.e. « bootstrapping ») et sur la création de données aléatoires à partir des données saisonnières,**

**permettrait, sur une période de 6-12 ans et dans la gamme de variabilité des données acquises *in situ*, de valider (ou non) l'approche saisonnière.**

- **de préciser les orientations de surveillance dans les autres SRM, en fonction des enjeux et spécificités des écosystèmes étudiés** (e.g. nombre de stations à échantillonner à minima par paysage marin, nombre d'analyses à réaliser en complément de l'instrumentation automatisée, etc...). A ce titre, les résultats publiés dans le rapport de Lefebvre et Devreker (2019) sur le déploiement d'un *Algae Online Analyser* (i.e. appareil permettant l'analyse des grands groupes phytoplanctoniques (cf. §.5.3.1.1) couplé à un FerryBox soulignent la nécessité de mettre en œuvre une **stratégie adaptative** c'est-à-dire de vérifier les signaux fournis par les systèmes en collectant des échantillons discrets (e.g. analyses de chlorophylle-*a* ; analyses pigmentaires par HPLC ; détermination de l'abondance et de la structure des communautés phytoplanctoniques par comptages microscopiques), les plus représentatifs de la variabilité spatiale et temporelle observée. Les données acquises à haute résolution par ces techniques innovantes permettront principalement de valider/calibrer les produits dérivés des images satellites et de la modélisation couplée hydrodynamique/biogéochimie.

Les analyses des données HF mesurées lors des différentes campagnes en 2018 montrent une répartition spatiale très variable des mesures selon les paysages marins, nécessitant un **réajustement de stratégie**. Certains paysages marins nécessiteraient en effet une meilleure couverture spatiale des mesures HF. Les mailles labellisées DCSMM telles que définies par Devreker et Lefebvre (2018b) étaient également insuffisamment échantillonnées. **Ceci nécessiterait soit une modification de l'emplacement de certaines mailles labellisées DCSMM, soit une légère modification du trajet des navires lors de certaines campagnes, afin d'avoir des trajets ou des sections de trajet comparables d'une campagne à l'autre et de fait, d'une saison à l'autre puis, d'une année à l'autre.**

Le déploiement d'équipements automatisés innovants (*Algae Online Analyser*, Lefebvre et Poisson-Caillault 2019 ; Lefebvre et Devreker 2019 ; Fluoroprobe, Houliez et al. 2012 ; CytoSense, Thyssen et al. 2015 et FRRF) permet de mieux suivre la dynamique haute fréquence des communautés phytoplanctoniques (par groupes ou par classes de taille) à la côte comme au large en y associant leurs paramètres photosynthétiques et les caractéristiques des masses d'eau associées. L'acquisition d'équipements automatisés dédiés à la surveillance et à l'observation des conditions physico-chimiques et du plancton est en cours dans le cadre de l'action « constitution d'un **Parc instrumenté DCSMM** » (cf.§.5.3). **Il s'agit de tests préliminaires réalisés lors de campagnes (cf. campagnes dédiées ci-dessus ; campagnes halieutiques DCF) et pour lesquels les déploiements futurs sont à définir (en termes de stratégie spatiale comme temporelle) dans les différentes SRM.**

- **Réunir les conditions nécessaires aux déploiements opérationnels dans l'ensemble des SRM**

Les campagnes dédiées et optimisées ont amené à mobiliser et optimiser des dispositifs existants dans d'autres directives (e.g. campagnes halieutiques DCF en lien avec la politique commune des pêches) et à proposer des tests préliminaires dans certaines SRM (e.g. ECOPEL en SRM MMN et MC). Ces campagnes présentant un coût non négligeable (e.g. logistique de campagne, consommables, coûts des personnels embarquant et des personnels en charge des analyses d'échantillons), elles ne peuvent être envisagées à haute fréquence. C'est la raison pour laquelle d'autres techniques innovantes comme l'analyse d'images satellites, la modélisation, et l'instrumentation automatisée, calibrées et validées par la réalité terrain, sont également utilisées.

Au 2<sup>nd</sup> cycle, la mise en œuvre des dispositifs « campagnes en mer » transversaux à différents descripteurs (e.g. D5-Eutrophisation, D1-Habitats pélagiques, D7- Changements hydrographiques) nécessitera :

- **l'identification d'opérateurs de surveillance** afin de s'assurer des possibilités de mobilisation régulière et pérenne des navires océanographiques (Ifremer, CNRS-INSU) pour la DCSMM. Les actions en cours sur le PdS « Habitats pélagiques » reposent sur des campagnes existantes. Cependant, des demandes d'ajustement de stratégie d'échantillonnage, de déploiements d'outils

complémentaires (ou de déploiements opportunistes de certains équipements, nécessitant l'embarquement de personnels dédiés) sont envisagés, ce qui nécessitera des discussions en amont et une organisation spécifique. A titre d'exemple, pour les demandes de campagnes en mer, une anticipation de 1 à 2 ans est nécessaire avant leur date de réalisation (dossier de demande, évaluation par le comité scientifique de la flotte océanographique).

- La **mobilisation de laboratoires/prestataires pour la récolte et l'analyse d'échantillons supplémentaires** (e.g. analyses des éléments nutritifs, comptages des échantillons phytoplanctoniques) et un **arbitrage** sur les stratégies d'échantillonnage proposées. En 2018, les analyses des échantillons de phytoplancton collectés pendant les campagnes optimisées et dédiées DCMM ont été assurées par les Laboratoires Environnement Ressource de l'Ifremer (LER) et par un prestataire externe (B. Beker, IUEM LEMAR). Ce travail complémentaire a nécessité un investissement important du personnel impliqué, les analyses taxinomiques du phytoplancton reposant sur un nombre limité d'experts. Avant d'envisager la pérennisation des approches saisonnières dans les autres SRM, il sera nécessaire de s'appuyer sur les responsables thématiques et les acteurs des façades (acteurs de la recherche, gestionnaires locaux) pour définir des stratégies d'échantillonnage optimisées à tester (nombre d'échantillons à récolter et à analyser à minima par campagne ; utilisation de techniques innovantes en appui pour limiter le nombre d'échantillons à analyser, analyse du rapport coût/efficacité) et permettant le calcul des indicateurs BEE.

- de prendre en compte les **spécificités en enjeux des SRM**. Les stratégies d'échantillonnage (période de campagnes, sites d'étude, fréquence d'échantillonnage, paramètres ciblés) devront être adaptées aux écosystèmes étudiés. Les particularités hydrodynamiques, hydrologiques (stratification thermique et/ou haline ; présence de gyres ou de zones frontales) et physico-chimiques (teneurs en éléments nutritifs) conditionnent la dynamique des communautés phytoplanctoniques (calendrier de production, distribution dans la colonne d'eau, composition et structure de taille, succession) et de fait, celle de ces principaux prédateurs zooplanctoniques (protozoaires et métazoaires). L'intégration de nouveaux dispositifs de suivi comme les composantes du Réseau MOOSE au 2<sup>nd</sup> cycle, permettra de disposer de données précieuses en SRM MO, en complément de réseaux existants. L'exploitation de données acquises sur des dispositifs récents (e.g. campagnes halieutiques DCF optimisées) dans les SRM GdG Nord et Sud, MC et MO constitue également une action prioritaire à mener au 2<sup>nd</sup> cycle, avant d'envisager des déploiements complémentaires.

#### 2.1.4.3. Dispositifs associés à la modélisation couplée hydrodynamique/biogéochimie

La **modélisation couplée hydrodynamique/biogéochimie** représente un outil d'évaluation du BEE en appui à l'acquisition de données *in situ*, pour combler les lacunes de données dans les zones au large, moins fréquemment prospectées, ainsi que dans les zones sous influence des panaches fluviaux.

Si le modèle ECO-MARS3D a permis des tests numériques sur les indicateurs BEE « Habitats pélagiques » en SRM GdG Nord et Sud, en SRM MO, l'évaluation des eaux au large n'a pas été réalisée. Le modèle 3D-VAR-OGSTM-BFM utilisé pour l'évaluation BEE de l'état d'eutrophisation au large (Devreker et Lefebvre 2018a) n'a pas été mobilisé, faute de temps, pour l'évaluation des « Habitats pélagiques ». Ainsi, les résultats présentés par Duflos et al. (2018) reposaient essentiellement sur des données *in situ* et concernaient les eaux côtières.

Afin d'acquérir des données relatives aux communautés planctoniques au large, le 2<sup>nd</sup> cycle s'appuiera, dans un premier temps, sur les données acquises *in situ* (Réseau MOOSE, données du RESOMAR-Pelagos). L'utilisation de modèle pourrait être envisagée si elle apparaît pertinente. Le module biogéochimique du modèle Méditerranée 3DVAR-OGSTM-BFM [77] permet l'acquisition de données relatives à la biomasse carbonée et azotée ( $\text{mgC.m}^{-3}$  et  $\text{mgN.m}^{-3}$ ) de certains groupes phytoplanctoniques (e.g. diatomées, flagellés, picophytoplancton et dinoflagellés) et zooplanctoniques (mésozooplancton omnivore et carnivore), pouvant alimenter les calculs des indicateurs relatifs aux changements de rapport entre groupes fonctionnels du phyto- et du

zooplancton (PH1). Par contre, l'intégration de ces données dans le calcul des indicateurs s'intéressant aux changements d'abondance totale du zooplancton (PH2-Zooplancton) et de la diversité (PH3) est discutable.

Au titre du PdS « Eutrophisation », en concertation avec les acteurs et experts locaux de la SRM MO (agence de l'eau, instituts de recherche, bureaux d'étude) et avant d'envisager l'utilisation systématique de la modélisation comme outil d'évaluation au large, il est apparu nécessaire d'établir une revue de la littérature et un recueil des connaissances permettant de rendre compte des méthodes et outils d'évaluation actuellement utilisés par les états membres de la façade méditerranéenne, à l'échelle locale comme régionale. Si la modélisation ressort, de cet état des lieux, comme un outil incontournable d'évaluation, une étude prospective et comparative des modèles existants permettra d'évaluer leur plus-value/complémentarité au regard des données acquises en termes **d'échelles spatio-temporelles** (résolution spatiale, fréquence d'acquisition, période de rejeu) et de **paramètres simulés** (hydrologie, physico-chimie, communautés phyto- et zooplanctoniques) pour le calcul des indicateurs (BEE). Il sera particulièrement important de vérifier comment les modèles peuvent répondre, de manière conjointe, aux besoins de la DCE comme de la DCSMM.

Cette action « **Estimations issues de la modélisation** » (**08EUTRO\_Action4**) est transversale au PdS « Eutrophisation » et répond aux adaptations proposées en SRM MO au Copil S&T DCSMM de mars 2019 et de juin 2020. L'objectif est donc de conserver en SRM MO, les dispositifs de suivi permettant une évaluation réglementaire au titre de la DCSMM et d'envisager des actions concertées pouvant répondre aux besoins des deux directives. Dans l'attente de ces travaux, un nouveau dispositif de suivi candidat, intitulé « Modèle Méditerranéen » [82] a été ajouté au PdS « Eutrophisation » 2<sup>nd</sup> cycle et correspond à un dispositif candidat transversal au PdS « Habitats pélagiques ».

#### **2.1.4.4. Des analyses complémentaires nécessaires pour les données acquises par le Continuous Plankton Recorder (CPR)**

Le CPR [85] 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 leur 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 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 (**Figure 6**). De retour au laboratoire, la soie est enlevée du mécanisme et divisée en échantillons représentant chacun 10 miles nautiques (19 km) de remorquage.

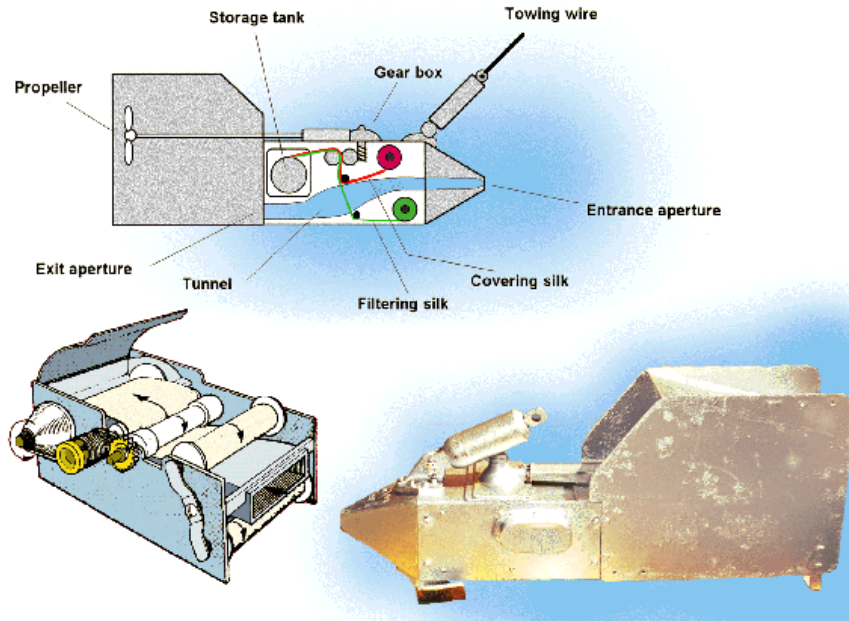


Figure 6 : Continuous Plankton Recorder – vue de profil et fonctionnement

Le CPR a fourni aux scientifiques la seule mesure des communautés planctoniques (phytoplancton, zooplancton et ichtyoplancton) à l'échelle pan-océanique. Depuis 2018, la Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science (SAHFOS) est rattachée à la Marine Biological Association (MBA ; Plymouth (UK) qui gère donc le « CPR survey<sup>20</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 et (ii) une comparabilité temporelle sans biais potentiellement imputable à la stratégie d'échantillonnage. La fréquence d'acquisition des données, mensuellement pour la plupart des régions, est également compatible avec les calculs des indicateurs BEE.

**Les données acquises sur le phytoplancton (SP2) et le zooplancton (SP3) s'intéressent donc aux organismes de relativement grande taille (> 270 µm) localisés dans la couche de surface (max. 15 m de profondeur).** Dans ce sens, certains travaux ont utilisé les données d'abondance totale de diatomées, dinoflagellés et copépodes pour estimer les rapports de ces groupes fonctionnels (indicateur PH1, McQuatters-Gollop et al. 2019). En revanche, ces mêmes travaux, ainsi que des publications antérieures, soulignent un manque de fiabilité du CPR pour échantillonner des organismes de plus petite taille (e.g. pico- nanoplancton) et le plancton gélatineux (Batten et al. 2003 ; Richardson et al. 2006). Il est alors recommandé, lorsque l'on s'intéresse à ces groupes, 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. Des études comparatives entre prélèvements CPR et filets à plancton ont déjà été réalisées (e.g. John et al. 2001 ; Hunt et Hosie 2003) et ont démontré la robustesse des données CPR pour reproduire la saisonnalité des communautés zooplanctoniques, ainsi que la réponse de ces communautés aux changements globaux (i.e. approches à macro-échelle ; e.g. Richardson 2008). 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.

**Ce dispositif a démontré sa pertinence pour l'évaluation intermédiaire au titre de la convention OSPAR (2017) et de la DCSMM (Duflos et al. 2018). Cependant, plusieurs éléments sont ressortis de l'analyse critique du PdS 1<sup>er</sup> cycle et permettent de proposer des orientations pour le 2<sup>nd</sup> cycle.**

<sup>20</sup> <https://www.cprsurvey.org/>

Premièrement, seules les données d'abondance totale du zooplancton ont été mobilisées pour l'évaluation 2018. Comme mentionné ci-dessus, d'autres données existent et concernent plus particulièrement l'abondance totale des diatomées et des dinoflagellés, pour lesquels le nombre de taxons atteint respectivement 125 et 79 dans les eaux anglaises (Edwards et al. 2020). Il est nécessaire, pour le phytoplancton comme pour le zooplancton, de vérifier comment ces données acquises sur des transects pourront être utilisées en complémentarité des données acquises en points fixes stationnels sur les réseaux de suivi côtier. L'analyse de l'articulation entre les deux méthodes d'échantillonnage est importante car les différences d'évaluation à la côte (suivi stationnel) par rapport aux eaux du large (transect CPR) pourraient être liées aux différences méthodologiques dont il faut s'affranchir pour le calcul des indicateurs.

Deuxièmement, les données utilisées dans les travaux de Duflos et al. (2018) concernaient la route Plymouth–Bilbao couvrant les eaux du large des SRM MC, GdG Nord et Sud (**Figure 7**). Des choix stratégiques de déploiement ont été réalisés par la MBA et la route Plymouth–Bilbao, à défaut de soutien financier, n'est plus prospectée depuis 2017 (soit une absence de données d'au moins 3 années consécutives sur la série temporelle utilisée). Par ailleurs, des navires de la Brittany Ferry seront mis en service à l'automne 2020 (Ligne Ouistreham–Portsmouth) ce qui constituerait une opportunité de déploiement à exploiter dans le futur. Cependant, et avant d'envisager tout déploiement additionnel, les coûts associés (i) à la remise en route de certains transects (e.g. Plymouth–Bilbao évaluée à 70 à 80 k€ par an), (ii) à l'exploitation des données sur les routes existantes et/ou (iii) à la prospection de nouvelles routes (e.g. Ouistreham–Portsmouth) devront être confrontés aux rapports coûts/efficacité d'autres dispositifs au large (e.g. campagnes d'opportunités et campagnes halieutiques optimisées DCSMM). Une analyse préliminaire de l'effort d'échantillonnage du CPR sur la période 1950-2014 en fonction des SRM démontre l'intérêt de ce dispositif de suivi pour l'échantillonnage des eaux du large (**Figure 7A**). L'effort d'échantillonnage total sur toute la période et annuel est variable en fonction des SRM avec 7000 points en SRM GdG Nord et Sud contre 5524 et 1190 en SRM MC et MMN, respectivement (**Figures 7B à 7D**). Les données du CPR sont disponibles pour l'année n-2. **Il conviendra d'affiner cette analyse en intégrant les nouveaux paysages marins définis par le D7 et en intégrant les données les plus récentes.**

A

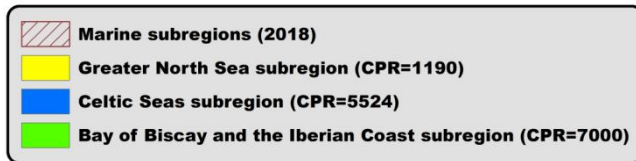
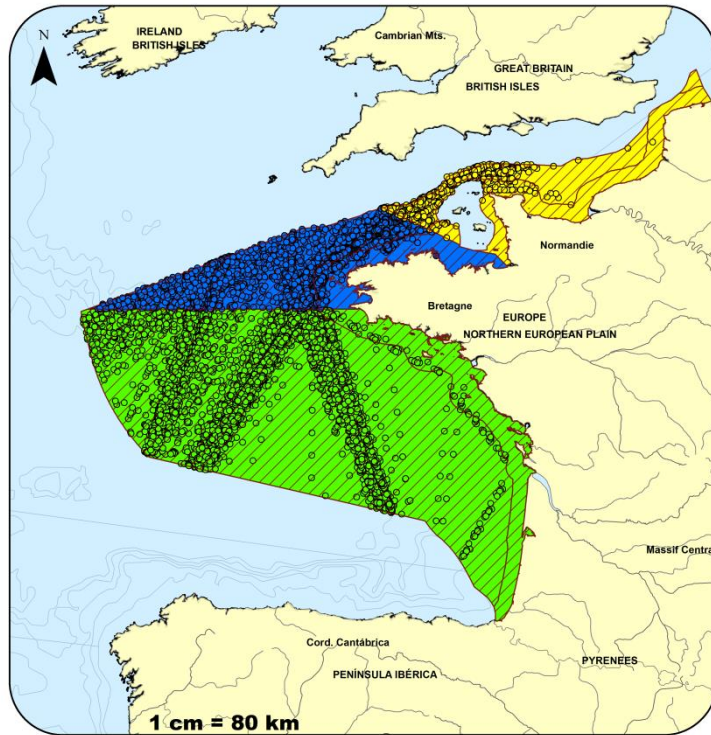
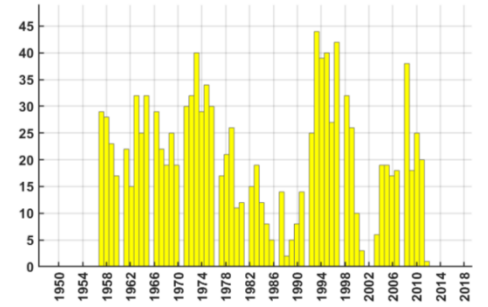
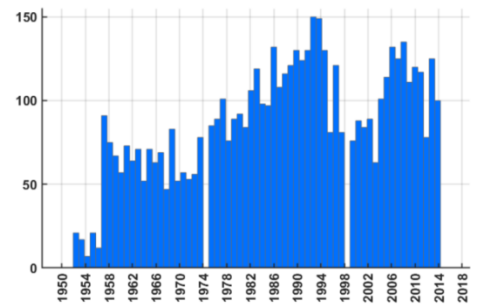


Figure 7 : Trajectoires du CPR sur la période 1950-2014 dans les différentes SRM. Le nombre d'observations par SRM est indiqué entre parenthèses. Les échelles ne sont pas les mêmes pour les figures B, C et D. A noter que la route Plymouth-Bilbao n'est plus fonctionnelle depuis 2017.

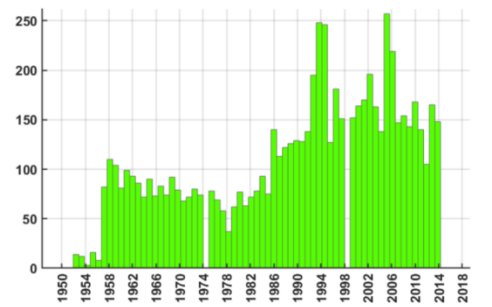
B



C



D



#### 2.1.4.5. Dispositifs candidats associés à la surveillance des micro-organismes

Au sein du **SP4**, les **micro-organismes planctoniques** (procaryotes ou eucaryotes) regroupent les organismes hétérotrophes et mixotrophes (e.g. bactéries, virus, flagellés et dinoflagellés, ciliés) qui assurent une grande partie des fonctions biologiques de l'écosystème pélagique (e.g. minéralisation de la matière organique dissoute et particulaire ; proies d'organismes de niveaux trophiques supérieurs) et constituent les entités les plus abondantes et les plus diversifiées du milieu planctonique (Withman et al. 1998 ; **Figure 1**). La surveillance des micro-organismes n'a pas été initiée au 1<sup>er</sup> cycle dans le cadre du PdS « Habitats pélagiques » alors que ces organismes sont reconnus comme des sentinelles des changements de conditions environnementales et des indicateurs pertinents d'évaluation de l'état des écosystèmes marins (Pomeroy et al. 2007). L'intégration des procaryotes dans la DCSMM a pour l'instant essentiellement considérée les composantes pathogènes (Bactéries *E. Coli*, *Vibrio*) et leurs incidences sanitaires en lien avec le Descripteur 9.

Au regard de l'évaluation du BEE, les micro-organismes hétérotrophes sont considérés dans 4 rapports entre groupes fonctionnels de l'indicateur PH1 (**Tableau 8**) et il n'existe pas d'indicateur associé à l'abondance et à la biomasse bactérienne. Certains outils spécifiques à l'évaluation de l'abondance des composantes microbiennes existent comme la cytométrie en flux et la microscopie à épifluorescence et sont déployés dans le cadre du réseau MOOSE, du SOMLIT, du RESOMAR-Pelagos. Des données relatives aux communautés microbiennes sont également acquises par le biais d'outils automatisés (e.g. cytométrie en flux automatisée) déployés lors de campagnes d'opportunité comme les campagnes dédiées et peuvent être obtenues à partir de modèles couplés hydrodynamique/biogéochimie (e.g. 3DVAR-OGSTM-BFM).

L'analyse taxinomique des ciliés et des dinoflagellés est le plus souvent réalisée par microscopie optique après sédimentation d'un volume d'échantillon plus important que pour l'analyse phytoplanctonique (100 à 250 mL contre 5-10 mL pour le phytoplancton ; méthode Utermöhl 1958). Cela assure une estimation quantitativement fiable de l'abondance de protozoaires ciliés et dinoflagellés, le dénombrement étant réalisé sur un nombre minimum de cellules de 100 à 200 (pour l'espèce dominante et par échantillon). Cependant, ces méthodes de comptage, sont très couteuses en temps et nécessitent une expertise taxinomique approfondie. Elles ne peuvent être envisagées à grande échelle mais pourraient venir en complément des approches automatisées.

**Tableau 8 : rapports entre groupes fonctionnels de la communauté microbienne (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.
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 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
Ciliés vs Microflagellés	Tintinnides inclus	Faible	Indicateur d'un changement du statut trophique du système passant de l'autotrophie à l'hétérotrophie.
	Toutes les espèces < 20 µm		

D'autres outils comme les méthodes moléculaires sont en cours de développement (cf. §.5.3.3).

Ainsi, à l'heure actuelle, il n'existe pas de stratégie de surveillance des communautés microbiennes au titre de la DCSMM. En conséquence, l'ensemble des dispositifs de suivi (n=6) permettant l'acquisition de données relatives à la surveillance des communautés microbiennes (e.g. abondance bactérienne, abondance du pico- et du nanoplancton, détermination des unités taxinomiques fonctionnelles associées à certaines fractions de taille) sont classés comme candidats (**Tableau 9**).

**Tableau 9 : Dispositifs de suivi CANDIDATS du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle associés au SP4-Micro-organismes.** Sont indiqués l'utilisation des données pour les tests numériques dans le rapport d'évaluation 2018 (✓ : utilisé ; ✗ : non utilisé), les SRM concernées, la transversalité avec d'autres descripteurs DCSMM (D5 EUTRO – Eutrophisation ; D7 – C. HYDRO) et les liens vers la description détaillée de chaque dispositif.

DISPOSITIF DE SUIVI	DONNEES MOBILISEES EN 2018	MMN	MC	NORD GDG	SUD GDG	MO	DISPOSITIF TRANSVERSAL	DETAILS
RESOMAR - Pelagos	✓	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO	[21]
Suivis SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral)	✗	X	X	X	X	X	D5 – EUTRO	[16]
Campagnes DCSMM dédiées habitats pélagiques	✗	X	X	-	-	-	D5 – EUTRO	[61]
Réseau MOOSE (Mediterranean Ocean Observing System for the Environment)	✗	-	-	-	-	X	D5 – EUTRO	[41]
Modèle 3D-VAR-OGSTM-BFM	✗	-	-	-	-	X	D5 – EUTRO	[77]

**Il apparait nécessaire, au 2<sup>nd</sup> cycle, d'engager la surveillance des composantes microbiennes en s'appuyant prioritairement sur les réseaux de suivi existants et les coordinateurs de réseaux disposant de l'expertise technique et scientifique sur cette thématique.** Cette action est référencée dans la feuille de route du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle (**05HP\_Action 4 Cycle 2**). Elle a pour objectifs :

- **d'identifier et de référencer les données disponibles** (accessibles et bancarisées) pouvant alimenter les indicateurs existants du D1-Habitats pélagiques (cf. **Tableau 8**),
- **de réaliser les tests numériques pour le calcul des indicateurs BEE concernés**, et de contribuer aux développements méthodologiques sur les indicateurs (seuils, méthodes d'intégration) en lien avec les groupes de travail européens (e.g. ICG-COBAM ; WG-PME<sup>21</sup> du CIEM),
- **d'intégrer la composante bactérienne** dans les évaluations, en développant un ou des indicateurs pertinents.

Cette action permettra d'identifier les besoins à couvrir en termes de surveillance (e.g. moyens techniques et humains ; compléments de réseaux existants) et d'alimenter les réflexions sur les tests complémentaires à réaliser (i.e. déploiements d'outils automatisés du parc instrumenté DCSMM), les stratégies et méthodes à mettre en œuvre pour aboutir à un déploiement opérationnel sur l'ensemble des façades. **Il s'agit d'une action à long terme qui s'inscrit au-delà du 2<sup>nd</sup> cycle de surveillance et qui ne pourra être opérationnelle que si elle est organisée de manière concertée avec les acteurs de la recherche et de la gestion des milieux marins (e.g. instituts de recherche, universités, agence de l'eau, DDTM, parcs naturels etc...).**

<sup>21</sup> Groupe de travail « Phytoplankton and Microbial Ecology »

## 2.2. Analyse globale des dispositifs de suivis PdS DCSMM 2<sup>nd</sup> cycle au regard de l'évaluation BEE 2024 (3<sup>ème</sup> cycle)

### 2.2.1. Eléments de cadrage : les indicateurs BEE du programme thématique « Habitats pélagiques »

D'après l'arrêté ministériel de définition du BEE 2<sup>nd</sup> cycle, **trois indicateurs**<sup>22</sup> peuvent être utilisés pour évaluer le **critère D1C6** (cf.§.1.1.2, **Tableau 1**) 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>23</sup> pour les SRM MMN, MC, GdG et adapté à la SRM MO (cf. **Annexe 2**).
- **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 dans 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.

Les indicateurs BEE « Habitats pélagiques » sont des **indicateurs de surveillance** (*sensu* Bedford et al. 2018), c'est-à-dire que les changements observés dans la structure, l'abondance, la biomasse et/ou les rapports fonctionnels au cours du temps traduisent les effets des conditions environnementales dominantes (i.e. *prevailing conditions*). **Ainsi, ces indicateurs agissent comme des signaux d'alarme à partir desquels des actions de gestion (principe de précaution) et/ou de recherche (études des liens état-pression) peuvent être entreprises.**

Ces indicateurs peuvent faire l'objet d'adaptations méthodologiques afin de prendre en compte les spécificités des conditions environnementales des SRM, les disponibilités des données et les travaux de coopération régionale. De fait, dans l'évaluation 2018 (Duflos et al. 2018), **l'indicateur PH2 a été adapté aux eaux Françaises par rapport à la convention OSPAR** : il s'intéresse à la définition de tendances présentées par des anomalies<sup>24</sup> de biomasse/abondance sur la période d'évaluation plutôt qu'à la catégorisation par percentiles de ces anomalies. **Pour l'indicateur PH3, des adaptations ont également été proposées pour l'évaluation 2018, d'autres sont en cours, notamment pour définir les indices de diversité primaires à estimer sur le zooplancton.**

Les indicateurs sont calculés à partir de données acquises à fréquence mensuelle et sur de longues séries temporelles (au moins 10 ans). Si les calculs sont envisageables 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 ou une variabilité interannuelle. En conséquence, l'intégration de données acquises à plus basse ou, au contraire, à plus haute fréquence, doit faire et/ou fait l'objet d'adaptations numériques.

<sup>22</sup> Indicateurs développés dans le cadre de la convention OSPAR, au sein du groupe de travail ICG-COBAM PH

<sup>23</sup> OSPAR CEMP Guideline: common indicator PH1/FW5 plankton lifeforms – OSPAR Agreement 2018-07.

<sup>24</sup> Une anomalie de biomasse/abondance correspond à un écart par rapport aux valeurs calculées pour le cycle saisonnier de référence.

### 2.2.2. Modalités d'analyse du lien entre dispositifs de suivi et indicateurs BEE

L'analyse globale des dispositifs de suivi pour le 2<sup>nd</sup> cycle au regard des indicateurs BEE a été réalisée **hors dispositifs candidats (soit sur 11 dispositifs de suivi au total)** selon **quatre modalités** :

1/ La modalité « *Dispositifs renseignant des données contextuelles* » se réfère aux dispositifs de suivi pour lesquels les données acquises ne permettent pas le calcul des indicateurs BEE. Ces données viennent en appui pour expliquer la variabilité des communautés planctoniques observées et permettent d'identifier les paramètres de forçage en jeu à l'échelle locale et à l'échelle des SRM pendant les périodes considérées.

2/ La modalité « *Dispositifs renseignant un ou plusieurs indicateurs BEE opérationnels* » est utilisée lorsque les données acquises par le dispositif ont permis l'évaluation du BEE 2018.

3/ La modalité « *Dispositifs renseignant un ou plusieurs indicateurs BEE en développement* » est utilisée lorsque les données acquises par le dispositif permettront l'évaluation d'un indicateur à priori opérationnel au 3<sup>ème</sup> cycle (2022), post évaluation 3<sup>ème</sup> cycle et/ou à développer.

4/ La modalité « *Dispositifs renseignant un ou plusieurs indicateurs BEE opérationnels et un ou plusieurs indicateurs en développement* » correspond à l'association des deux modalités précédentes. Cette dernière modalité rend compte de la pertinence d'un dispositif de suivi donné pour évaluer plusieurs indicateurs BEE (opérationnels et/ou en développement).

### 2.2.3. Résultats

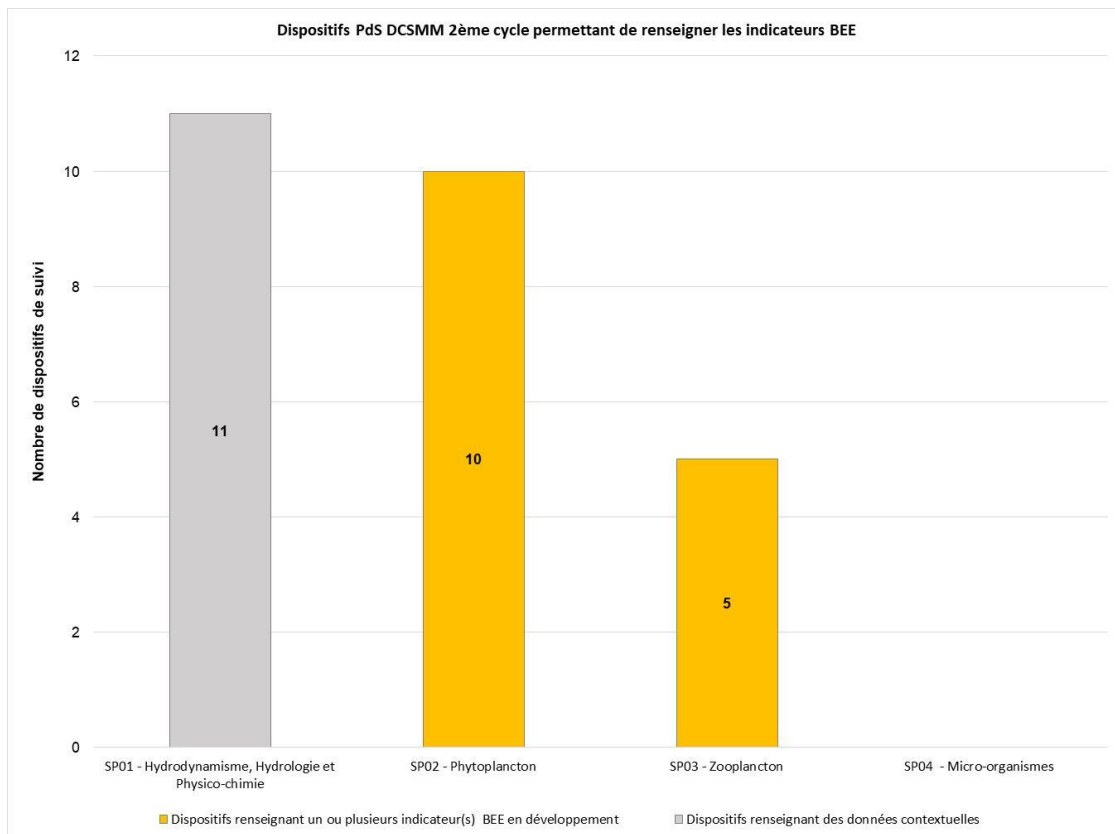
Pour rappel (cf.§.2.1.), un indicateur BEE est considéré comme opérationnel si le score relatif à l'opérationnalité de la méthode d'évaluation est  $\geq 3/5$ . L'analyse détaillée de l'opérationnalité des indicateurs PH1, PH2 et PH3 pour l'évaluation des Habitats pélagiques a conclu à une **opérationnalité méthodologique à développer** pour l'ensemble de ces indicateurs (note comprise entre 1 et 2 sur 5).

**Les onze dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » du 2<sup>nd</sup> cycle alimentent des indicateurs en développement. Ils permettent également l'acquisition de données contextuelles dès lors qu'ils sont tous rattachés au SP1-Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie.** Comme mentionné en §.2.2.2, les **données contextuelles** n'interviennent pas dans le calcul des indicateurs pour l'évaluation de l'état des eaux marines, mais sont utiles à l'interprétation des tendances et changements pouvant être observés à long terme sur les indicateurs BEE. Pour l'un des 11 dispositifs de suivi concernés, « Post production de données d'océanographie côtière opérationnelle », les données servent à l'établissement des **paysages marins (Figure 4 ; cf.§.2.1.1. et Annexe 7 du PdS « Changements hydrographiques »)**.

Au sein du **SP2-Phytoplancton**, **10 dispositifs de suivi** permettent l'acquisition de données permettant le calcul des indicateurs PH1 (rapports fonctionnels du phytoplancton), PH2 (biomasse du phytoplancton) et/ou PH3 (diversité du phytoplancton). Il s'agit des neuf dispositifs de suivi non opérationnels à maintenir au 2<sup>nd</sup> cycle listés dans le **Tableau 5 (cf. §.2.1.2)** et qui correspondent :

- **aux réseaux de suivi nationaux existants dans le cadre de la DCE** (REPHY surveillance, PHYTOBS) et **hors DCE** (REPHY observation, RESOMAR-Pelagos, SOMLIT) ;
- **aux suivis dédiés à certaines SRM** (e.g. suivi IGA en SRM MMN ; suivi du PNMI en SRM MC ; suivi STARESO en SRM MO),
- **aux déploiements de techniques innovantes** comme **l'analyse d'images satellites** ou la **modélisation** couplée Hydrodynamisme/Biogéochimie (modèle ECO-MARS3D pour la façade Manche-Atlantique).

S'y ajoute les différentes composantes du **Réseau MOOSE**, dispositif à intégrer au 2<sup>nd</sup> cycle (cf. §.2.1.3.)



**Figure 8 : Analyse des dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle (hors dispositifs candidats) au regard des indicateurs de l'évaluation BEE 2024. A noter que certains dispositifs de suivi sont comptés dans chacun des SP qu'ils alimentent et sont donc dénombrés plusieurs fois dans cette figure.**

**Cinq dispositifs de suivi du SP3-Zooplancton permettent d'alimenter les indicateurs BEE associés à cette composante planctonique.** Il s'agit de dispositifs sur lesquels des prélèvements d'organismes zooplanctoniques sont réalisés au filet à plancton (WP2). Les analyses et détermination taxinomiques des échantillons diffèrent en fonction du type de suivi et parfois même en fonction des SRM (cf. §.2.1.4.1). Ainsi, pour le suivi IGA Gravelines et certaines des données hébergées dans la base de données du RESOMAR-Pelagos, les organismes sont dénombrés et identifiés sous loupe binoculaire. Pour d'autres dispositifs (suivi du PNMI, Réseau MOOSE, campagnes optimisées DCSMM), l'analyse des échantillons met en œuvre des techniques semi-automatisées de dénombrement et de classification du plancton par le biais du **ZooScan** (Gorsky et al. 2010) ou de la **ZooCam** (Colas et al. 2018). Comme mentionné en §.2.1.2, les échantillons zooplanctoniques collectés dans le cadre du suivi **STARESO** sont analysés par compteur optique de plancton et correspondent de fait à des données de biovolumes ( $\text{mm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) et non d'abondances ( $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ). Il sera nécessaire de vérifier si ces données peuvent néanmoins servir au calcul des rapports de certains groupes fonctionnels (PH1-Zooplancton).

## 2.2.4. Discussion

L'analyse détaillée de l'opérationnalité des indicateurs PH1, PH2 et PH3 pour l'évaluation des Habitats pélagiques a relevé certaines perspectives de travail qui peuvent être articulées selon 3 axes principaux.

### 2.2.4.1. Poursuivre les développements méthodologiques pour aboutir à des indicateurs BEE opérationnels

En l'absence de valeurs seuils, l'atteinte ou non du BEE n'a pas pu être évaluée en 2018. Des développements conceptuels et numériques ont depuis été réalisés afin d'améliorer l'opérationnalité méthodologique des indicateurs. Ces travaux portent sur la définition :

- de **périodes de référence** qui, pour l'instant, sont considérées comme les périodes précédant l'évaluation. McQuatters-Gollop et al. (2019) ont utilisé la période 2004-2008 comme « période de démarrage » plutôt que comme "période de référence". Cette période de démarrage a été choisie en réponse à la définition de la période réglementaire d'évaluation de la DCSMM sans présager du BEE (ou non) des habitats pélagiques. Idéalement, la période de référence devrait tenir compte d'un ensemble d'observations dans un écosystème marin donné dont on sait avec certitude qu'il est en BEE. Dans une analyse comparative de la réponse des indicateurs BEE aux échelles temporelles d'évaluation considérées, Bedford et al. (2020) ont démontré l'intérêt de prendre en compte des échelles contemporaines récentes (e.g. 6 ans avant la période d'évaluation) pour répondre aux besoins des directives. L'intégration de données acquises à plus long terme (sur plusieurs décennies) permet de considérer les effets de paramètres forçant à plus large échelle (e.g. changement global) et d'inscrire les changements des communautés observés dans un contexte plus global.

- de **seuils de significativité permettant de mettre en évidence des changements majeurs** dans la structure et/ou l'abondance des communautés planctoniques. Les changements temporels entre groupes fonctionnels (PH1), de la biomasse phytoplanctonique (PH2-Phytoplancton) ou de l'abondance zooplanctonique (PH2-Zooplancton) et de la diversité (PH3) reposent sur la significativité de tests statistiques dont la robustesse a déjà été éprouvée (e.g. test de comparaisons de moyennes, changements significatifs dans les tendances). **Il est à noter qu'un changement d'état n'est pas synonyme d'une évolution vers un état dégradé mais uniquement d'une modification dans la structure, les rapports fonctionnels et l'abondance/biomasse des communautés.** Il convient donc d'étudier systématiquement les changements observés (e.g. vers la dominance d'une espèce) et de les interpréter afin de définir s'il s'agit de modifications atypiques (liées à des pressions anthropiques) ou s'il s'agit de modifications naturelles cycliques, à long terme, en réponse à des forçages hydro-climatologiques à grande échelle (e.g. Oscillation Nord Atlantique). Il est également nécessaire de vérifier si de tels changements ont pu avoir lieu dans d'autres écosystèmes comparables, et si ces écosystèmes sont soumis aux mêmes pressions/forçages.

- de **seuil permettant d'évaluer l'atteinte ou non du BEE.** Pour l'indicateur diversité (PH3), Duflos et al. (2018) ont proposé une échelle d'évaluation similaire à l'EQR permettant de normaliser chaque indice de diversité sur une échelle de 0 à 1 (**Figure 9**). Cette méthodologie doit être affinée et validée au 2<sup>nd</sup> cycle. Ces seuils doivent aussi être précisés à l'échelle des SRM. En d'autres termes, il s'agira de définir le pourcentage d'une SRM donnée à partir duquel se produit un changement de diversité des communautés planctoniques.

### Changement dans la diversité de la communauté ?

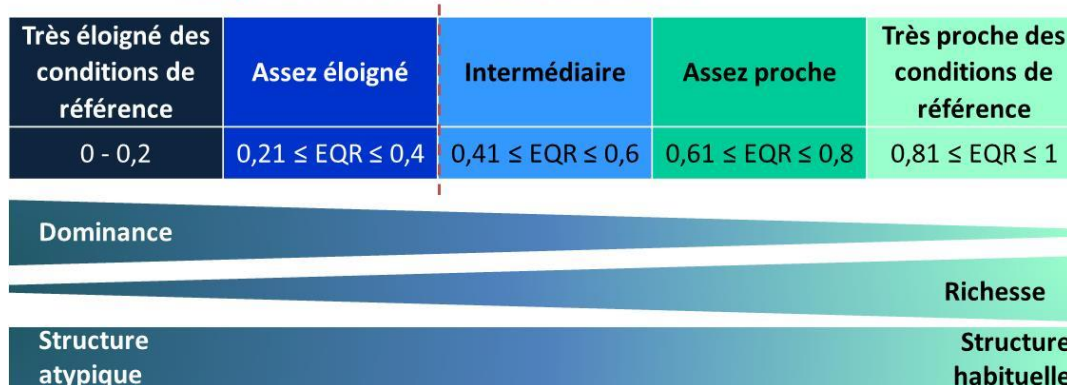


Figure 9 : Proposition de seuils pour l'évaluation de l'indicateur PH3 (d'après Duflos et al. 2018)

- de **méthodes d'agrégation et d'intégration spatiale pour les indicateurs communs** à l'échelle d'un type d'habitat donné. Plusieurs propositions techniques et méthodologiques ont été faites au comité de pilotage scientifique et technique de mars 2019. Des tests complémentaires doivent être réalisés pour vérifier et évaluer l'impact du type de méthode choisie sur l'évaluation BEE (e.g. *one out all out* versus méthode pondérée).

Les avancées réalisées à l'échelle européenne pour faire évoluer les méthodes existantes seront suivies au 2<sup>nd</sup> cycle en vue de leur mise en œuvre pour les futures évaluations.

**Il conviendra de réfléchir également au développement d'approches conceptuelles et d'approches numériques permettant:**

- de **tester la sensibilité des indicateurs à la fréquence d'acquisition des données**. Par exemple, il sera utile de comparer les valeurs d'indicateurs calculés à partir de séries temporelles dégradées (e.g. acquises sur les campagnes dédiées ou optimisées) par rapport à des séries temporelles complètes.
- de **discriminer**, pour des dispositifs à large échelle, ce qui relève de la **variabilité spatiale (hétérogénéité) « naturelle » des communautés de ce qui relève d'un changement d'état du milieu**.
- **d'évaluer, l'impact du remplacement de données manquantes par des données « théoriques calculées »** (e.g. moyennes mobiles) dans des séries temporelles incomplètes. Duflos et al. (2018) n'ont pas considéré dans leurs analyses les séries temporelles présentant des données manquantes sur 4 mois consécutifs. Cela a amené à réduire considérablement le nombre de données disponibles par SRM pour les évaluations. Utiliser des méthodes numériques basées sur des processus itératifs permettrait d'intégrer davantage de séries temporelles (en particulier pour les indicateurs PH1 et PH2), tout en estimant l'incertitude associée au calcul des indicateurs.

#### 2.2.4.2. Proposer de nouveaux indicateurs BEE, adapter les indicateurs existants ?

Comme mentionné en section §.2.1.4.1 et §.2.1.4.5 pour certains types de données (e.g. gélatineux, bactéries; données à très basse fréquence), il convient de **vérifier qu'elles peuvent alimenter les indicateurs OSPAR existants ou s'il faut développer de nouveaux indicateurs** (e.g. projet IZOOGEL).

Il sera aussi nécessaire de vérifier la **pertinence des indicateurs existants en fonction des spécificités hydrologiques des SRM françaises**. En effet, si le rapport PH1 OSPAR « grands copépodes (> 2 mm) versus petits copépodes (<1,9 mm) » apparaît très pertinent pour rendre compte des flux énergétiques dans le réseau trophique, le seuil de taille de 2 mm n'a pas été utilisé dans les travaux récents en SRM MC (Benedetti et al. 2019). Ces auteurs recommandent un seuil de 1 mm pour discriminer efficacement les classes de taille en présence et obtenir des données comparables avec

d'autres travaux publiés (Turner 2004; Razouls et al. 2005-2018). Au cours de l'atelier « zooplancton » du RESOMAR-Pelagos 2019<sup>25</sup>, l'utilisation de données d'abondance pour calculer le rapport fonctionnel « crustacés *versus* zooplancton gélatineux » du PH1 a été discutée. Ce rapport permet de rendre compte de voies trophiques possibles au sein du milieu pélagique. Néanmoins, compte tenu des méthodes d'échantillonnage, des spectres de taille et d'abondance très différents entre ces deux groupes fonctionnels, les experts zooplanctonologues ont recommandé de calculer des rapports des biovolumes plutôt que d'abondance.

Enfin, à l'échelle internationale, d'autres indicateurs sont en cours de développement (Gorokhova et al. 2016 ; Labuce et al. 2020). L'indicateur MSTS (*Mean Size Total Stock*), développé dans le cadre d'HELCOM, repose sur le rapport entre l'abondance ou la biomasse totale et la taille moyenne du zooplancton herbivore. Il constitue un indicateur d'intérêt au titre des descripteurs D1-Habitats pélagiques et D4-Réseau trophique : plus l'indicateur atteint une valeur élevée, plus les communautés zooplanctoniques sont caractérisées par des individus de grande taille (et de forte biomasse). Ces organismes de grande taille constituent des ressources trophiques d'intérêt pour les poissons planctophages et leur présence limiterait l'eutrophisation, les herbivores de grande taille exerçant une forte pression de broutage sur le phytoplancton. Ce type d'indicateur s'avère pertinent pour traiter des données acquises au large en Mer Baltique (40-280 m ; HELCOM 2018) alors qu'en eaux côtières, l'indicateur fournit des réponses très variables amenant à prendre davantage de précautions quant à son utilisation. Labuce et al. (2020) recommandent ainsi des évaluations distinctes à la côte (basées sur l'utilisation de l'abondance totale du zooplancton) et au large (basées sur l'indicateur MSTS). **Au regard des différents types de données acquises par les dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques », il sera intéressant d'utiliser les données acquises par analyses d'images (ZooScan, OPC), de vérifier comment elles peuvent intégrer ce type d'indicateur, et si cela apporte une information complémentaire et pertinente pour l'évaluation du BEE.**

#### 2.2.4.3. Mobiliser les données existantes et établir des liens avec les méthodes déployées dans d'autres directives

- Des travaux à harmoniser avec la DCE pour le phytoplancton

L'élément qualité phytoplancton de la DCE comprend **3 indices** à savoir :

- la **biomasse phytoplanctonique** représentée par la concentration en chlorophylle-*a* (indicateur P90 Chl*a*), cet indicateur étant également utilisé au titre de la DCSMM pour le Descripteur 5- Eutrophisation,
- l'**abondance phytoplanctonique** qui correspond aux efflorescences. Pour cet indice, la métrique utilisée est le pourcentage d'échantillons pour lesquels au moins un taxon dépasse un seuil d'abondance défini de façon différente selon qu'il s'agit de grandes ( $100\ 000\ \text{cell.L}^{-1}$ ) ou de petites cellules phytoplanctoniques ( $250\ 000\ \text{cell.L}^{-1}$ ),
- la **composition phytoplanctonique**. Pour ce dernier indice, l'analyse des groupes pigmentaires du phytoplancton par HPLC est en cours de discussion au niveau national (Lampert et Hernandez-Farinas 2018). Les résultats présentés en GT DCE EL de juin 2019 ont montré le caractère intégrateur de la méthode HPLC permettant de considérer l'ensemble des classes pigmentaires présentes et des classes de taille souvent sous-estimées par comptages en microscopie (e.g. fractions nano- et picophytoplanctoniques ; Bax et al. 2001) qui peuvent être significatives, voire dominantes. Cette approche plus fine des composantes phytoplanctoniques par classes de taille ou groupes est essentielle compte tenu des *preferendum* environnementaux de certaines espèces (Glibert 2016) : une espèce phytoplanctonique donnée pouvant être plus compétitive qu'une autre face à des

---

<sup>25</sup> Construction et mise en place d'un réseau "zooplancton marin" ZOONET. Toulon 19-21 novembre 2019.

apports ponctuels en nitrates et/ou phosphates et peut devenir dominante, impactant la diversité globale des communautés (indicateur PH3).

Cependant, si la plupart des indicateurs BEE est actuellement définie à partir de rapport d'abondance, il conviendra au 2<sup>nd</sup> cycle de vérifier si d'autres types de données peuvent intégrer leurs calculs. Les données issues de l'analyse HPLC pourraient alimenter les rapports entre groupes fonctionnels phytoplanctoniques (indicateur PH1), en particulier les rapports relatifs à la taille du phytoplancton ou aux rapports des grands groupes (diatomées *versus* dinoflagellés) qui sont bien identifiés par ce type d'analyse (cf. **Annexe 2**). Par contre, l'intégration des données HPLC comme descripteur de la diversité taxinomique des communautés est beaucoup plus discutable. Il existe en effet une forte variabilité des pigments accessoires au sein d'un taxon donné (Henriksen et al. 2002 ; Laviale et Neveux 2011). Au contraire, certains marqueurs pigmentaires ne sont pas restreints à un taxon unique, ce qui peut entraîner des difficultés de discrimination pour certains groupes phytoplanctoniques.

Des instruments automatisés sont utilisés et déployés pour identifier les groupes phytoplanctoniques dans le cadre des PdS « Eutrophisation » et « Habitats pélagiques » (cf. **action « Parc instrumenté DCSMM »** et **section 5**). La complémentarité de ces approches avec les mesures HPLC doit être vérifiée afin de s'orienter vers une harmonisation des méthodes de surveillance de la côte au large. Ainsi, si les données acquises par HPLC servent de validation/calibration de techniques innovantes comme les images satellites et la modélisation, elles pourraient également être utilisées pour valider le déploiement de capteurs automatisés basés sur la fluorescence spectrale (type AOA et fluoroprobe).

- **Vers une meilleure mobilisation des données relatives à la composante zooplanctonique**

Lors de l'évaluation 2018 des eaux marines françaises, Duflos et al. (2018) ont souligné le manque de données pour la composante zooplanctonique, expliquant l'opérationnalité globale moindre des indicateurs PH2-Zooplancton (changement de biomasse) et PH3-Zooplancton (changement de diversité). Plusieurs raisons expliquent les différences dans la disponibilité des données phyto- et zooplanctoniques.

Premièrement, la priorité était donnée au premier cycle de surveillance au développement des indicateurs sur le phytoplancton car ces données étaient disponibles. Des avancées significatives ont ainsi été réalisées sur les indicateurs PH-Phytoplancton, en particulier le PH3-diversité (Rombouts et al. 2019).

Deuxièmement, très peu de données « zooplancton » ont été mobilisées et utilisées pour l'évaluation 2018 en raison (i) de problèmes d'accès aux données (e.g. données du suivi IGA, données non bancarisées), (ii) de séries temporelles incomplètes ne permettant pas le calcul des indicateurs selon les critères définis par Duflos et al. (2018 ; le nombre de données manquantes devait être inférieur à 4 mois consécutifs) et (iii) d'un manque de temps pour intégrer les données mises à disposition (e.g. données du RESOMAR-Pelagos).

Plusieurs travaux intéressants la surveillance (e.g. harmonisation des méthodes d'analyse) comme l'évaluation ou le développement d'indicateurs dédiés aux communautés zooplanctoniques sont proposés au 2<sup>nd</sup> cycle (**§. 2.1.4.1**). Ils s'appuieront sur les groupes d'experts nationaux (e.g. ZOONET) et sur les travaux développés à l'échelle européenne (e.g. ICG-COBAM). Ces travaux s'inscrivent à long terme et les orientations proposées ici seront revues en fonction des résultats et développements technologiques réalisés en cours de cycle.

### 2.3. Analyse globale des dispositifs de suivis PdS DCSMM 2<sup>nd</sup> cycle au regard de l'évaluation DCSMM des OE DCSMM en 2024

Il n'existe pas d'objectifs environnementaux (OE) pour ce programme thématique. Néanmoins, en 2017, la coordination OE et les pilotes scientifiques (F. Artigas – LOG CNRS ; A. Lefebvre - Ifremer) avaient identifiés 3 enjeux majeurs pouvant influencer la structure, la distribution et le fonctionnement des habitats pélagiques. Il s'agit plus particulièrement :

- des **structures hydrologiques particulières** (e.g. fronts permanents ou semi-permanents, tourbillons),
- des **zones d'interface terre-mer et des panaches fluviaux** (estuaires, baies semi-fermées),
- des **producteurs primaires, secondaires et des espèces fourrages** (e.g. communautés planctoniques perturbées par les efflorescences de *Phaeocystis globosa* en sous-région marine (SRM) Manche – Mer du Nord (MMN), secteurs d'alimentation pour les prédateurs supérieurs).

Les enjeux relatifs aux structures hydrologiques et aux zones d'interface sont couverts par le programme thématique « Changements hydrographiques » (Descripteur 7 ; cf. Annexe 7 du PdS « Changements hydrographiques »).

Les études s'intéressant à la distribution des composantes phytoplanctoniques (abondance, biomasse, espèces nuisibles et/ou toxiques) et aux facteurs de pression conditionnant les efflorescences (e.g. apports en éléments nutritifs) sont réalisées dans le programme thématique « Eutrophisation » (cf. Annexe 7 du PdS « Eutrophisation »).

### 2.4. Analyse globale des dispositifs de suivis PdS DCSMM 2<sup>nd</sup> cycle en lien avec les autres politiques européennes/ CMR/EM

L'analyse globale des dispositifs de suivi pour le 2<sup>nd</sup> cycle en lien avec les autres politiques européennes, conventions de mer régionale, et états membres a été réalisée selon **trois modalités** :

1/ La modalité « *En lien* » est indiquée lorsque le dispositif est utilisé pour d'autre(s) politique(s) européenne/ou convention(s) de mer régionale,

2/ La modalité « *Lien à établir* » est utilisée lorsqu'il est nécessaire d'approfondir les liens entre le dispositif de suivi et le(s) autre(s) politique(s) européenne(s)/ou convention(s) de mer régionale. Les informations indiquées dans cette catégorie sont des hypothèses et suggestions à approfondir et ne préfigurent pas des réels liens qui pourront être établis dans le futur (et s'ils pourront être établis),

3/ La modalité « *aucun lien* » est utilisée lorsque les données acquises par le dispositif n'ont pas servi à d'autre(s) politique(s) européenne(s) et/ou convention(s) de mer régionale.

Elle a porté sur l'ensemble des dispositifs du suivi du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle (n=17), qu'il s'agisse de dispositifs opérationnels, non opérationnels ou candidats.

#### 2.4.1. Liens établis ou à établir avec les autres politiques européennes et les conventions de mer régionales

**La majorité (10 sur 17 dispositifs) des dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle présente un lien établi avec d'autres directives européennes, principalement avec la convention OSPAR et la DCE (8 dispositifs au total ; Figure 10 et Tableau 10).**

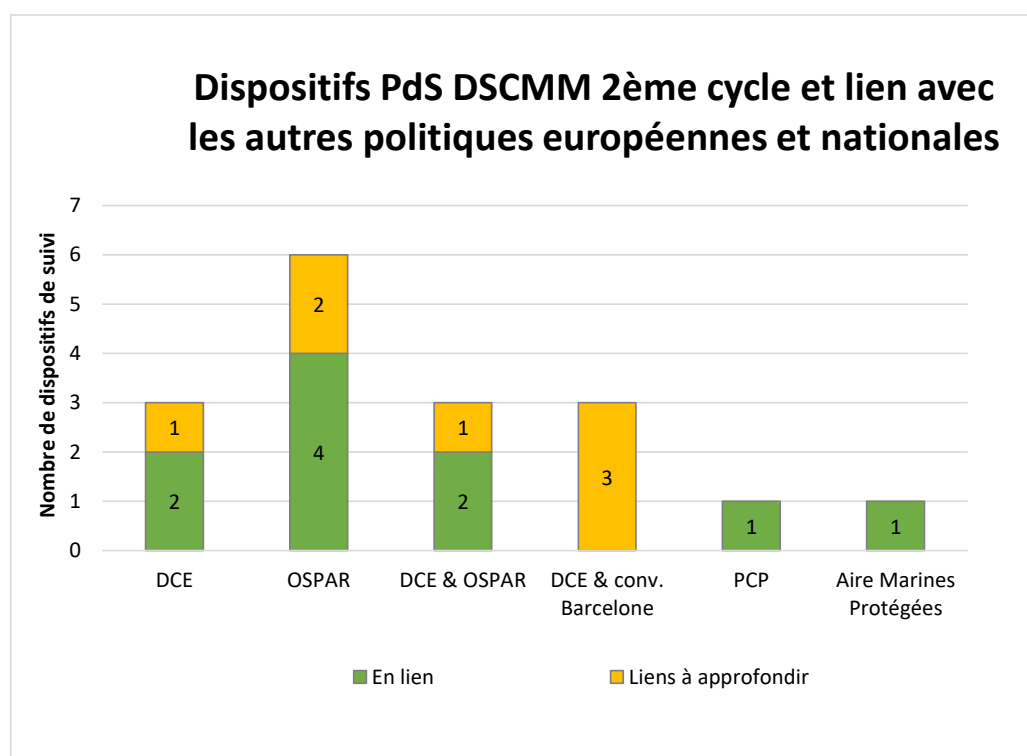
Cela s'explique par l'utilisation des données issues de dispositifs de suivi existants au 1<sup>er</sup> cycle comme les données du RESOMAR-Pelagos et du Continuous Plankton Recorder (cf. §.2.1.4.4) pour l'étude pilote des changements de rapports entre les groupes fonctionnels du plancton (indicateur PH1 ;

OSPAR intermediate assessment 2017a<sup>26</sup>) et à évaluer les changements d'abondance du zooplancton (indicateur PH2 ; OSPAR intermediate assessment 2017b<sup>27</sup>). De la même manière, les données de concentrations en chlorophylle-*a* acquises dans le cadre du **SOMLIT** ont servi à l'étude pilote pour évaluer les changements de biomasse phytoplanctonique dans l'évaluation intermédiaire OSPAR (indicateur PH2 ; OSPAR intermediate assessment 2017b).

Les liens avec la DCE s'expliquent par l'antériorité de cette directive et concernent les dispositifs portés par le PdS « Eutrophisation ». Ainsi, les réseaux de suivi existants (e.g. DCE-REPHY surveillance, Station de suivi en Baie de Calvi STARESO) ainsi que les outils et techniques innovantes ayant fait leur preuve pour l'évaluation de l'état des eaux côtières au titre de la DCE comme de la DCSMM (e.g. observations satellitaires ; modélisation, cf. **Section 5**) contribuent à établir le lien inter-directives pour le PdS « Habitats pélagiques ».

Les liens avec les **politiques nationales** relèvent principalement des suivis existants dans les aires marines protégées pour le suivi des communautés pélagiques (e.g. suivi des communautés planctoniques du PNMI ; cf. **Tableau 5, §.2.1.2**).

Les liens établis avec la **politique commune des pêches** (PCP) reposent sur le dispositif de suivi campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM (cf. §.2.1.4.1).



**Figure 10 : Nombre de dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle présentant des liens (établis ou à approfondir) avec les politiques européennes, nationales et les conventions des mers régionales.**

<sup>26</sup> <https://oap.ospar.org/fr/evaluations-ospar/evaluation-intermediaire-2017/etat-de-la-biodiversite/habitats/modifications-des-communautes-phytoplanctoniques-et-zooplanctoni/>

<sup>27</sup> <https://oap.ospar.org/fr/evaluations-ospar/evaluation-intermediaire-2017/etat-de-la-biodiversite/habitats/modifications-de-la-biomasse-du-phytoplancton-et-de-labondance-d/>

**Tableau 10 : Dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle pour lesquels des liens sont déjà établis (en vert) ou à établir (en jaune) avec les directives européennes et les conventions de mers régionales.**

	NOMS DU DISPOSITIF	DCE	OSPAR	DCE & OSPAR	DCE & BARCELONE	PCP	AMP
<b>LIENS ETABLIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suivis DCE - REPHY Surveillance, PHYTOBS et réseaux régionaux/locaux</li> <li>• Suivi STARESO – Baie de Calvi</li> </ul>	X	-	-	-	-	-
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RESOMAR-Pelagos</li> <li>• Suivis SOMLIT (Service d’Observation en Milieu Littoral)</li> <li>• Suivis stationnels REPHY Observation (hors DCE)</li> <li>• Continuous Plankton Recorder (CPR)</li> </ul>	-	X	-	-	-	-
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle ECO-MARS3D</li> <li>• Observations satellitaires</li> </ul>	-	-	X	-	-	-
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSSM</li> </ul>	-	-	-	-	X	-
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suivis du milieu pélagique des AMPs</li> </ul>	-	-	-	-	-	X
	<b>LIENS A APPROFONDIR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réseau de bouées instrumentées de capteurs multiparamétriques</li> </ul>	X	-	-	-	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Post production OCO</li> <li>• Campagnes DCSSM dédiées Habitats pélagiques</li> </ul>		-	X	-	-	-	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>• IGA - suivis associés aux rejets des centrales nucléaires</li> </ul>				X			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réseau MOOSE (Mediterranean Ocean Observing System for the Environment)</li> <li>• Modèle 3DVAR-OGSTM-BFM</li> </ul>		-	-	-	X	-	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Modèle Méditerranéen (couplé hydrodynamique/Biogéochimie)</li> </ul>							

Pour 7 dispositifs de suivi , des liens peuvent être envisagés avec les politiques européennes et conventions de mer régionales (OSPAR, convention de Barcelone et/ou DCE).

Compte tenu de l’intégration possible des paysages marins actuels dans une approche mutualisée des paysages à l’échelle Européenne, le dispositif « Post production de données d’océanographie côtière opérationnelle » (SP1) alimentant ces paysages (cf. §.2.1.1 et Figure 4) permettrait un renforcement des liens du PdS « Habitats pélagiques » avec la convention OSPAR.

Pour les dispositifs relatifs à des réseaux de suivi côtiers comme le réseau de bouées instrumentées et les suivis IGA intéressant les centrales nucléaires, des liens pourraient être envisagés avec la DCE.

Les renforcements des liens avec la DCE, la convention OSPAR et de Barcelone peuvent également être envisagés pour les dispositifs de suivi relatifs à des déploiements à large échelle spatiale et intéressants la modélisation couplée hydrodynamique/biogéochimie,. A titre d’exemple, en SRM MO, l’utilisation potentielle de modèles couplés hydrodynamique/biogéochimie et répondant de manière cohérente aux besoins de la DCE comme de la DCSSM (modèle 3DVAR-OGSTM-BFM et modèle méditerranéen candidat ; cf.§.2.1.4.3) permettra de renforcer les liens entre ces directives, voire d’envisager des liens complémentaires avec la convention de Barcelone.

## 2.4.2. Renforcement des liens avec les suivis menés conjointement avec les autres états-membres

Les renforcements des liens du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle avec les suivis menés conjointement avec d'autres états membres peuvent être considérés selon deux axes :

### 2.4.2.1. Conserver et intégrer les dispositifs de suivis assurant une collaboration effective entre états membres.

Deux dispositifs de suivi sont concernés par cette catégorie. Ils sont conjoints et coordonnés avec les autres états membres et transversaux au PdS « Eutrophisation ». Il s'agit :

- des **campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM [53]** intégrant des programmes internationaux. Ces dispositifs conjoints et standardisés avec les états membres voisins concernent plus particulièrement les pays riverains de la Mer du Nord (IBTS), de la façade Atlantique (PELGAS, et EVHOE), et de la Méditerranée (PELMED et MEDITs).
- du **réseau MOOSE** (Tintoré et al. 2019 ; Coppola et al. 2019 ; [41]) dont les stations de suivi en mouillage profond (Lion, Dyfamed et Albatros) sont rattachées à l'observatoire **Européen EMSO**<sup>28</sup> (European Multidisciplinary Sea Floor and water column Observatory) et l'infrastructure de recherche associée (EMSO RIC, cf.§.2.4.3.2) visant à promouvoir les systèmes d'observations à large échelle.

### 2.4.2.2. Ouvrir à de nouvelles actions de collaboration entre états-membres

- **Mutualisation de campagnes en mer**

Les **campagnes DCSMM dédiées Habitats pélagiques [61]**, réalisées jusqu'à présent dans certaines SRM (e.g. campagnes ECOPEL 1 et ECOPEL 2 en SRM MMN et MC), constituent des dispositifs candidats pour lesquels des opportunités de coopération avec les états membres pourraient être identifiées. **Ainsi, et sous réserve que la couverture spatiale prospectée soit élargie en dehors des eaux territoriales françaises, il sera possible au 2<sup>nd</sup> cycle d'envisager la mutualisation de certaines campagnes.**

- **Mutualisation d'outils/techniques innovants développés dans le cadre de projets Européens**

**L'utilisation des techniques et/ou équipements innovants** (e.g. images satellites, systèmes d'acquisition de données à haute résolution comme le PocketFerryBox, système automatisé d'analyse par cytométrie du phytoplancton, fluorescence spectrale) **contribue à améliorer la surveillance** et apparaît **complémentaire** (en termes de fréquence d'acquisition et de traitement du signal) **aux techniques classiques d'échantillonnage et d'analyses**. Par exemple, les états membres collaborent actuellement au développement de méthodes et à la proposition d'interfaces utilisateurs adaptées aux traitements des **données Haute Fréquence**. Ainsi, les développements méthodologiques en fluorimétrie spectrale (*Algae Online Analyser*) réalisés par Lefebvre et Poisson-Caillault (2019) permettent de proposer un cadre méthodologique au déploiement de ce type d'équipement pour la surveillance. L'interface développée par Lefebvre et Devreker (2019) pour la visualisation des données du PocketFerryBox sera prochainement disponible sur les navires océanographiques Français de l'Ifremer et pourrait intéresser d'autres états membres. L'application Phyto-ops<sup>29</sup> développée par le Cefas dans le cadre du projet européen JERICO-NEXT permet la visualisation de données phytoplanctoniques issues de différents types d'analyses (HPLC, cytométrie et FerryBox), et pourrait être mise à disposition des états membres lors du 2<sup>nd</sup> cycle.

<sup>28</sup> <http://www.emso-fr.org/EMSO-France>

<sup>29</sup> <http://www.jerico-ri.eu/2019/06/18/phyto-ops-a-tool-for-visualisation-of-phytoplankton-data-from-ferrybox-hplc-and-flow-cytometry/>

L'utilisation de **techniques et/ou équipements éprouvés** permet également de renforcer les liens avec les états membres. A l'échelle européenne, plusieurs projets mettent en œuvre **le traitement d'images satellites pour répondre à des besoins opérationnels ou de gestion du milieu marin**. Trois projets peuvent être cités dans ce contexte :

1/le projet **Interreg S3-EUROHAB** (2017-2021 ; collaboration France – Royaume-Uni) qui vise à développer un système d'alerte relatif à des changements de la qualité des eaux et à la détection d'algues nuisibles et/ou toxiques par image satellite (capteur Sentinel 3),

2/ le programme **JMP-EUNOSAT** (2017-2019) au sein duquel des approches de surveillance conjointes ont été déployées pour appuyer l'analyse d'images satellite. Les données récoltées *in situ* dans différents types de masses d'eau ont ainsi servi de réalité terrain pour étalonner et valider les images satellites et ont contribué à l'établissement de paysages marins à l'échelle européenne (cf. **§.2.1.1**). Ces travaux ont abouti au sein des groupes de travail Hasec-OSPAR<sup>30</sup> à la proposition d'outils d'évaluation de l'eutrophisation sur la base du traitement d'images satellite (COMP-4). Ils ont été initié par le RBINS (Royal Belgium Institute of Natural Sciences) dans le cadre du JMP-EUNOSAT et sont dans la même lignée que ceux développés au niveau Français par les équipes d'Ifremer et d'Argans-ACRI depuis plusieurs années (e.g. AMI TELECHLOR ; cf. **§.5.2.1**). Afin de mutualiser les efforts vers le développement d'outils d'évaluation communs, et d'aboutir à des évaluations homogènes entre les différentes régions OSPAR, des collaborations et discussions entre Argans-ACRI-Ifremer et le RBINS sont envisagées entre mars et décembre 2020. Il s'agira ici de comparer les P90 Chlorophylle-*a* sur une région OSPAR donnée (région II) obtenus par la mise en œuvre des deux produits (RBINS et Argans-ACRI), de démontrer la cohérence des produits dans cette région et de souligner et d'expliquer (si elles existent) les différences qui pourraient être observées.

3/ le projet européen **IFADO**<sup>31</sup> (2017-2021, Interreg Atlantic Area), visant à évaluer la pertinence de techniques innovantes (e.g. analyses d'images satellites, modélisation hydrodynamique, bouées instrumentées et gliders) pour répondre aux besoins de la DCSMM. Les programmes thématiques visés par ce projet concernent principalement le **D1-Habitats pélagiques**, le D5-Eutrophisation et le D10-Déchets mais peuvent également servir à d'autres descripteurs (e.g. D7-changements hydrographiques).

Le **Continuous Plankton Recorder** (CPR) décrit en détails en **§.2.1.4.4**. est également utilisé par le Royaume-Uni car complémentaire des échantillonnages classiques réalisés à l'aide de filets à plancton pour acquérir des données sur les communautés zooplanctoniques (McQuatters-Gollop et al. 2019 ; Edwards et al. 2020). Les trajets du dispositif couvrent certaines SRM françaises (MC, MMN ; **Figure 7A**) et anglaises permettant une **mutualisation des données acquises par différents états membres**. A ce titre, le portail<sup>32</sup> de gestion des données du CPR dispose depuis peu d'outils permettant un accès aux données et leur représentation cartographique.

**Les projets Européens en cours sont des opportunités pour mutualiser les moyens dédiés à la surveillance, contribuer aux développements méthodologiques et techniques, et faciliter l'accès aux données.** A l'échelle européenne, les différentes méthodes déployées dans le cadre du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle couvrent un large éventail de disciplines et sous-entendent l'utilisation de systèmes d'observations et d'équipements (outils automatisés à haute résolution, modélisation, images satellite) très hétérogènes. Ces activités d'observation, de surveillance et/ou de recherche génèrent ainsi un grand nombre de données, ce qui a nécessité le développement de services et d'infrastructures pour fournir un stockage à long terme et des moyens d'accès à ces ressources.

<sup>30</sup> Groupe intersectoriel "Hazardous Substances and Eutrophication" OSPAR.

<sup>31</sup> IFADO : Innovation in the Framework of the Atlantic Deep Ocean

<sup>32</sup> <https://www.cprsurvey.org/data/our-data/>

## 2.4.3. Renforcement des liens au travers des infrastructures Européennes de données et de recherche

### 2.4.3.1. Principales infrastructures de données

Plusieurs infrastructures de données ont été identifiées pour fournir des jeux de données alimentant le PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle mais également d'autres programmes thématiques de la DCSMM (e.g. D7- Changements hydrographiques, D5-Eutrophisation).

- **SeaDataNet**

Le paragraphe suivant est issu d'une synthèse des informations disponibles dans Fichaux et al. (2015), Martin-Guimez et al. (2019) et sur le site internet Ifremer dédié aux infrastructures (<https://www.ifremer.fr/Recherche/Infrastructures-de-recherche/Infrastructures-numeriques/SeaDataNet>).

**SeaDataNet**<sup>33</sup> est une infrastructure pan-Européenne de gestion des données marines et océaniques. Coordonnée par Ifremer, cette infrastructure rassemble 35 pays bordés par les mers européennes. Les données acquises comprennent des mesures *in situ* issues de capteurs et sondes installés sur des navires océanographiques, sur des plateformes, et des données issues de l'analyse d'images satellites. **Il s'agit d'un centre de données unique et virtuel, permettant à un utilisateur recherchant des données, de se connecter aux 35 pays fournisseurs de données à partir d'une seule interface utilisateur.** Des tests automatiques et visuels sont effectués permettant de qualifier les données lors de la génération de produits. Depuis 2016, le projet en est à sa 3<sup>ème</sup> phase de développement. A ce titre, le consortium **SeaDataNet** s'est associé au consortium technique EUDAT qui offre des services de calculs intensifs et des espaces de stockage de type cloud, pour répondre à l'appel d'offre européen concernant les « Infrastructures de recherche avancées ».

- **European Marine Observation and Data network : EMODnet**

En Europe, des projets ont été consacrés au développement de l'infrastructure pan-Européenne SeaDataNet et à l'évolution d'EurOBIS<sup>34</sup> (Ocean Biogeographic Information System) et PANGAEA. Toutefois, pour diverses raisons, une grande partie de ces données est restée hors de portée et donc inaccessible à d'autres utilisateurs potentiels, et la coopération à l'échelle européenne entre ces initiatives est restée limitée. La situation a considérablement évolué depuis le lancement d'**EMODnet (European Marine Observation and Data Network)** en 2009, qui visait à établir un réseau européen global de données et d'observations marines. La mise en place d'**EMODnet** a favorisé la coordination européenne entre un certain nombre de directives et de politiques et des programmes-cadres d'observation et de collecte de données à grande échelle (e.g. GMEMS, *Global Monitoring for Environment and Security maintenant Copernicus*<sup>35</sup>) et GEOSS<sup>36</sup> (*Global Earth Observation System of Systems*).

Aujourd'hui, EMODnet regroupe plus de 150 organisations qui recueillent des données, des métadonnées et des produits de données marines et les rendent plus facilement accessibles à un grand nombre d'utilisateurs. Il comprend actuellement sept sous-portails thématiques : bathymétrie, géologie, physique, chimie, biologie, habitats des fonds marins et activités humaines permettant de couvrir un grand nombre de programmes thématiques de la DCSMM.

- **Copernicus Marine Ecosystem Monitoring Service : CMEMS**

Le **CMEMS** est un service dans lequel les données issues de la modélisation (e.g. 3DVAR-OGSTM-BFM) et de l'analyse d'images satellite sont mises à disposition. Il s'agit d'un service géré par la

---

<sup>33</sup> <https://www.seadatanet.org/>

<sup>34</sup> <https://obis.org/>

<sup>35</sup> <https://www.copernicus.eu/fr/services/marin>

<sup>36</sup> <https://www.earthobservations.org/geoss.php>

commission européenne et mis en œuvre en partenariat avec les états membres, l'agence européenne spatiale (ESA, *European Space Agency*), l'organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques (EUMETSAT<sup>37</sup>), le centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT<sup>38</sup>), les agences de l'union européenne et Mercator Océan. Le programme vise à développer un ensemble de services d'information européens basés sur (i) l'observation de la terre par satellite, (ii) la mise à disposition de données issus de la modélisation hydrodynamique et/ou couplée biogéochimie et (iii) la mise à disposition de données acquises *in situ* à échelle nationale et européenne (Le Traon et al. 2019). Ce service permet de disposer de données hydrodynamiques, physico-chimiques (nutriments et turbidité) et biologiques (chlorophylle-*a*) à différentes échelles temporelles (journalières à annuelles).

Les produits issus du CMEMS englobent une analyse de la situation actuelle, de sa variabilité sur différentes échelles spatio-temporelles, la prévision de la situation à quelques jours et la mise à disposition des enregistrements de données d'années antérieures (e.g. rejeu de modèles depuis 1992 pour Atlantique et Mer du Nord, 1999 pour la Méditerranée). Les mises à jour dépendent du type de produits disponible et peuvent être réalisées en temps réel (mise à jour continue), à fréquence hebdomadaire, mensuelle ou annuelle.

- **GOOS et EuroGOOS**

**GOOS** est un système international collaboratif d'observation de l'océan (**Global Ocean Observing System**) de la commission intergouvernementale de l'UNESCO. Sa composante européenne, **EuroGOOS**, a été fondée en 1994 et compte actuellement 44 membres appartenant à 18 pays européens. Les objectifs d'EuroGOOS sont d'identifier des stratégies et de coopérer pour développer de manière concertée l'océanographie opérationnelle. EuroGOOS s'appuie sur :

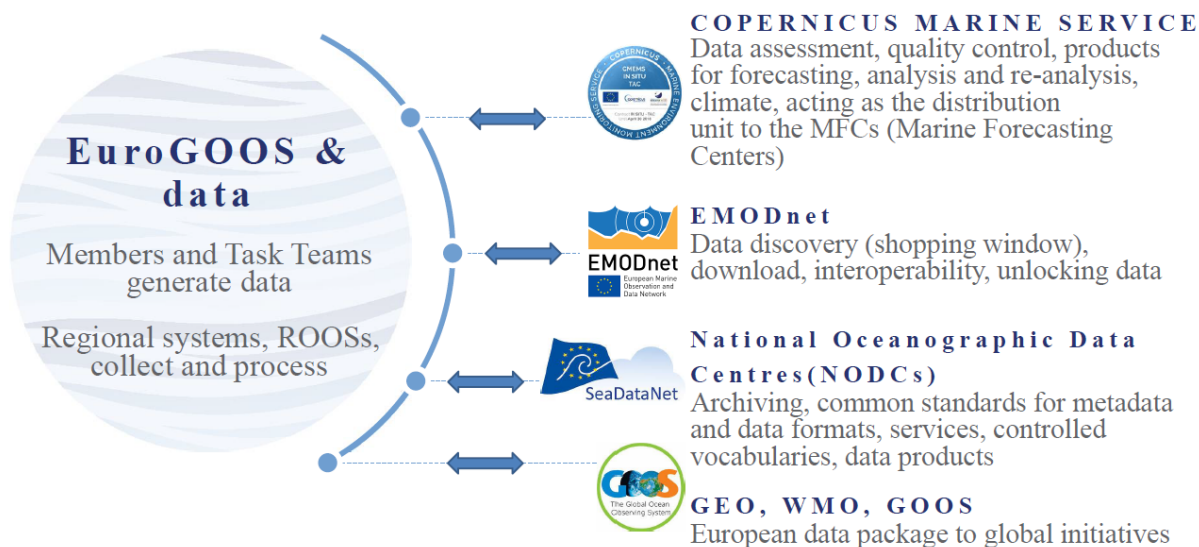
- des groupes de travail définissant des priorités et des normes méthodologiques communes,
- des réseaux opérationnels de plateformes d'observation qui favorisent la synergie et la collaboration technologique entre les infrastructures européennes d'observation de l'océan.

Les membres échangent des outils, collaborent dans des domaines d'intérêt commun et mettent conjointement les données à la disposition des portails régionaux de données EuroGOOS ROOS, qui à leur tour fournissent des données aux portails pan-européens, par exemple **EMODnet** et **CMEMS (Figure 11)**.

---

<sup>37</sup> <https://www.eumetsat.int/website/home/index.html>

<sup>38</sup> <https://www.ecmwf.int/>



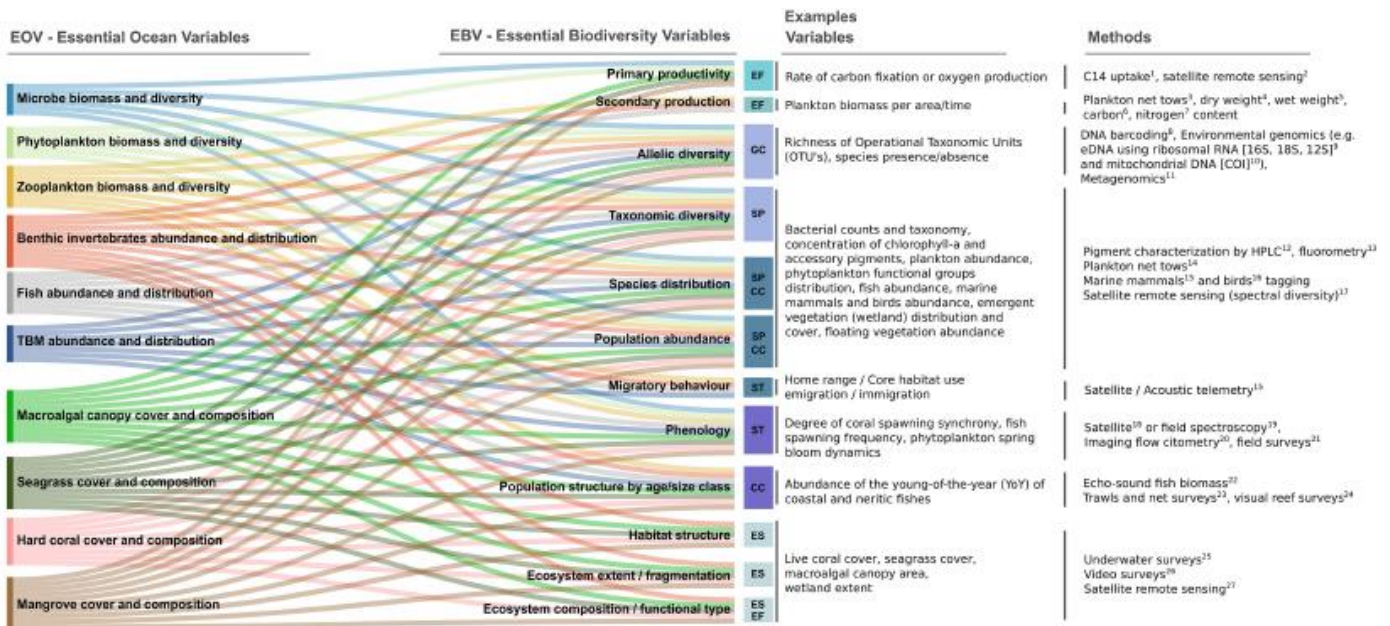
**Figure 11 : Représentation schématique des flux de données entre EuroGOOS et les infrastructures CMEMS, EMODnet, SeaDataNet et GOOS (d'après Gorringer 2018<sup>39</sup>).**

Deux efforts synergiques identifient des variables prioritaires spécifiques pour la surveillance du milieu marin : les variables océaniques essentielles (**OEVs** : *Ocean Essential Variables*), dont le concept a été et est mis en œuvre dans le cadre de GOOS, et les variables essentielles de la biodiversité (**EBVs** : *Essential Biodiversity Variables*) du MBON<sup>40</sup> (Muller-Karger et al. 2018).

Si l'émergence des EOVS n'est pas nouvelle (i.e. elles dérivent des *Essential Climatic Variables* définies dans les 1990s), la définition des EBVs ouvre une voie vers la surveillance opérationnelle et ciblée de la biodiversité (e.g. Turak et al. 2016 ; Kissling et al. 2018). Les EBVs fournissent une mesure de la complexité du vivant qui est totalement pertinente au regard de la structure des communautés, des stocks disponibles et des flux entre composantes de l'écosystème (e.g. mesures de la productivité ; **Figure 12**).

<sup>39</sup>EuroGOOS, EOOS and CMEMS-INSTAC, Exchange of operational data streams. [https://www.emodnet-ingestion.eu/media/emodnet\\_ingestion/org/documents/5-swe-operational\\_oceanography\\_exchange\\_pg\\_april2018.pdf](https://www.emodnet-ingestion.eu/media/emodnet_ingestion/org/documents/5-swe-operational_oceanography_exchange_pg_april2018.pdf)

<sup>40</sup> MBON : Marine Biodiversity Observation Network



**Figure 12. Relation entre Variables Océaniques Essentielles (EOVs), Variables Essentielles de la Biodiversité (EBVs) et méthodes de surveillance.** Les EOVs (à gauche) concernent la taxinomie et la productivité des composantes à la base du réseau trophique (microbes, phytoplancton et zooplancton), de niveaux trophiques supérieurs (invertébrés benthiques, poissons, tortues marines, oiseaux et mammifères) et les espèces constitutives d'habitats (macro-algues, herbiers, mangrove, corail). En revanche, les EBVs (à droite) évaluent les taxons à travers différentes échelles intra-spécifiques (diversité allélique, répartition des espèces, abondance des populations, structure des populations par âge/classe de taille, phénologie), interspécifiques (diversité taxinomique) en tenant compte du contexte écologique (productivité primaire, productivité secondaire, structure de l'habitat, étendue de l'écosystème, fragmentation, composition de l'écosystème / type fonctionnel). Les EOVS sont décrites dans Miloslavich et al. (2018). Les EBVs sont représentées par des codes couleurs selon 6 classes (définies dans Pereira et al. 2013) : composition génétique (GC) ; population (SP) ; traits spécifiques (ST) ; composition de la communauté (CC), structure de l'écosystème (ES) et fonction de l'écosystème (EF).

La conférence mondiale **OceanObs'19**<sup>41</sup> (Hawaï, septembre 2019) s'est inscrite dans cette volonté d'améliorer la gouvernance relative au système mondial d'observation de l'océan. L'une des sessions de cette conférence<sup>42</sup> visait à promouvoir l'intégration des Variables Essentielles de la Biodiversité (EBVs) dans les systèmes d'observation et infrastructures de données pour limiter, dans le futur, la dépendance qui existe actuellement vis-à-vis des Variables Océaniques Essentielles (physiques et chimiques) pour décrire des changements dans l'écosystème.

#### 2.4.3.2. Infrastructures Européennes de recherche

- JERICO, JERICO-NEXT et JERICO S3

Les projets **JERICO (2011-2015 ; FP7)** puis **JERICO-NEXT (2015-2019 ; H2020 ; Farcy et al. 2019)** avaient pour objectifs de créer un véritable réseau européen d'infrastructures dédiées à l'observation côtière. Ces projets ont initié la constitution d'une infrastructure de recherche (IR) qui fournit des données, une expertise et propose des infrastructures marines de haute qualité pour les mers côtières européennes. Les données sont pluridisciplinaires, normalisées, de qualité contrôlée, durables et interopérables, et libres d'accès et d'utilisation par le biais des infrastructures de données mentionnées ci-dessus (e.g. **EMODnet**, **CMEMS**). L'IR JERICO assure un effort multidisciplinaire conjoint pour établir le volet côtier du futur EOOS. **Concrètement, il s'agit d'harmoniser, de pérenniser les différentes méthodes et outils de collecte de données et de prévoir leur évolution, afin de disposer de mesures fiables et communes à l'échelle de l'Europe.**

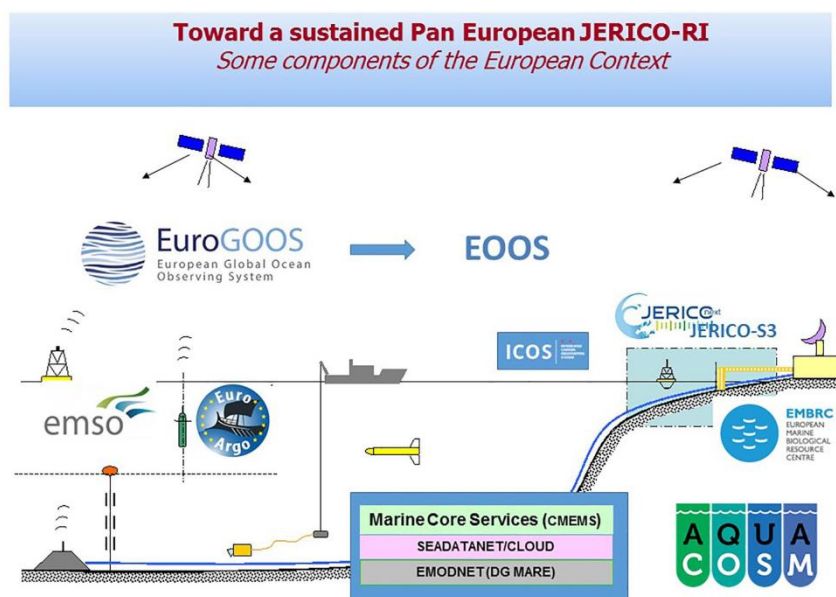
<sup>41</sup> <http://www.oceanobs19.net/>

<sup>42</sup> Ecosystem Health and biodiversity. Recommendations to the OceanObs'19 (OO19) Conference to integrate biological observations into oceanobserving systems as a high priority to measure changing ecosystem and human health. Maury Estes et Gabrielle Canonico

Dans sa première phase, **JERICO** a surtout considéré l'harmonisation des données clés relatives aux paramètres physiques et biogéochimiques comme la température, la salinité, la chlorophylle-*a*, les taux d'oxygène et de dioxyde de carbone dissous.

**JERICO-NEXT**, qui vient de se terminer, a permis de renforcer l'intégration des données biologiques (au sein d'**EMODnet Biology**) en facilitant la standardisation de leur collecte, et en promouvant le développement d'outils de visualisation.

Le projet **JERICO S3** (2020-2024) s'attachera à construire l'infrastructure européenne d'observation par le développement de super sites et de sites régionaux d'observation, et facilitera le partage des données avec les infrastructures existantes (**Figure 13**).



**Figure 13 : Positionnement futur de l'IR-JERICO au sein des infrastructures de données et de recherche européennes (d'après Farcy et al. 2019).**

- **EMSO ERIC (European Multidisciplinary Sea Floor and water column Observatory)**

L'**EMSO ERIC** est une infrastructure de recherche européenne (IR) gouvernée par l'Ifremer et le CNRS. L'objectif principal de cette infrastructure est d'étudier, sur le long terme et en temps réel, les processus environnementaux liés aux interactions entre la géosphère, la biosphère et l'hydrosphère, notamment les risques naturels.

Dans ce sens, l'EMSO vise à acquérir des séries temporelles longues (10 à 20 ans au moins) dans les mers du pourtour européen avec pour objectifs spécifiques (i) d'étudier l'impact du réchauffement climatique sur les mers et océans entourant l'Europe ; (ii) de développer les recherches fondamentales sur les écosystèmes marins profonds en lien avec les facteurs anthropiques et climatiques et (iii) d'aborder des processus tectoniques, volcaniques, hydrothermaux et gravitaires, et la surveillance des risques naturels associés.

L'**Infrastructure de Recherche EMSO-France**, inscrite dans la feuille de route du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESRI), assure le regroupement des initiatives françaises sur les observatoires sous-marins du programme européen et promeut leur ouverture à un maximum d'équipes pluridisciplinaires. L'engagement de la France est motivé par son rôle en gestion de données et en innovation technologique et par le choix des sites d'implantation des observatoires :

- le **site des Açores** sur la dorsale Médio-Atlantique, dans la ZEE du Portugal,

- le **site Mer Ligure**, à l'Est sur la pente de Nice et dans la zone profonde du talus continental niçois, à l'ouest, appuyé au télescope à neutrinos MEUST. Les lignes de mouillages profondes, composantes du dispositif **Réseau MOOSE** intégré au 2<sup>nd</sup> cycle, font partie de ce site d'observation (cf. §.2.1.3 et [41]) :

- le **site Mer de Marmara** sur la faille Nord Anatolienne,
- le **site d'essai en Mer d'Iroise**, au large de Molène (SRM MC).

L'EMSO ERIC contribuera à fournir des données *in situ* sur les eaux profondes par des liens établis avec le CMEMS (**Figure 13**) et le GEOSS et, apportera des informations complémentaires aux systèmes d'observation par satellite (surface et subsurface).

## 2.5. Cohérence du PdS 2<sup>nd</sup> cycle avec l'évaluation communautaire au 1<sup>er</sup> cycle

Dans le document de travail établi par les services de la commission européenne en janvier 2017<sup>43</sup>, la France a identifié **des lacunes en termes de surveillance pour presque tous les descripteurs de la biodiversité (D1) et a prévu d'y remédier**. Ainsi, il apparaît que le PdS « Habitats pélagiques » 1<sup>er</sup> cycle (« D1 water column ») couvre **partiellement les besoins relatifs à l'évaluation du BEE**.

De manière générale, pour le D1 comme pour l'ensemble des PDS développés au niveau Français, les principales recommandations de l'UE portent sur la nécessité :

- *« de poursuivre les efforts de surveillance pour les descripteurs de la diversité biologique et d'adapter le suivi existant (par exemple dans le cadre de la DCE ou de la DHFF/DO) pour atteindre les objectifs de la DCSMM ».*

Dans le PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle, les liens sont clairement établis avec la **DCE** pour 4 dispositifs de suivi, et à établir pour 5 d'entre eux (**Figure 10, cf. §.2.4.2**). Au sein de la Directive **Habitats Faune Flore (DHFF)**, il est important de noter que les Habitats pélagiques n'y sont pas traités individuellement mais comme des habitats « complexes » pouvant être abordés de 3 manières différentes :

1/ selon la typologie EUNIS. Dans ce sens, certains types d'habitats de la DHFF incluent la colonne d'eau comme les grandes criques et baies peu profondes (1160), les estuaires (1130) et les lagunes côtières (1150). **Cependant les habitats pélagiques n'y sont pas évalués de manière indépendante,**

2/ selon leurs caractéristiques physiques (e.g. bancs de sables, cavernes),

3/ selon les habitats EUNIS définis de manière plus restrictive (e.g. récifs, vasières et replats boueux ou sableux exondés à marée basse).

**Ces deux dernières classifications d'habitats ne permettent pas de considérer séparément les habitats pélagiques.**

- *« de poursuivre l'intégration des programmes de surveillance existants en lien avec la législation Européenne (e.g. 2000/60/CE) et les accords internationaux pour atteindre le BEE. Ceci en veillant à ce que les besoins de surveillance spécifiques à la DCSMM soient correctement satisfaits (en termes de portée spatiale ainsi que des éléments, paramètres, habitats et espèces surveillés) ».*

Les paramètres et dispositifs de suivis du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle s'appuient en grande partie sur les suivis entrepris dans le cadre de la DCE. Pour de nombreux dispositifs de suivi (7 dispositifs sur 17 au total), des liens sont potentiellement possibles avec la DCE et/ou les conventions de mer régionales (**Figure 10 et Tableau 10**).

---

<sup>43</sup> COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT accompanying the document Report from the Commission to the European Parliament and the Council assessing Member States' monitoring programmes under the Marine Strategy Framework Directive. SWD/2017/01 final. 01/16/2017, 114pp.

Les indicateurs d'évaluation du BEE pour les Habitats pélagiques sont les mêmes que ceux développés dans le **cadre de la convention OSPAR**. Ils sont également conformes **aux indicateurs communs de la convention de Barcelone** (1 : aire de répartition de l'habitat ; 2 : conditions des espèces et communautés typiques de l'habitat) et les listes d'espèces et de seuils référencés dans le programme de surveillance (EO1 biodiversité ; communautés zoo- et phytoplanctoniques) de la convention de Barcelone.

La nécessité (priorité 1) de suivre la dynamique des populations et les proliférations de zooplancton gélatineux en Méditerranée est annexée à la liste des espèces et habitats de référence sous la typologie « communautés zooplanctoniques »<sup>44</sup>. Il en est de même pour les HABs<sup>45</sup> (micro-algues nuisibles et/ou toxiques) qui apparaissent sous la typologie « communautés phytoplanctoniques ». Le développement d'actions dédiées aux développements d'indicateurs spécifiques du plancton gélatineux (**cf.§.2.1.4.1**) répond totalement aux priorités éditées par la convention de Barcelone et s'appuie sur un dispositif de suivi existant (campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM) dont les données n'ont pu être exploitées au 1<sup>er</sup> cycle.

- *« de développer des approches et une coopération plus transfrontalières en matière de surveillance, en particulier pour les espèces mobiles, qui se déplacent fréquemment entre les eaux des états membres ».*

La relative passivité des organismes planctoniques vis-à-vis des mouvements des masses d'eau en fait des témoins pertinents des changements hydro-climatiques, et les rend susceptibles d'être transportés sur de longues distances dans des eaux transfrontalières. Afin d'expliquer la distribution spatiale des communautés planctoniques, la prise en compte de phénomènes hydrodynamiques à plus large échelle que celles envisagées par la DCSMM est nécessaire. Le PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle répond à cette recommandation :

- en intégrant des dispositifs de suivi reposant sur des suivis conjoints et coordonnés à l'échelle européenne (e.g. campagnes halieutiques DCF optimisées ; **cf.§2.1.4.1**) et/ou pouvant être mutualisés (e.g. campagnes dédiées DCSMM à planifier ; **cf.§2.1.4.2**),
- en proposant l'intégration de dispositifs rattachés à des réseaux européens d'observation (e.g. réseau MOOSE ; **[41] cf.§.2.1.3**) ou à des infrastructures de données et services européens (e.g. CMEMS ; **cf.§.2.4.3**),
- en contribuant au développement et au déploiement sur des campagnes dédiées ou pérennes de techniques/équipements validés (e.g. CPR) et innovants développés dans le cadre de projets européens (e.g. IFADO, **cf.§.2.4.2.2**).

- *« de renforcer la cohérence et les synergies avec les autres états membres pour continuer à mettre en œuvre des programmes de suivi coordonnés et conjoints développés au niveau régional et sous-régional et améliorer la comparabilité et la cohérence des méthodes de suivi à l'échelle des régions marines (en particulier en examinant la portée, la couverture, la fréquence et le choix des indicateurs) ».*

Poursuivre les contributions à certains groupes de travail à l'échelle des conventions de mer régionale constitue également une priorité du programme thématique au 2<sup>nd</sup> cycle. Il s'agira plus particulièrement de contribuer aux développements méthodologiques sur les indicateurs BEE au sein des groupes OSPAR (ICG-COBAM-PH et ICG-COBAM-FW, Food Web).

Les suivis des développements et recommandations des groupes de travail du CIEM seront aussi très importants et concerneront plus particulièrement :

---

<sup>44</sup> Appendix 1 Reference list of species and habitats in Integrated Monitoring and Assessment Programme of the Mediterranean Sea and Coast and Related Assessment Criteria. Decision IG22/7 – 34pp.

<sup>45</sup> HAB : Harmful Algal Blooms

- le **WG – IMT** (*Integrated Morphological and Molecular Taxonomy*) qui s'intéresse à la reconnaissance des espèces, la discrimination et l'identification des métazoaires zooplanctoniques marins. Les objectifs plus spécifiques de ce groupe concernent la détection d'espèces cryptiques et la détermination des relations évolutives/systématiques entre les espèces de métazoaires pélagiques.

- le **WG – PME** (*Phytoplankton and Microbial Ecology*) qui fournit des expertises et des conseils relatifs aux stratégies et méthodes d'échantillonnage et aux questions relevant de la diversité du phytoplancton et des micro-organismes marins (e.g. virus, bactéries, microzooplancton). Ce groupe de travail contribue également à l'échantillonnage des communautés planctoniques dans l'Atlantique Nord-Est et à l'analyse de séries temporelles (e.g. utilisation de modèles et d'outils statistiques) permettant d'appréhender la variabilité des communautés en fonction du changement global, de l'eutrophisation et de l'acidification. Ces évolutions sont totalement en ligne avec les recommandations issues de la dernière réunion de l'ICG-COBAM (novembre 2019) et visant à aboutir à des travaux coordonnés sur les indicateurs avec le groupe de travail s'intéressant à l'acidification des océans (WG – OA, *Ocean Acidification*).

L'ensemble de ces travaux menés à l'échelle européenne alimenteront le PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle dès lors qu'ils permettent, par le biais d'approches complémentaires, (stratégies d'échantillonnage, outils d'analyses, traitements numériques des données) et à différentes échelles spatio-temporelles d'observation :

- d'aboutir à **une harmonisation de la surveillance des communautés planctoniques** à échelle régionale, les recommandations pouvant ensuite être appliquées à l'échelle nationale,
- de **mieux intégrer des composantes peu ou pas considérées au 1<sup>er</sup> cycle de surveillance** comme les micro-organismes hétérotrophes (e.g. bactéries, virus, microzooplancton ; cf.§.2.1.4.5),
- d'appréhender les **forçages physiques (hydrodynamiques), chimiques (physico-chimiques) et biologiques (interactions trophiques)** pouvant expliquer les variabilités observées. Ce dernier volet permettra de mobiliser davantage les données contextuelles et de les relier à la dynamique des communautés planctoniques (cf.§.2.1.1)

### 3. Principales orientations pour les PdS DCSMM 2<sup>nd</sup> cycle

#### 3.1 Bilan des dispositifs de suivi opérationnels au titre de la DCSMM à maintenir ou intégrer dans le PdS 2<sup>nd</sup> cycle

Un **dispositif** répond à cette catégorie. Il s'agit du dispositif « Post-production de données d'Océanographie Côtière Opérationnelle », porté par le D7- Changements hydrographiques et présenté en section §.2.1.1 (Figure 4). Pour une description détaillée, se référer à l'Annexe 7 du PdS « Changements hydrographiques » (SP1-Hydrodynamisme et Hydrologie).

#### 3.2. Bilan des dispositifs de suivi non opérationnels à maintenir/intégrer dans le PdS 2<sup>nd</sup> cycle

**Le PdS « Habitats pélagiques » comprend 10 dispositifs de suivi non opérationnels à maintenir ou à intégrer au 2<sup>nd</sup> cycle (Figure 3, Tableau 11).**

Ils sont mutualisés avec le D5-Eutrophisation et certains sont communs avec le D7-Changements hydrographiques. Si certains de ces dispositifs sont portés par des PdS parents, la description détaillée est reprise dans les fiches fournies dans le fichier '**Fiches dispositifs PdS Habitats pélagiques – Annexe 7**' car les données acquises n'alimentent pas les mêmes types d'indicateurs d'un PdS à l'autre. Ainsi, certaines catégories de ces fiches (opérationnalité, indicateurs BEE, OE, pertinence du dispositif) ne sont pas évaluées de la même manière. Afin de limiter le nombre de fiches présentées, lorsque plusieurs Sous-Programmes concernaient un même dispositif de suivi, ils ont été regroupés dans la même fiche.

**Tableau 11 : Dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle NON OPERATIONNELS à maintenir ou à intégrer. Sont indiqués les Sous-Programmes de rattachement (SP), les liens avec les indicateurs BEE et les SRM concernées. SP1 : Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie ; SP2 : Phytoplancton ; SP3 : Zooplancton. (✓) : Les données acquises ne peuvent alimenter que partiellement le calcul des indicateurs ; ✓ : Les données acquises peuvent alimenter, en l'état le calcul des indicateurs BEE ; ✗ : les données acquises ne permettent pas le calcul de l'indicateur**

Noms du Dispositif	SP	PH1	PH2- PHYTO	PH2- ZOO	PH3- PHYTO	PH3- ZOO	MMN	MC	GDG		MO	DETAILS
									NORD	SUD		
Suivis DCE - REPHY Surveillance, PHYTOBS et réseaux régionaux/locaux	SP1 SP2	(✓)	✓	✗	✓	✗	X	X	X	X	X	[1]
Suivis stationnels REPHY Observation (hors DCE)	SP1 SP2	(✓)	✓	✗	✓	✗	X	X	X	X	X	[5]
Modèle ECO-MARS3D	SP1 SP2	(✓)	✓	✗	✗	✗	X	X	X	X	-	[9]
Observations satellitaires	SP1 SP2	(✓)	✓	✗	✗	✗	X	X	X	X	X	[13]
Suivis SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral)	SP1 SP2	(✓)	✓	✗	✓	✗	X	X	X	X	X	[16]
RESOMAR-Pelagos	SP1 SP2 SP3	(✓)	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	[21]
IGA - suivis associés aux rejets des centrales nucléaires	SP1 SP2 SP3	(✓)	✓	✓	✓	✓	X	-	-	-	-	[27]
Suivi STARESO – Baie de Calvi	SP1 SP2 SP3	(✓)	✓	(✓)	✗	(✓)	-	-	-	-	X	[32]
Suivis du milieu pélagique des AMPs	SP1 SP2 SP3	(✓)	✓	✓	✓	(✓)	-	X	-	-	-	[36]
Réseau MOOSE (Mediterranean Ocean Observing System for the Environment)	SP1 SP2 SP3	(✓)	✓	✓	(✓)	(✓)	-	-	-	-	X	[41]

### 3.3. Bilan des dispositifs de suivi candidats pour le PdS 2<sup>nd</sup> cycle

**Le PdS « Habitats pélagiques » comprend 6 dispositifs de suivi candidats pour le 2<sup>nd</sup> cycle (Tableau 12).** L'ensemble des dispositifs de suivi sont transversaux avec le PdS « Eutrophisation » et un dispositif (réseau de bouées instrumentées de capteurs multiparamétriques) est transversal au PdS « Changements hydrographiques » (cf. **Tableau 7 ; cf.§.2.1.4.**).

Sont indiqués ici les dispositifs candidats pour lesquels des réflexions sont en cours. S'y ajoutent les dispositifs de suivi associés au **SP4 – Micro-organismes** et pour lesquels les actions de surveillance n'ont pas débutées (**Tableau 9 ; cf.§.2.1.4.5**). Les dispositifs concernés et affichés en grisés dans le **Tableau 12** sont des dispositifs non opérationnels identifiés dans la section 3.2 et qui sont candidats au regard du SP4.

Les fiches détaillées sont présentées dans le fichier « **Fiches dispositifs PdS Habitats pélagiques – Annexe 7** ». Afin de limiter le nombre de fiches présentées, lorsque plusieurs Sous-Programmes concernaient un même dispositif de suivi, ils ont été regroupés dans la même fiche.

**Tableau 12 : Dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle CANDIDATS.** Sont indiqués les Sous-Programmes de rattachement (SP), les liens avec les indicateurs BEE et les SRM concernées. SP1 : Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie ; SP2 : Phytoplancton ; SP3 : Zooplancton ; SP4 : Micro-organismes. (✓) : Les données acquises ne peuvent alimenter que partiellement le calcul des indicateurs ; ✓ : Les données acquises peuvent alimenter, en l'état le calcul des indicateurs BEE ; ✗ : les données acquises ne permettent pas le calcul de l'indicateur

Noms du Dispositif	SP	PH1	PH2- PHYTO	PH2- ZOO	PH3- PHYTO	PH3- ZOO	MMN	MC	GDG NORD	GDG SUD	MO	DETAILS
		Réseau de bouées instrumentées de capteurs multiparamétriques	SP1 SP2	✗	(✓)	✗	✗	✗	X	X	X	X
Campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM	SP1 SP2 SP3	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	X	X	X	X	X	[53]
Campagnes DCSMM dédiées Habitats pélagiques	SP1 SP2 SP3 SP4	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	X	X	-	-	-	[61]
Continuous Plankton Recorder (CPR)	SP2 SP3	(✓)	✗	✓	(✓)	(✓)	X	X	X	X	-	[85]
Modèle 3DVAR-OGSTM-BFM	SP1 SP2 SP3 SP4	(✓)	✓	✗	✗	✗	-	-	-	-	X	[77]
Modèle Méditerranéen couplé Hydrodynamisme/Biogéochimie	SP1 SP2	(✓)	✓	✗	✗	✗	-	-	-	-	X	[82]
RESOMAR-Pelagos	SP4	(✓)	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	[21]
Suivis SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral)	SP4	(✓)	✓	✗	✓	✗	X	X	X	X	X	[16]
Réseau MOOSE (Mediterranean Ocean Observing System for the Environment)	SP4	(✓)	✓	✓	(✓)	(✓)	-	-	-	-	X	[41]

## 4. Analyse des sciences participatives

Les sciences participatives sont définies, selon le collectif national sciences participatives biodiversité (2012), comme « *des programmes de collecte d'informations impliquant une participation du public dans le cadre d'une démarche scientifique. L'application de ces sciences participatives au domaine de la biodiversité se décline en 3 objectifs : (i) avoir des données sur la nature et la biodiversité pour étudier son état de santé (monitoring à long terme) ; (ii) produire des outils de sensibilisation et d'éducation à la nature et à la biodiversité et (iii) former une communauté et mobiliser autour d'enjeux liés à la nature* »

### 4.1. Analyse critique des programmes de sciences participatives

Les dispositifs relevant de sciences participatives n'ont pas été mobilisés au 1<sup>er</sup> cycle de surveillance. Quatre raisons majeures ont constitué et constituent à l'heure actuelle des freins à leur intégration au PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle et, amènent à les classer dans la catégorie des dispositifs candidats.

- Premièrement, il s'agit, pour la plupart, de dispositifs permettant l'acquisition de **données qualitatives** (présence/absence) ou **semi-quantitatives** (indice d'abondance) ne pouvant alimenter directement le calcul des indicateurs BEE (qui sont basés sur des données quantitatives),
- Deuxièmement, les **fréquences d'acquisition** (aléatoires, variables et/ou dégradées) ne sont pas compatibles avec le calcul des indicateurs BEE qui sont actuellement basés sur des données acquises à fréquence stable (journalière à mensuelle),
- Troisièmement, **ces données ne sont pas toutes validées scientifiquement**,
- Quatrièmement, **la bancarisation des données n'est pas toujours réalisée**. Lorsqu'elle l'est, les systèmes de bancarisation ne sont pas compatibles avec les données bancarisées dans les systèmes d'information existants (SIMM ou SEXTANT).

### 4.2. Programmes ou dispositifs de sciences participatives candidats

Le recensement réalisé par le collectif Vigie Mer au cours de l'année 2019 a permis d'identifier **8 dispositifs de sciences participatives pouvant être associés au programme thématique « Habitats pélagiques »** (Tableau 13). Deux de ces dispositifs (Phénomère et Objectif plancton) peuvent potentiellement alimenter le SP2-Phytoplancton du PdS « Habitats pélagiques » et sont transversaux avec le PdS « Eutrophisation ». Les autres dispositifs alimentent tous le SP3-Zooplancton et intéressent plus particulièrement le macroplancton gélatineux (méduses, cténaires).

Les fiches détaillées correspondantes à ces dispositifs sont présentées dans le fichier « **Fiches dispositifs PdS Eutrophisation – Annexe 7** ».

#### 4.2.1. Dispositifs de sciences participatives candidats associés au phytoplancton

- Objectif plancton

**Objectif Plancton**<sup>46</sup> est une action de science participative originale menée avec le soutien des acteurs du monde maritime (associations Les Glénans, Cap vers la nature, ANSEL et Astrolabe Expéditions) initiée par Océanopolis et avec la participation de la station de biologie marine de Concarneau, l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM), l'observatoire du plancton de Lorient, l'Ifremer et la fondation Explore. Elle offre l'opportunité unique de pouvoir échantillonner le plancton (par prélèvement d'eau ou par le biais de filets) en différents points de manière simultanée.

---

<sup>46</sup> <http://www.stationmarinedeconcarneau.fr/fr/station/sciences-participatives/objectif-plancton-2306>

Cette opération permet de mobiliser, quatre fois par an, entre 10 et 20 bateaux sur les côtes de Brest, Concarneau et Lorient assurant ainsi une large couverture spatiale des communautés planctoniques à certains moments de l'année. Les données acquises actuellement sont qualitatives (i.e. espèces observées) et des discussions sont en cours pour initier l'analyse quantitative des échantillons (dénombrement et calcul d'abondance). **L'inaccessibilité des données constitue le frein majeur à l'intégration de ce dispositif au 2<sup>nd</sup> cycle.**

**Tableau 13 : Dispositifs de sciences participatives CANDIDATS du Pds « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle.** Sont indiqués les Sous-Programmes de rattachement (SP), la transversalité avec d'autres descripteurs de la DCSMM (D5-EUTRO : Eutrophisation) et les SRM concernées. SP1 : Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie ; SP2 : Phytoplancton ; SP3 : Zooplancton.

Noms du dispositif candidat associé aux Sciences participatives	SP	Transversalité	MMN	MC	GDG	GDG	MO	DETAILS
					NORD	SUD		
Objectif plancton	SP1 SP2 SP3	D5 - EUTRO	X	X	X	X	-	[89]
Phenomer	SP2	D5 - EUTRO	X	X	X	X	X	[92]
Cybelle Méditerranée	SP3	-	-	-	-	-	X	[94]
Biolit – Nouveaux arrivants	SP3	-	X	X	X	X	X	[96]
Biolit – A vos observations	SP3	-	X	X	X	X	X	[98]
CIGESMED for divers	SP3	-	-	-	-	-	X	[100]
Opération Méduses	SP3	-	X	X	X	X	X	[103]
Base pour l'inventaire des observations Sub-aquatiques (BioObs)	SP3	-	X	X	X	X	X	[105]

- **Phenomer**

Depuis 2013, l'Ifremer et ses partenaires (organismes institutionnels et gouvernementaux, centres de recherche et associations) ont lancé, à l'échelle de la Bretagne et du département de la Loire-Atlantique, **Phenomer**<sup>47</sup>, un projet de science participative. Ce projet invite les citoyens à signaler des phénomènes d'eaux colorées dus aux proliférations massives de micro-algues. *Phenomer* a des objectifs à la fois scientifiques et pédagogiques. Il vise également à une meilleure sensibilisation du public vis-à-vis du phytoplancton. À partir des signalements, les scientifiques peuvent prélever des échantillons d'eau de mer et les analyser, pour étudier la biodiversité des efflorescences et mettre en place de nouvelles actions de recherche spécifiques. Siano et al. (2018) ont ainsi montré que *Phenomer*, tout en prouvant la motivation des citoyens sur ce sujet, pouvait compléter les observations fournies par les réseaux de surveillance : pendant la période 2013-2015, entre 48% et 78% des observations effectuées par les citoyens étaient hors du périmètre du REPHY. De plus, *Phenomer* a permis non seulement d'estimer la couverture spatiale et la durée de certains phénomènes d'eaux colorées, mais aussi de mettre en évidence la présence de nouvelles espèces potentiellement toxiques en Bretagne.

Un certain nombre de facteurs peuvent moduler la qualité des données acquises comme la fréquentation d'un site côtier liée à son accessibilité, la perception individuelle d'un phénomène dit « anormal » (couleur inhabituelle de l'eau), la sensibilité du public vis-à-vis de l'environnement et des risques écologiques potentiels induits par des proliférations algales.

<sup>47</sup> <https://www.phenomer.org/>

**Ce dispositif de science participative, sous réserve qu'il soit systématiquement associé à des analyses taxinomiques, pourrait constituer une aide à l'interprétation pour mieux comprendre les changements d'abondance (PH2-Phytoplancton) et de diversité (PH3-phytoplancton) lors des efflorescences.**

#### 4.2.2. Dispositifs de sciences participatives candidats associés au zooplancton

La majorité des dispositifs de sciences participatives associés au PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle concerne **l'observation de macroplancton gélatineux principalement des méduses et des cténaïres.**

Pour les projets **Biolit (« Nouveaux arrivants » et « à vos observations »)**, la consultation des données disponibles en ligne a démontré que les observations principales répertoriées à l'heure actuelle concernent les organismes benthiques. **Ces dispositifs ne pourront être mis en appui du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle que si les données acquises constituent une réelle aide à l'interprétation pour les travaux relatifs au plancton gélatineux (cf. §.2.1.4).**

Les autres projets cités (CIGESMED for divers, opération méduses, BioObs) sont associés à des observations en plongée, en pleine eau et considèrent également des données d'échouage. L'ensemble de ces données peuvent constituer un réel appui pour mieux comprendre les dynamiques spatio-temporelles des communautés à l'échelle locale, en particulier pendant les périodes de proliférations, qui coïncident le plus souvent avec davantage d'observations.

## 5. Analyse des nouvelles technologies

Les technologies innovantes présentent un grand nombre d'avantages, comme la possibilité d'estimer et d'acquérir des données sur une large couverture spatiale (télé-détection, modélisation numérique) ou temporelle (instruments à haute résolution, systèmes automatisés) et d'accéder à une résolution taxinomique poussée par le biais des outils moléculaires. **L'utilisation de ces technologies est essentielle pour améliorer la compréhension des processus qui contrôlent l'abondance, la distribution et la composition des communautés planctoniques ; fournir les données nécessaires pour contraindre et améliorer les modèles écosystémiques et biogéochimiques, et prévoir les changements dans les écosystèmes marins au regard du changement climatique.**

### 5.1. Analyse critique des outils de nouvelles technologies

La contribution des techniques innovantes à l'évaluation des indicateurs BEE de l'état des habitats pélagiques a été analysée en considérant :

- 1/ les techniques pour lesquelles les données acquises peuvent alimenter **en l'état** les calculs des indicateurs BEE (e.g. analyses d'images satellites). La non-opérationnalité des dispositifs associés s'explique par la nécessité de poursuivre les développements numériques sur les indicateurs,
- 2/ les techniques innovantes pour lesquelles **des développements sont nécessaires** et qui sont de fait, classées en **dispositifs candidats** (e.g. modélisation, outils automatisés, systèmes basés sur l'analyses d'images). Pourront être ajoutées au PdS 2<sup>nd</sup> cycle, les techniques relatives aux outils moléculaires (e.g. barcoding, métagénomique, transcriptomique) et qui peuvent s'avérer pertinentes pour la surveillance des micro-organismes (SP4).

Dans les sections suivantes, les dispositifs et outils relatifs aux techniques innovantes sont décrits, en complément des fiches détaillées. Leur pertinence a été évaluée conformément aux critères édités dans la note de cadrage du MTES (e.g. types de données, couverture spatiale, fréquence d'acquisition) et leur niveau de maturité technologique (TRL, *Technology Readiness Level* ; note de 1 à 9) a aussi été évalué (**Figure 14**).

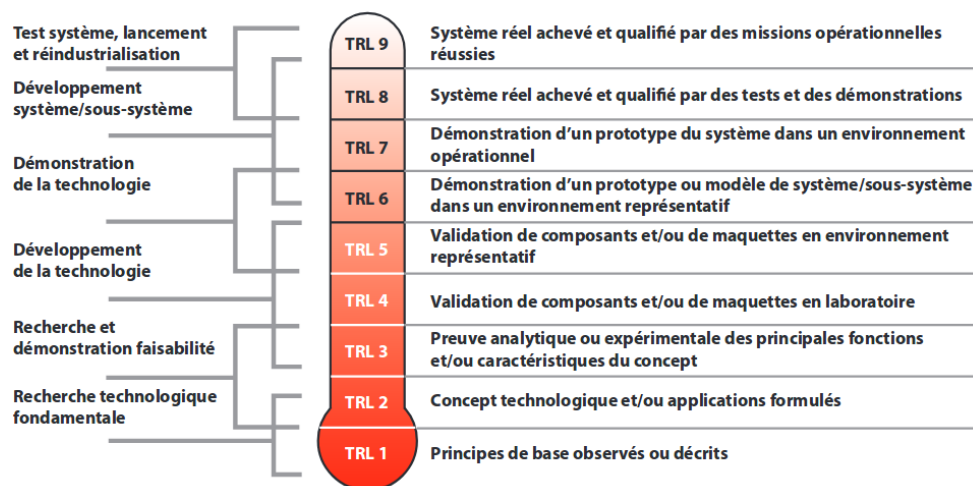


Figure 14 : Echelle et critères d'évaluation de la maturité technologique des dispositifs associés aux nouvelles technologies dans le PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle

## 5.2. Outils ou dispositifs intégrant les nouvelles technologies et faisant partie de dispositifs de suivi non opérationnels

### 5.2.1. Analyses d'images satellites

L'estimation par satellite des paramètres de couleur de l'eau (**observations satellitaires ; [13]**) s'appuie sur des capteurs orbitaux mesurant le signal solaire réfléchi à la surface de la mer (réflectance), après diffusion et absorption dans la couche de surface. Ce signal varie selon les propriétés optiques de l'eau de mer qui dépendent principalement de sa composition, c'est-à-dire de la concentration en chlorophylle-*a* et en matières en suspension. Le potentiel de l'imagerie satellitaire pour la surveillance des masses d'eau (côtières et du large) a été démontré à de nombreuses reprises (e.g. Bizzozero et al. 2018) et la maturité technologique de ce dispositif est reconnue (**TRL8** ; Brewin et al. 2017).

Les données issues des capteurs orbitaux de la NASA tels que MERIS<sup>48</sup>, MODIS<sup>49</sup>, SeaWiFS<sup>50</sup>, VIIRS<sup>51</sup> et OLCI<sup>52</sup> présentent l'intérêt d'offrir une **résolution spatiale de l'ordre du kilomètre**, compatible avec les échelles d'évaluation des SRM, et une **résolution temporelle journalière** (une image pas jour), permettant de dériver une estimation de certains paramètres utiles pour la caractérisation et le suivi des masses d'eau (turbidité, température de surface), de la biomasse (concentrations en chlorophylle-*a*), et de la distribution d'abondance par groupes fonctionnels du phytoplancton (e.g. Alvain et al. 2008). L'algorithme PHYSAT développé par Alvain et al. (2008) permet la détection de cinq groupes phytoplanctoniques (diatomées, nanoeucaryotes, *Synechococcus*, *Prochlorococcus* et *Phaeocystis*) et la cartographie de leur répartition à échelle globale. Cette méthode a été adaptée à échelle locale dans la SRM MO (Navarro et al. 2014, 2017) et dans la SRM MMN (Alvain et al. 2013) en comparant les données satellites aux données récoltées *in situ* (i.e. données pigmentaires par HPLC et/ou de composition phytoplanctonique par comptages optiques ; Convention AFB-Univ. Liège<sup>53</sup> ; ou par cytométrie en flux automatisée ; Thyssen et al. 2015). Les résultats obtenus démontrent une bonne reproduction des données *in situ* par les traitements d'images satellites en ce qui concerne les successions saisonnières des groupes phytoplanctoniques principaux

<sup>48</sup> MERIS : Medium Resolution Imaging Spectro-radiometer Résolution 1km, largeur de champ 1150 km, répétitivité : 2 à 3 jours

<sup>49</sup> MODIS : MODerate resolution Imaging Spectro-radiometer, Résolution 1km, largeur de champ 2350 km, répétitivité : 1 à 2 jours

<sup>50</sup> SeaWiFS : Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor, Résolution 1,1km, largeur de champ 1566 km, répétitivité : au moins 1 jour

<sup>51</sup> VIIRS : Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Résolution 750 m, largeur de champ 3060 km, répétitivité : max 5 jours

<sup>52</sup> OLCI : Ocean and Land Color Instrument Résolution 300 m, largeur de champ 1250 km, répétitivité : 1 à 2 jours

<sup>53</sup> A. Goffard. Elaboration d'une méthode de surveillance de la composition phytoplanctonique à grande échelle. Projet « Indicateur composition phytoplanctonique ». Convention AFB/Univ. Liège.

(Prymnésiophycées, diatomées, et cyanobactéries), et soulignent la nécessité de travaux complémentaires afin d'intégrer la variabilité des communautés à plus long terme et à plus large échelle spatiale.

L'analyse des produits issus **des images satellites s'est avérée totalement adaptée à l'acquisition de données de concentrations en chlorophylle-*a* in situ en surface pour le calcul de l'indicateur PH2** (changement de la biomasse phytoplanctonique ; Duflos et al. 2018). Cependant, **l'utilisation des résultats issus de la discrimination de certains groupes fonctionnels pour le calcul de l'indicateur PH1 n'est pas encore opérationnelle**. Cette technique suppose des validations systématiques par des analyses taxinomiques ou pigmentaires (HPLC) après collecte d'échantillons *in situ*. Comme souligné par Chase et al. (2017), il n'est pas encore établi s'il est possible d'utiliser la télédétection pour obtenir des informations sur la taille et la taxonomie du phytoplancton, au-delà des groupes globalement corrélés à la chlorophylle-*a*.

**Au 2<sup>nd</sup> cycle, il sera important de pérenniser et d'améliorer les outils de production de données de chlorophylle-*a* et de suivre les développements sur la caractérisation des groupes phytoplanctoniques.**

Les algorithmes d'analyses d'images satellites et les capteurs satellites utilisés sont en développement permanents sous l'égide de projets de recherche européens (JMP-EUNOSAT, Gohin et al. 2019 ; Interreg S3-EUROHAB) ou d'appels à manifestation d'intérêt nationaux (AMI Téléchlor<sup>54</sup>). Les avancées et produits issus de ces projets serviront le PdS « Habitats pélagiques » dès lors qu'ils peuvent fournir des interfaces permettant d'évaluer la qualité des eaux aux titres des directives européennes (DCE, DCSMM ; e.g. AMI Téléchlor ; e.g. Ganzin et al. 2010 ; Bizzozero et al. 2018). Il est important d'assurer la pérennisation des chaînes opérationnelles de traitement des images satellites et de transférer ces données vers des infrastructures européennes (CMEMS ; cf.§.2.4.3.1). L'intégration de développements récents, comme par exemple les traitements d'images acquises à haute résolution (300 m), permettra d'estimer l'étendue des phénomènes d'efflorescence ou des panaches turbides à échelle plus fine.

### 5.2.2. Modélisation couplée hydrodynamique/biogéochimie

La maturité technologique des modèles couplés hydrodynamique/biogéochimie est conforme à une opérationnalité démontrée par des tests et des démonstrations dans des écosystèmes donnés (TRL 8). Cependant, même s'ils offrent une opportunité en termes d'évaluation des eaux du large difficilement atteignables par les méthodes conventionnelles (autant en termes de coût financier et humain qu'en termes de temps de traitement), **l'utilisation des produits issus de la modélisation ne peut pas être dissociée de l'obtention de données *in situ* (vérité terrain) qui sont utilisées pour calibrer et valider les résultats des modèles**. Au 2<sup>nd</sup> cycle, les évaluations des habitats pélagiques s'appuieront donc prioritairement sur l'utilisation de données *in situ* et la modélisation sera utilisée, si nécessaire, comme outil complémentaire.

- **Des outils opérationnels pour reproduire la dynamique des communautés phytoplanctoniques**

Deux modèles couplés hydrodynamique/biogéochimie ont été associés aux PdS « Habitats pélagiques » et « Eutrophisation » au 1<sup>er</sup> cycle de surveillance. Il s'agit du modèle ECO-MARS3D [Ménesguen et al. (2018, 2019) ; [9]] pour la façade Manche Atlantique et du Modèle 3DVAR-OGSTM-BFM (hébergé par le CMEMS ; [77]) pour la façade méditerranéenne. Ces deux modèles, comme la plupart des modèles couplés existants, permettent l'acquisition de paramètres alimentant directement les indicateurs BEE des habitats pélagiques, en particulier pour les **communautés phytoplanctoniques** (i.e. concentrations en chlorophylle-*a*, biomasse de groupes fonctionnels).

<sup>54</sup> Appel à Manifestation d'intérêt (AFB) : Apport de la télédétection dans la surveillance opérationnelle de la chlorophylle-*a* dans le cadre de la DCE/DCSMM (Début mars 2019 – durée 18 mois)

Ainsi, les concentrations en chlorophylle-*a* estimées par le modèle ECO-MARS3D sont très conformes aux données *in situ* (e.g. SOMLIT, DCE-REPHY surveillance) et ont déjà été utilisées pour évaluer les changements de biomasse phytoplanctonique (PH2-Phytoplancton ; Duflos et al. 2018) et pour évaluer le critère « concentration en chlorophylle-*a* dans la colonne d'eau » (critère D5C2) du Descripteur 5-Eutrophisation (Devreker et Lefebvre 2018a). Des tests ont également été réalisés par Duflos et al. (2018) pour calculer le rapport Diatomées *versus* Dinoflagellés (indicateur PH1) à partir de la contribution de chacun de ces groupes à la chlorophylle-*a* totale. Cependant, les résultats de ces premiers essais numériques doivent être utilisés avec précaution car il existe des incertitudes, inhérentes à l'utilisation de la modélisation, qui peuvent impacter le calcul des indicateurs.

- Des outils en développement pour les composantes zooplanctoniques (protozoaires et métazoaires)

La plupart de ces modèles biochimiques intègrent les **composantes zooplanctoniques et les micro-organismes hétérotrophes** de manière globale, les considérant comme des consommateurs et des minéralisateurs de matière. Ceci résulte d'un manque d'observations *in situ* permettant de caler les modèles (Buitenhuis et al. 2006) et de l'assomption de processus « bottom-up » dans ces modèles c'est-à-dire qu'ils considèrent que la dynamique des cycles biogéochimiques est forcée par les premières composantes du réseau trophique (phytoplancton). Or, les hétérotrophes (protozoaires et métazoaires) contribuent de manière indiscutable au fonctionnement de la pompe biologique de carbone (e.g. Toullec et al. 2019) et leurs activités alimentaires peuvent expliquer les modifications de la diversité et de la dynamique des communautés phytoplanctoniques. Même si les développements numériques permettent de construire des modèles multi-trophiques plus complexes (Ward 2018), ils restent peu représentatifs de la réelle complexité des composantes zooplanctoniques et sont donc peu utilisés en raison d'un manque de données expérimentales, ou *in situ*, nécessaires à leur validation. La plupart des modèles actuels comme ECO-MARS3D et 3D-VAR-OGSTM-BFM présentent le compartiment zooplanctonique en 2 ou 3 classes (microzooplancton, mésozooplancton) et les taux métaboliques associés à ces organismes sont fixes (e.g. taux de broutage, croissance). **Leur utilisation, si elle est envisagée pour les évaluations, devra tenir compte de l'ensemble des limites mentionnées précédemment.**

### 5.3. Outils ou dispositifs intégrant les nouvelles technologies et faisant partie de dispositifs de suivi candidats

#### 5.3.1. Approches à haute résolution et outils automatisés

Appartiennent à cette catégorie, les systèmes d'acquisition de données à haute fréquence comme :

- les réseaux de **bouées instrumentées munies de capteurs multiparamétriques [48]**. L'analyse de ce dispositif et l'évaluation de sa pertinence pour le PdS « Habitats pélagiques » et le calcul des indicateurs BEE ont été présentées en section §.2.1.4.1. (Tableau 7),
- les instruments et équipements **acquis dans le cadre de la constitution du parc instrumenté DCSMM**. Il s'agit principalement **d'outils dédiés à l'analyse des communautés phytoplanctoniques et des particules** reposants sur la fluorescence spectrale (*Algae Online Analyser* ; Fluoroprobe), la fluorescence variable (Fast Repetition Rate Fluorometer, FRRF) et la cytométrie en flux. La plupart de ces capteurs présente un **niveau de maturité technologique (TRL) de 7 à 9**.

#### 5.3.1.1. Instruments basés sur la fluorescence spectrale

L'**Algae Online Analyser** (AOA) et le **Fluoroprobe** (bbe Moldaenke) sont des instruments de mesure à haute résolution (haute fréquence, échelle de la minute) basés sur la mesure de la fluorescence spectrale. Ils permettent 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 ces instruments (selon les calibrations constructeur) :

- (i) les « algues vertes » (Chlorophytes),
- (ii) les « algues bleues-vertes » (Cyanobactéries à phycocyanine majoritaire),
- (iii) les « algues brunes » (dont les Diatomées et les Dinoflagellés),
- (iv) le groupe dit des « cryptophycées » (Cryptophytes, Rhodophytes et Cyanobactéries à phycoérythrine majoritaire).

D'autres identifications de groupes spectraux sont possibles moyennant l'enregistrement d'empreintes spécifiques de ces groupes pigmentaires/taxinomiques comme cela a pu être réalisé en SRM MMN pour la détection des efflorescences récurrentes de *Phaeocystis globosa* (Houliet et al. 2012). Lorsqu'ils sont couplés à des systèmes de mesures en continu des conditions hydrologiques (type **FerryBox** ou **PocketFerrybox**), ces instruments permettent une analyse à fine échelle de la distribution spatiale des groupes phytoplanctoniques spectraux et des caractéristiques des masses d'eau associées (Lefebvre et Poisson-Caillault 2019 ; Lefebvre et Devreker 2019).

#### 5.3.1.2. Instrument basé sur la fluorescence variable : FRRF

La technique de **fluorescence variable** de type **Fast Repetition Rate Fluorometer (FRRF)** permet d'estimer les rendements photosynthétiques effectifs et optimaux des cellules phytoplanctoniques et d'aboutir à un proxy de la production primaire brute. La version du FRRF dite *Fast Ocean Act2Run* correspond à un capteur semi-automatisé connecté en permanence à un ordinateur pour piloter et enregistrer des mesures de relation photosynthèse-lumière. Ces mesures sont réalisées à partir d'échantillons pompés en continu, sous des éclairages artificiels de type LED selon des gradients d'intensités croissantes, combinant trois longueurs d'ondes différentes afin d'exciter les pigments des cyanobactéries (phycobilines). Il s'agit d'un capteur capable d'optimiser de façon autonome ses réglages en fonction des changements de masses d'eau et de communautés phytoplanctoniques. Ainsi, des estimations de l'état physiologique et de la production primaire peuvent être fournies pour les différentes communautés phytoplanctoniques et être intégrées dans le calcul de **l'indicateur candidat OSPAR FW2, production du phytoplancton (Descripteur 4)**.

Les données acquises par le FRRF n'alimentent pas directement les indicateurs BEE des habitats pélagiques mais servent d'aide à l'interprétation en permettant d'associer la production à la biomasse (concentration en chlorophylle-*a*) et à la diversité des communautés. **Pour aboutir à ce type de relations production-diversité, il est nécessaire d'associer aux mesures de FRRF, des analyses spécifiques des communautés phytoplanctoniques qui peuvent être envisagées par comptages en microscopie ou par cytométrie en flux (classique ou automatisée).**

#### 5.3.1.3. Cytométrie en flux automatisée

L'analyse des composantes phytoplanctoniques s'appuient souvent sur des analyses microscopiques qui limitent la détermination taxinomique aux composantes microplanctoniques, c'est-à-dire de taille > 10-20 µm. L'analyse à haut débit par **cytométrie en flux automatisée (Cytosense/CytoSub, cytobuoy)** permet une analyse à haute vitesse, particule par particule (cellule, colonie), en enregistrant leurs signaux optiques de diffusion et de fluorescence lors de leur interception par un faisceau laser. Par rapport aux cytomètres classiques qui mesurent la taille, la forme et la complexité

des particules, l'approche automatisée de type 'pulse shape recording' permet d'enregistrer en supplément la signature ou « empreinte » optique de chaque particule (Thyssen et Denis 2011). **Il est ainsi possible de caractériser et dénombrer les différents groupes phytoplanctoniques sur la base de leurs propriétés optiques en relation avec leur taille, leur structure, et leur composition pigmentaire.** Équipé d'un module de prise d'images, cet instrument apporte une information visuelle et taxinomique supplémentaire. Un grand nombre d'échantillons peut être analysé en peu de temps (env. 1 échantillon par 10 min) et le spectre de taille couvert par cette analyse est plus important (de 1 à 800 µm) que l'analyse microscopique classique.

Au titre du PdS « Habitats pélagiques », les travaux menés jusqu'à présent ont permis d'appréhender la complémentarité des méthodes automatisées (e.g. cytométrie en flux automatisée, fluorescence spectrale) pour l'étude des communautés phytoplanctoniques (e.g. Bengt et al. 2017) et d'identifier les développements nécessaires pour aboutir à leur utilisation en routine. **Il est ainsi apparu que si certaines procédures opérationnelles peuvent être établies, la normalisation de l'analyse et du traitement des données, ainsi que de la gestion des données doivent encore être développés, le degré d'automatisation variant en fonction des méthodes considérées.**

#### 5.3.1.4. Conclusions et orientations proposées au 2<sup>nd</sup> cycle de surveillance

Ces instruments automatisés sont complémentaires des approches classiques par comptages, et sont particulièrement adaptés à la dynamique des communautés phytoplanctoniques en termes de fréquence de mesures et d'acquisition. Ils présentent l'intérêt de permettre une évaluation rapide de l'abondance et/ou de la biomasse chlorophyllienne, et de discriminer la contribution des grands groupes phytoplanctoniques à cette abondance et biomasse sur la base de leurs propriétés optiques, en y associant les paramètres environnementaux.

Il est fondamental de suivre et de contribuer aux développements associés à ces systèmes automatisés au 2<sup>nd</sup> cycle de la surveillance en particulier :

- de valider leur pertinence pour la **surveillance des micro-organismes (cf. §.2.1.4.5)** en s'appuyant, en priorité, sur l'analyse des données acquises au cours de déploiements antérieurs (e.g. campagnes dédiées DCSMM) ou sur des réseaux de suivi existants (SOMLIT, RESOMAR-Pelagos),
- d'y associer les **routines numériques** de discrimination, classification et d'analyses des données brutes et **les systèmes de bancarisation et/ou les infrastructures de données** permettant le stockage de la très grande quantité de données générée par ces systèmes,
- de **vérifier et valider leur complémentarité par rapport à d'autres techniques innovantes** (e.g. satellites, modélisation) **et classiques** (comptages, analyses pigmentaires par HPLC) pour envisager leur utilisation en routine,
- d'envisager leur utilisation en tant **qu'aide à l'interprétation** avant de considérer leur intégration à plus long terme dans les calculs d'indicateurs.

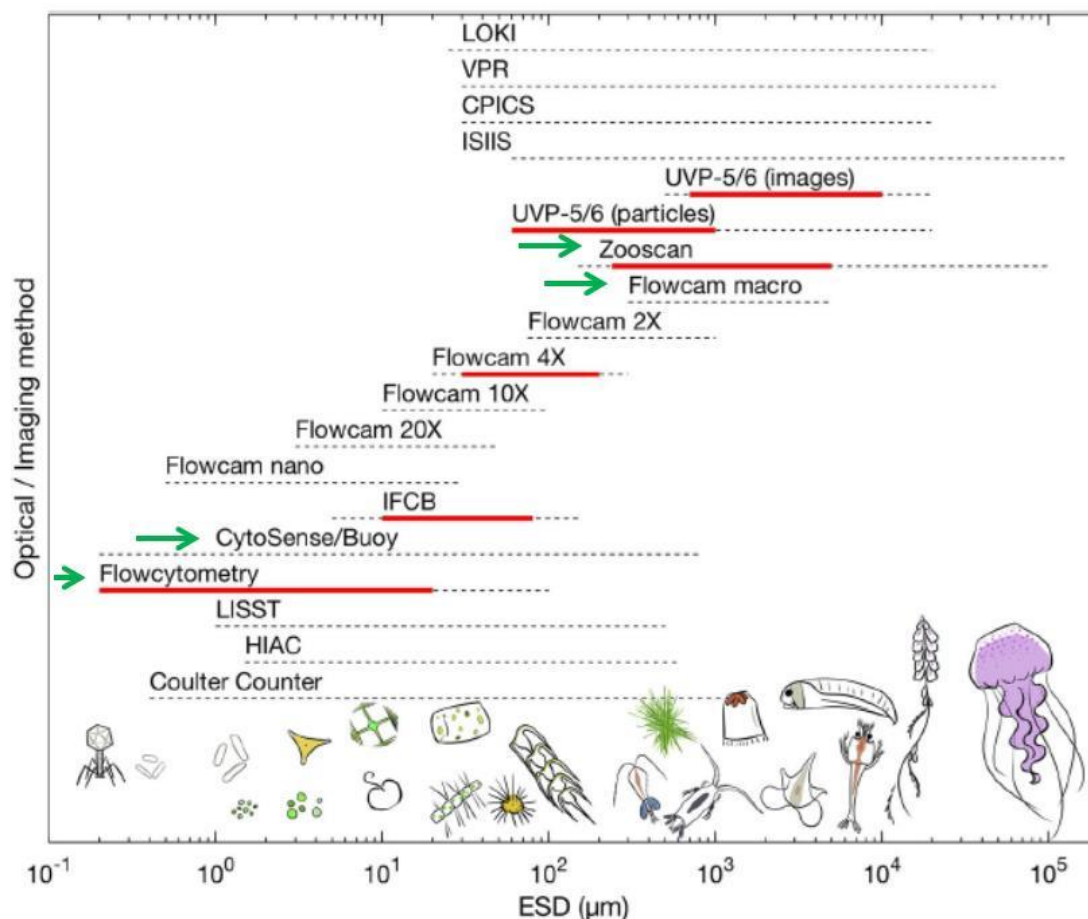
L'analyse des organismes hétérotrophes (présentant une fluorescence moindre que les autotrophes et les mixotrophes) est biaisée par les approches automatisées basées sur la fluorescence. Ces organismes sont en général sous-estimés car non perçus par les instruments automatisés (Reynolds et al. 2010). Afin d'acquérir une vision complète des communautés planctoniques, des systèmes d'acquisition et d'analyses d'images sont très souvent couplés aux outils automatisés.

#### 5.3.2. Systèmes d'acquisition et d'analyses d'images

Les techniques semi-automatisées de dénombrement et de classification du plancton (du picoplancton au macroplancton) sont en cours de développement et ont été appliquées avec succès dans différents types d'écosystèmes marins (e.g. Tara expédition ; Biard et al. 2016). Certaines des techniques utilisées dans l'analyse des communautés zooplanctoniques du PdS « Habitats

pélagiques », **ZooScan** et **ZooCam**, ont été présentées dans la section §.2.1.2.4 de cette annexe, et les orientations de surveillance associées y ont été discutées en détails.

Le challenge le plus important à relever pour l'acquisition et l'analyse d'images est d'aboutir au **meilleur compromis possible entre résolution, contraste, profondeur de champs** d'une image acquise compatible avec la détermination et l'identification des organismes concernés, et ceci dans un volume suffisant pour permettre une estimation quantitative fiable de l'abondance ou de la concentration (revue de Lombard et al. 2019). Ainsi, de nombreux systèmes existent, et leur utilisation dépend des objectifs de surveillance et du type de composantes planctoniques ciblées (**Figure 15**). La collecte d'échantillons par filets ou chaluts peut endommager les organismes les plus fragiles (e.g. plancton gélatineux) et certains de ces instruments (FlowCam, ISIS – *In situ* Ichthyoplankton Imaging System ; UVP-Underwater Video Profiler) permettent des observations directes en étant déployés dans la colonne d'eau. Des logiciels (Plankton Identifier, ZooProcess, Zoo/PhytoImage) sont associés à ces systèmes et servent d'outils de reconnaissance et de classification des images acquises. Les développements méthodologiques associés à l'analyses d'images sont en cours dans le cadre de projets européens (e.g. JERICO-S3 ; cf.§.2.4.3.2.) et permettront, à terme, d'affiner les estimations d'abondance et de biomasse pour les différentes classes de taille considérées.



**Figure 15 : Comparaison des gammes de taille (en diamètre équivalent sphérique) prises en compte par les méthodes d'imagerie.** Les lignes en pointillés correspondent à la gamme de taille pouvant être analysée, la ligne en rouge représente la gamme de taille optimale pour l'obtention de données quantitatives. Les flèches vertes correspondent aux outils mis en œuvre dans le cadre du PdS « Habitats pélagiques » ; la ZooCam fonctionne sur le même principe que la FlowCam macro (modifié de Lombard et al. 2019).

Cependant, de nombreuses incertitudes sont associées à ces techniques et s'expliquent principalement par :

- la superposition des objets sur une image donnée. Cela peut entraîner une sous-estimation de l'abondance planctonique lorsqu'un même objet est composé de plusieurs organismes planctoniques. Inversement, la superposition peut entraîner une surestimation des biovolumes (et donc de biomasse) lorsque plusieurs objets sont classés en une même catégorie planctonique,
- La présence d'objets coupés, c'est-à-dire qui ne sont pas représentés dans leur totalité sur l'image extraite après analyses, qui rendent la détermination plus difficile, voire impossible.

Ces différentes techniques peuvent fournir des informations précieuses relatives à la distribution verticale, à la diversité et à l'abondance d'organismes planctoniques de grande taille (e.g. plancton gélatineux) ou effectuant des migrations journalières verticales sur de plus ou moins grandes profondeurs. **Cependant, leur déploiement n'est pas prioritaire au 2<sup>nd</sup> cycle. Il conviendra en effet de valoriser les données acquises et en cours d'acquisition par le biais des instruments actuellement déployés (ZooScan, ZooCam, Cytosense) et de valider leur pertinence pour le calcul des indicateurs BEE (cf.§.2.1.4.1).**

### 5.3.3. Outils et méthodes moléculaires : des travaux à suivre pour la surveillance des micro-organismes

L'étude taxinomique des communautés planctoniques dépend du niveau d'expertise mobilisé et est parfois impossible lorsque les espèces sont de très petite taille (i.e. résolution optique insuffisante), lorsqu'il s'agit d'espèces cryptiques, mal conservées après échantillonnage (e.g. zooplancton gélatineux) ou en très faible abondance. Ces analyses par comptages et/ou observations sont également très consommatrices en temps, ce qui limite les approches à grande échelle ou à haute fréquence. **Les méthodes moléculaires de barcoding/metabarcoding et métagénomique ainsi que les outils/plateformes de séquençage à haut débit qui se sont développés au cours des dernières décennies sont des outils prometteurs pour la surveillance des habitats pélagiques.**

Le **metabarcoding** consiste à amplifier simultanément un fragment d'ADN spécifique d'une espèce (barcode) à partir de l'ADN total extrait d'un échantillon environnemental à l'aide de courtes séquences d'ADN conservées flanquant le barcode (amorces ; Cristescu 2014). Les fragments obtenus sont ensuite séquencés à haut débit et comparés à une base de données de référence contenant les ADN des espèces déjà séquencées (Taberlet et al. 2012). Les comparaisons entre séquences concernent des portions de l'ARN ribosomique nucléaire (18S et 28S ARNr), de la cytochrome oxydase mitochondriale I (COI) ou de l'ARNr 16S. Le gène COI est de loin le marqueur le plus couramment utilisé pour le metabarcoding des métazoaires (Ratnasingham et Hebert 2013), des milliers de séquences de référence étant disponibles dans des bases de données publiques (e.g. Barcode of Life Database). L'ADN extracellulaire (l'ADN libéré par la lyse cellulaire ; Taberlet et al. 2012) est de plus en plus utilisé pour la surveillance de la biodiversité en milieu aquatique (Kelly et al. 2014 ; Valentini et al. 2016). Constituant une fraction significative de l'ADN total, il est considéré que la composition taxinomique de l'ADN extracellulaire reflète la biodiversité de l'échantillon, ce qui simplifie de fait les protocoles d'extraction et permet la détection d'organismes plus gros que l'échantillon lui-même.

**Les méthodes de metabarcoding, en abordant différents niveaux de diversité taxinomique, pourraient alimenter directement l'indicateur PH3 relatif aux changements de la diversité planctonique et devraient permettre d'intégrer la composante microbienne dans le PdS.**

La **métagénomique** correspond à l'analyse **par séquençage**, sans à priori, **de l'ADN de tous les génomes présents dans un environnement donné**. Elle offre un recensement qualitatif exhaustif des organismes présents, en précisant l'espèce, la variété, voire la souche. D'un point de vue quantitatif, les données acquises correspondent au nombre d'individus de chaque type d'organismes.

Cependant, si certains organismes sont déjà connus (ou séquencés), d'autres ne sont pas encore identifiés et restent donc absents des bases de données. Il est possible de préciser quel groupe d'organismes est leur plus proche voisin dans l'arbre phylogénétique. Ces organismes perdent alors leur statut d'inconnus et viennent compléter les bases de données, dans lesquelles ils sont sous la forme d'OTU (*Operational Taxinomic Unit*, soit unité taxinomique opérationnelle).

Ces deux types d'approches (métabarcoding et métagénomique) ont permis des avancées considérables dans la connaissance des communautés microbiennes et virales (e.g. revue de Coutinho et al. 2017). **L'étude à résolution plus fine de la diversité permettra d'acquérir des données contribuant au calcul de l'indicateur PH3. Les données semi-quantitatives obtenues par métabarcoding ou métagénomique (Bucklin et al. 2016) pourraient également alimenter l'indicateur PH1 dans la mesure où elles rendent compte de l'importance d'un groupe fonctionnel/taxinomique donné par rapport à un autre (en termes de séquences et/ou d'OTU).**

Bien que les travaux en cours soient très prometteurs, les résultats de la plupart des méthodes moléculaires ne sont en général pas directement comparables à ceux obtenus par dénombrement au microscope ou sous loupe binoculaire (Danovaro et al. 2016). Plusieurs étapes devront être franchies avant de pouvoir utiliser ces données de manière opérationnelle pour l'évaluation du BEE :

**1/ Une comparaison exhaustive des méthodes moléculaires et des méthodes classiques de comptage** est indispensable avant de pouvoir utiliser les résultats des méthodes moléculaires en termes de surveillance (Hering et al. 2018 ; Goodwin et al. 2017) et devrait faire l'objet d'études pilotes sur des sites ateliers dédiés. En fonction des paramètres techniques d'analyses (conditions de la PCR, technologie de séquençage utilisée et routines bio-informatiques), ou du choix du gène séquencé (ARN 16S/18S, COI), le métabarcoding peut conduire à une surestimation ou sous-estimation de la biodiversité réelle.

**2/ Les techniques moléculaires et les protocoles d'échantillonnage et d'analyses (pipelines analytiques) doivent être standardisés et harmonisés avant de pouvoir être utilisés en routine pour la surveillance.** Elles doivent être également confrontées à d'autres sources d'acquisition de données (e.g. télédétection, bases de données taxinomiques), dès lors qu'elles ne fournissent pas de données d'abondance *sensu stricto* mais plutôt des abondances relatives (en % de séquences lues ; Elbrecht et Leese 2015) dont l'utilisation est sujette à débats (i.e. une espèce dominante en biomasse présentera une plus grande proportion de séquences lues en comparaison à une espèce de plus petite taille et plus rare ; Creer et al. 2016).

**Le niveau de technicité et d'expertise requis pour le séquençage et l'analyse des données issues des séquençages nécessitent la mobilisation de plateformes dédiées et d'experts pour le traitement bio-informatique des données.** Dans ce sens, plusieurs laboratoires côtiers impliqués dans les réseaux SOMLIT et PHYTOBS ont commencé à développer des observatoires génomiques sur leurs stations de suivi à long terme. Des projets de mise en réseau de ces observatoires innovants ont été proposés lors de l'atelier RESOMAR dédiés aux **Outils moléculaires pour l'étude de la diversité microbienne** (Wimereux, janvier 2019). A l'échelle internationale, un groupe de travail (MetaZooGene<sup>55</sup>) a mis en place un portail d'accès aux bases de données ADN sur le zooplancton marin et propose des modes analytiques et des bonnes pratiques pour la mise en œuvre des méthodes de métabarcoding. Les avancées sur le développement de ces observatoires nationaux et internationaux seront suivies au 2<sup>nd</sup> cycle tout comme les développements réalisés dans le cadre de projets de recherche.

**3/ Des développements numériques importants doivent s'intéresser à traduire les résultats des analyses moléculaires en indicateurs métriques pouvant être utilisés pour les évaluations du BEE.**

---

<sup>55</sup> <https://metazoogene.org/>

4/ Ces techniques produisant un grand nombre de données, il sera nécessaire d'en envisager le traitement et l'analyse bio-informatique de manière standardisée ainsi que la bancarisation régulière et pérenne.

Il y a dix ans, Bowler et al. (2009) prédisaient que des capteurs écogénomiques miniaturisés capables de mesurer presque tous les ADN et ARN planctoniques permettraient l'évaluation en temps quasi réel de l'activité microbienne et des processus biogéochimiques associés (flux de carbone). Un tel résultat n'a pas encore été atteint, mais le développement récent des séquenceurs nanopore MinION (Jain et al. 2016), et leur test en milieu marin (Warwick-Dugdale et al. 2018), sont des éléments prometteurs.

## 6. Bilan des dispositifs de suivis à supprimer des PdS

Sont supprimés du PdS « Habitats pélagiques » 2<sup>nd</sup> cycle, les dispositifs de suivi qui relèvent de base de données affiliées à des dispositifs de suivi existant (n=4 dispositifs) et d'une action de la feuille de route du PdS.

Nom dispositif	Base de données courantologique du SHOM
Sous-Programme	SP1 – Hydrodynamisme et Hydrologie
SRM	MMN, MC, GDG Nord, GDG Sud, MO
Raison de la suppression des PdS	Il ne s'agit pas d'un dispositif de suivi au sens strict mais d'une base de données affiliées à des dispositifs de suivi existants (partie « bancarisation »)

Nom dispositif	Base de données marégraphique du SHOM
Sous-Programme	SP1 – Hydrodynamisme et Hydrologie
SRM	MMN, MC, GDG Nord, GDG Sud, MO
Raison de la suppression des PdS	Il ne s'agit pas d'un dispositif de suivi au sens strict mais d'une base de données affiliées à des dispositifs de suivi existants (partie « bancarisation »)

Nom dispositif	Infrastructure de collecte de données du consortium CORIOLIS
Sous-Programme	SP1 – Hydrodynamisme et Hydrologie SP2 – Physico-chimie
SRM	MMN, MC, GDG Nord, GDG Sud, MO
Raison de la suppression des PdS	Il ne s'agit pas d'un dispositif de suivi au sens strict mais d'une base de données affiliées à des dispositifs de suivi existants (partie « bancarisation »)

<b>Nom dispositif</b>	<b>CMEMS</b>
<b>Sous-Programme</b>	SP1 – Hydrodynamisme et Hydrologie SP2 – Physico-chimie
<b>SRM</b>	MMN, MC, GDG Nord, GDG Sud, MO
<b>Raison de la suppression des PdS</b>	Il ne s'agit pas d'un dispositif de suivi au sens strict mais d'une base de données affiliées à des dispositifs de suivi existants (partie « bancarisation »). Le CMEMS héberge les données issues de l'analyse d'images satellitaires et de la modélisation (e.g. modèle 3DVAR-OGSTM-BFM ; SRM MO). Cette infrastructure est identifiée clairement comme source de données au 2 <sup>nd</sup> cycle.

<b>Nom dispositif</b>	<b>Parc instrumenté DCSMM</b>
<b>Sous-Programme</b>	SP1 – Hydrodynamisme, hydrologie et physico-chimie SP2 – Phytoplancton SP4 – Mico-organismes
<b>SRM</b>	MMN, MC, GDG Nord, GDG Sud, MO
<b>Raison de la suppression des PdS</b>	Il ne s'agit pas d'un dispositif de suivi au sens strict mais d'une action du PdS « Habitats pélagiques » transversale au PdS « Eutrophisation ». <b>« Parc DCSMM » d'instruments automatisés et de capteurs pour l'observation du phytoplancton et des conditions environnementales associées (05HP_Action 2)</b> Les équipements acquis dans le cadre de cette action ont été déployés sur des dispositifs de suivi existants comme les campagnes DCSMM dédiées aux habitats pélagiques ou les campagnes halieutiques DCF optimisées pour la DCSMM.

<b>Nom dispositif</b>	<b>Etudes de recherche ponctuelles sur les micro-organismes</b>
<b>Sous-Programme</b>	SP4 – Micro-organismes
<b>SRM</b>	MMN, MC, GDG Nord, GDG Sud, MO
<b>Raison de la suppression des PdS</b>	Il ne s'agit pas d'un dispositif de suivi au sens strict mais d'une action du PdS « Habitats pélagiques » associée au SP4 – Micro-organismes. La nouvelle structuration de ce SP a permis d'y affilier les dispositifs de suivi pertinents.

## 7. Références bibliographiques

- Alvain S., Moulin C., Dandonneau Y. et al. 2008. Seasonal distribution and succession of dominant phytoplankton groups in the global ocean : A satellite view. *Global Biogeochem Cycles*, 22: 1-15
- Alvain S., Le Quéré C., Bopp L. et al. 2013. Rapid climatic driven shifts of diatoms at high latitudes. *Remote Sens Environ* 132: 195-201
- Amélineau F., Bonnet D., Heitz O. et al. 2016. Microplastic pollution in the Greenland Sea: Background levels and selective contamination of planktivorous diving seabirds. *Environ Pollut*, 219: 1131-1139
- Anderson C., Berdalet E., Kudela R., et al. 2019. Scaling-up from regional case studies to a global harmful algal bloom observing system. *Front Mar Sci* 6: 250. Doi:10.3389/fmars.2019.00250

- Aubert A., Antajan E., Lynam C. et al. 2018. No more reason for ignoring gelatinous zooplankton in ecosystem assessment and marine management: Concrete cost-effective methodology during routine fishery trawl surveys. *Mar Policy*, 89: 100-108
- Batten S. D., Clark R. A., Flinkman J. et al. 2003. CPR sampling – the technical background, materials and methods, consistency and comparability. *Progr Oceanogr*, 58: 193–215
- Baudrier J., Lefebvre A., Galgani F. et al. 2018. Optimising French fisheries surveys for marine strategy framework directive integrated ecosystem monitoring. *Mar Policy*, 94 : 10-19
- Bax N.J., Miloslavich P., Muller-Karger F. et al. 2019. A response to scientific and societal capacity needs for marine biological observations. *Front Mar Sci* mars.2019.00395 doi :10.3389/fmars.2019.00395
- Bax N. J., Burford M., Clementson L. et al. 2001. Phytoplankton blooms and production sources on the south-east australian continental shelf. *Mar. Freshwater Res.* 52, 451–462. doi: 10.1071/MF00001
- Beaugrand G. 2012. Unanticipated biological changes and global warming. *Mar Ecol Prog Ser*, 445: 293-301
- Beaugrand, G., Brander, K. et Lindley, J. 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature*, 426: 661–664
- Bedford J., Ostle C., Johns D. G., Budria A. et McQuatters-Gollop A. 2020. The influence of temporal scale selection on pelagic habitat biodiversity indicators. *Ecological Indicators* 114 : 106311.
- Bedford J., John D., Greenstreet S. et al. 2018. Plankton as prevailing conditions: A surveillance role for plankton indicators within the Marine Strategy Framework Directive. *Mar Pol*, 89: 109-115
- Belin C. et Soudant D. 2018. Trente années d'observation des micro-algues et des toxines d'algues sur le littoral. Ed. Quae, 258pp
- Benedetti F., Jalabert L., Sourisseau M. et al. 2019. The Seasonal and Inter-Annual Fluctuations of Plankton Abundance and Community Structure in a North Atlantic Marine Protected Area. *Front Mar Sci*, 6:214.doi: 10.3389/fmars.2019.00214
- Biard T., Stemmann L., Picheral M. et al. 2016. *In situ* imaging reveals the biomass of giant protists in the global ocean. *Nature* 532, 504. doi: 10.1038/nature17652
- Bizzozero L., Gohin F., Lampert L. et al. 2018. Apport des images satellite à l'évaluation de la qualité des masses d'eau DCE. Analyse des données de Chlorophylle a sur la période 2011-2016 dans les masses d'eau côtière du bassin versant Loire-Bretagne. Rapport R.ODE/LITTORAL/LER/MPL/18.09. 50pp.
- Bowler C., Karl D.M. et Colwell, R. R. 2009. Microbial oceanography in a sea of opportunity. *Nature* 459, 180. doi: 10.1038/nature08056
- Brewin R. J. W., Ciavatta S., Sathyendranath S. et al. 2017. Uncertainty in Ocean-Color Estimates of Chlorophyll for Phytoplankton Groups. *Frontiers Mar Sci*, 4 : doi :10.3389/fmars.2017.00104
- Bucklin A., Lindeque P. K., Rodriguez-Ezpeleta N. et al. 2016. Metabarcoding of marine zooplankton: prospects, progress and pitfalls. *J Plankton Res*, 38(3): 393–400. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbw023>
- Buitenhuis E., LeQuéré C., Aumont O. et al. 2006. Biogeochemical fluxes through mesozooplankton. *Glob Biogeochem Cycles*, 20: GB2003. <https://doi.org/10.1029/2005GB002511>
- Cachera M., Boutet M., Tew-Kai E. 2018. De l'océanographie opérationnelle à l'hydrogéodiversité marine : vers un outil d'aide à la décision. Acte de colloque Méridéo, Bordeaux, 2018
- Chaalali A., Chevillot X., Beaugrand G. et al. 2013. Changes in the distribution of copepods in the Gironde estuary: A warming and marinisation consequence? *Estuar, Coast Shelf Sci*, 134: 150–161
- Chase A. P., Boss E., Cetinić I. et al. 2017. Estimation of phytoplankton accessory pigments from hyperspectral reflectance spectra: toward a global algorithm. *J Geophys Res Oceans*, 122: 9725–9743. doi: 10.1002/2017JC012859
- Chiba S., Batten S., Martin C. S. et al. 2018. Zooplankton monitoring to contribute towards addressing global biodiversity conservation challenges. *J. Plankton Res.* 40, 509–518. doi: 10.1093/plankt/fby030
- Chevillot X., Pierre M., Rigaud A. et al. H. 2016. Abrupt shifts in the Gironde fish community: an indicator of ecological changes in an estuarine ecosystem. *Mar Ecol Prog Ser*, 549: 137–151
- Colas F., Tardivel M., Perchoc J. et al. 2018. The ZooCAM, a new in-flow imaging system for fast onboard counting, sizing and classification of fish eggs and metazooplankton. *Prog Oceanogr*, 166: 54-65
- Condon R. H., Duarte C. M., Pitt K. A. et al. 2013. Recurrent jellyfish blooms are a consequence of global oscillations. *PNAS* 110: 1000-1005
- Condon R. H., Graham W. M., Duarte C. M. et al. 2012. Questioning the Rise of Gelatinous Zooplankton in the World's Oceans. *BioScience*, 62: 160–169

- Coppola L., Raimbault P., Mortier L. et al. 2019. Monitoring the Environment in the Northwestern Mediterranean Sea. *Eos*, 100, <https://doi.org/10.1029/2019EO125951>
- Coutinho F.H., Silveira C.B., Gregoracci G.B. et al. 2017. Marine viruses discovered via metagenomics shed light on viral strategies throughout the oceans. *Nat Commun* 8: 15955. doi: 10.1038/ncomms15955
- Creer S., Deiner K., Frey S. et al. 2016. The ecologist's field guide to sequence-based identification of biodiversity. *Methods Ecol Evol*, 7: 1008-1018
- Cristescu. M. E. 2014. From barcoding single individuals to metabarcoding biological communities: towards an integrative approach to the study of global biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution* 1853: 1–6
- Danovaro R., Carugati L., Berzano M. et al. 2016. Implementing and innovating marine monitoring approaches for assessing marine environmental status. *Front Mar Sci* 3:213. doi:10.3389/fmars.2016.00213
- Denis J., Vincent D., Antajan E. et al. 2018. Gut fluorescence technique to quantify pigment feeding in Downs herring larvae. *Mar Ecol Prog Ser*, 607. DOI: 10.3354/meps12775
- Denis J., Mahe K., Tavernier E. et al. (2017). Ontogenetic changes in the larval condition of Downs herring - Use of a multi-index approach at an individual scale. *Mar Biol*, 154 : 1-14
- Devreker D. et Lefebvre A. 2018a. Évaluation du descripteur 5 « Eutrophisation » en France métropolitaine. Rapport scientifique pour l'évaluation 2018 au titre de la DCSMM . ODE/LITTORAL/LER.BL/17.08 . 256pp
- Devreker D. et Lefebvre A. 2018b. Optimisation du programme de surveillance DCSMM pour les descripteurs 5 – Eutrophisation et 1 - Habitats Pélagiques. Campagnes océanographiques à l'échelle des sous-régions marines. RST/LER.BL/18.06. 49pp
- Duflos M., Wacquet G., Aubert A. et al. 2018. Évaluation de l'état écologique des habitats pélagiques en France métropolitaine. Rapport scientifique pour l'évaluation 2018 au titre du descripteur 1 de la DCSMM. 333 pp
- Edwards, M., Atkinson A., Bresnan E. et al. 2020. Plankton, jellyfish and climate in the North-East Atlantic. *MCCIP Science Review 2020*, 322–353
- Edwards, M. 2016. Sea Life (Pelagic Ecosystems) In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth* [Letcher, T. (ed)]. Elsevier, pp.167–182
- Ellbrecht V. et Leese F. 2015. Can DNA-based ecosystem assessments quantify species abundance? Testing primer bias and biomass-sequence relationships with an innovative metabarcoding protocol. *PLoS One* 10:e0130324. doi:10.1371/journal.pone.0130324
- Farcy P., Durand D., Charria G., et al. 2019. Toward a European Coastal Observing Network to Provide Better Answers to Science and to Societal Challenges; The JERICO Research Infrastructure. *Front Mar Sci* 6:529. doi: 10.3389/fmars.2019.00529
- Fichaux M., Briand A., Larour M. et al. 2015. SeaDataNet, interopérabilité à l'échelle pan-européenne. Colloque Séries Interopérables et Systèmes de Traitement, Marseille, 24-25 sept 2015
- Ganzin N., Mangin A, Fiandrino A. et al. 2010. Optimisation de la surveillance des masses d'eau DCE en Méditerranée - Compléments d'utilisation d'imagerie satellite et application d'outils hydrodynamiques. Rapport final de convention Ifremer/AERMC. RST/LER-PAC/10-06, 69pp
- Glibert P. M. 2016. Margalef revisited: A new phytoplankton mandala incorporating twelve dimensions, including nutritional physiology. *Harmf Algae*, 55: 25-30
- Gohin F., Van der Zande D., Tilstone G. et al. 2019. Twenty years of satellite and *in situ* observations of surface chlorophyll-*a* from the northern Bay of Biscay to the eastern English Channel. Is the water quality improving? *Remote Sensing Env*, 233: 111343. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111343>
- Goodwin K. D., Thompson L. R., Duarte B. et al. 2017. DNA sequencing as a tool to monitor marine ecological status. *Frontiers Mar Sc*, 4:107. Doi:10.3389/fmars.2017.00107
- Gorokhova E., Lehtiniemi M., Postel L. et al. 2016. Indicator properties of Baltic zooplankton for classification of environmental status within marine strategy framework directive. *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158326>
- Gorsky G., Ohman M.D., Picheral M et al. 2010. Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. *J. Plankton Res*, 32: 285–303
- Gowen, R.J. McQuatters-Gollop A., Tett P. et al. 2011. The Development of UK Pelagic (Plankton) Indicators and Targets for the MSFD. A report of a Defra workshop held at AFBI 2nd - 3rd June 2011. 41 pp. Belfast, AFBI

- HELCOM (2018) Zooplankton mean size and total stock. HELCOM core indicator report. <http://www.helcom.fi/Core%20Indicators/Zooplankton%20mean%20size%20and%20total%20stock%20HELCOM%20core%20indicator%202018.pdf>
- Henriksen P., Riemann B., Kaas H. et al. 2002. Effects of nutrient-limitation and irradiance on marine phytoplankton pigments. *J Plankton Res*, 24 : 835–858. doi: 10.1093/plankt/24.9.835
- Hering D., Borja A., Jones J. I. et al. 2018. Implementation options for DNA-based identification into ecological status assessment under the European Water Framework Directive. *Water Res*, 138:192-205
- Hosia A., Falkenhaus T., Baxter E. J. et al. 2017. Abundance, distribution and diversity of gelatinous predators along the northern Mid-Atlantic Ridge: A comparison of different sampling methodologies. *PloS one*, 12(11), e0187491. doi:10.1371/journal.pone.0187491
- Houliet E., Lizon F., Thyssen M. et al. 2012. Spectral fluorometric characterization of Haptophyte dynamics using the FluoroProbe: An application in the eastern English Channel for monitoring *Phaeocystis globosa*. *J Plankton Res*, 34:136-151
- Hunt B. P. V. et Hosie G. W. 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. *J Plankton Res*, 25:1561–1579
- Jain M., Olsen H. E., Paten B. et al. 2016. The oxford nanopore minion: delivery of nanopore sequencing to the genomics community. *Genome Biol*, 17, 239. doi: 10.1186/s13059-016-1103-0
- John E. H., Batten S. D., Harris R. P. et al. 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). *J Sea Res*, 43: 223–232
- Jouandet M-P., Petit L., Wacquet G. et al. 2019. Mise en œuvre du programme de surveillance "Habitats Pélagiques" : test de mise en place des campagnes saisonnières sur le site atelier manche mer du nord et mers celtiques. Version provisoire Octobre 2019. 124 pp
- Kelly R. P., Port J. A., Yamahara K.M. et al. 2014. Harnessing DNA to improve environmental management. *Science*, 344:1455. doi:10.1126/science.1251156
- Kirby R.R. et Beaugrand G. 2009. Trophic amplification of climate warming. *Proc. R. Soc. B*, 276: 4095–4103. doi:10.1098/rspb.2009.1320
- Kissling W. D., Ahumada J. A., Bowser A. et al. 2018. Building essential biodiversity variables (EBVs) of species distribution and abundance at global scale. *Biol. Rev.* 93:600-625
- Kleppel G.S. 1993. On the diets of calanoid copepods. *Mar Ecol Prog Ser* 99: 183-195
- Labuce A., Dimante-Deimantovica I, Tunens J. et al. 2020. Zooplankton indicator-based assessment in relation to site location and abiotic factors: a case study from the Gulf of Riga. *Environ Monit Assess*, 192:147. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8113-9>
- Lampert Luis et Hernandez Farinas Tania (2018). Application de l'indice de composition pigmentaire ICBC pour Manche-Atlantique aux masses d'eau méditerranéennes. Action n°23. Rapport final . <https://doi.org/10.13155/58111>
- Laviale M. et Neveux J. 2011. Relationships between pigment ratios and growth irradiance in 11 marine phytoplankton species. *Mar Ecol. Progr Ser*, 425: 63–77. doi: 10.3354/meps09013
- Le Traon P.-Y., Reppucci A., Alvarez Fanjul E. 2019. From Observation to Information and Users: The Copernicus Marine Service Perspective. *Frontiers Mar Sci* doi: 10.3389/fmars.2019.00234
- Lefebvre A. et Devreker D. 2019. Apport des mesures automatisées à haute fréquence de type Ferry Box pour le Programme de Surveillance de la DCMM. Campagnes exploratoires 2018. Rapport scientifique Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/19.06, 78 p
- Lefebvre A. et Poisson-Caillault E. 2019. High resolution overview of phytoplankton spectral groups and hydrological conditions in the eastern English Channel using unsupervised clustering. *Mar Ecol Prog Ser*, 608: 73-92
- Lombard F., Boss E., Wayte A.M. et al. 2019. Globally Consistent Quantitative Observations of Planktonic Ecosystems. *Front Mar Sci*, 6:196. doi: 10.3389/fmars.2019.00196
- Martín Míguez B., Novellino A., Vinci M. et al. 2019. The European Marine Observation and Data Network (EMODnet): Visions and Roles of the Gateway to Marine Data in Europe. *Front Mar Sci*, 6:313. doi: 10.3389/fmars.2019.00313
- Mauchline J. 1998. The Biology of Calanoid Copepods. Blaxter JHS, Southward AJ et Tyler PA (eds) Academic Press London 710p
- McQuatters-Gollop A., Atkinson A., Aubert A. et al. 2019. Plankton lifeforms as a biodiversity indicator for regional-scale assessment of pelagic habitats for policy. *Ecol Indic*, 101: 913-925

- McQuatters-Gollop A., Johns D.G., Bresnan E. et al. 2017. From microscope to management: The critical value of plankton taxonomy to marine policy and biodiversity conservation. *Mar Policy*, 83: 1-10
- Ménesguen A., Dussauze M., Dumas F. et al. 2019. Ecological model of the Bay of Biscay and English Channel shelf for environmental status assessment part 1: Nutrients, phytoplankton and oxygen. *Ocean Modelling*, 133: 56-78
- Ménesguen A., Desmit X., Dulière V. et al. 2018. How to avoid eutrophication in coastal seas? A new approach to derive river-specific combined nitrate and phosphate maximum concentrations. *Sc Total Env*, 628-629: 400-414
- Miloslavich P., Bax N., Simmons S.E. et al. 2018. Essential Ocean Variables for sustained observations of marine biodiversity and ecosystems. *Global Change Biol.* 24: 2416-2433
- Muller-Karger F.E., Miloslavich P., Bax N.J. et al. 2018. Advancing marine biological observations and data requirements for the complementary essential ocean variables (EOVs) and essential biodiversity variables (EBVs) frameworks. *Frontiers Mar. Sci.* doi:10.3389/fmars.2018.00211
- Navarro G., Alvain S., Vantrepotte V. et al. 2014. Identification of dominant phytoplankton functional types in the Mediterranean Sea based on a regionalized remote sensing approach. *Remote Sens Environ*, 152: 557-575. doi: 10.1016/j.rse.2014.06.029
- Navarro G., Almaraz P., Caballero I. et al. 2017. Reproduction of Spatio-Temporal Patterns of Major Mediterranean Phytoplankton Groups from Remote Sensing OC-CCI Data. *Front. Mar. Sci.*, 4:246. doi: 10.3389/fmars.2017.00246
- Pomeroy L. R., Peter J., Williams LeB et al. 2007. The Microbial Loop. *Oceanography*, 20(2): 28-33
- Purcell J. E., White J. R., Roman M. R. 1994. Predation by gelatinous zooplankton and resource limitation as potential controls of *Acartia tonsa* copepod populations in Chesapeake Bay. *Limnol Oceanogr* 39: 263-278
- Ratnasingham S. et Hebert P. N.D. 2013. A DNA-Based Registry for All Animal Species: The Barcode Index Number (BIN) System. *PloS one*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066213>
- Razouls C., de Bovée F., Kouwenberg J. et al. 2005-2018. Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods. Paris: Sorbonne Université
- Reynolds R., Stramski D., Wright V. et al. 2010. Measurements and characterization of particle size distributions in coastal waters. *J Geophys Res Oceans*, 115:C08024. doi: 10.1029/2009JC005930
- Richardson, A. J. 2008. In hot water: zooplankton and climate change. *ICES Journal of Marine Science*, 65: 279-295
- Richardson A. J., Bakun A., Hays G. C. et al. 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends Ecol Evol* 24: 312-322
- Richardson A. J., Walne A. W., John A. W. G. et al. 2006. Using continuous plankton recorder data. *Progr Oceanogr*, 68 : 27-74
- Richirt J., Goberville E., Ruiz-Gonzalez V. et al. 2019. Local changes in copepod composition and diversity in two coastal systems of Western Europe. *Estuar Coast Shelf Sci*, 227: 106304. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106304>
- Romagnan J.B., Aldamman L., Gasparini S. et al. 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. *J Mar Sys*. doi:10.1016/j.jmarsys.2016.03.013
- Siano R., Chapelle A., Antoine V. et al. 2018. Citizen participation in monitoring phytoplankton seawater discolorations. *Mar Pol*. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.022>
- Stoecker D.K. et Egloff D.A. 1987. Predation by *Acartia tonsa* Dana on planktonic ciliates and rotifers. *J Exp Mar Biol Ecol* 110: 53-68
- Taberlet P., Coissac E., Pompanon F. et al. 2012. Towards next-generation biodiversity assessment using DNA metabarcoding. *Molecular Ecol*, 21: 2045-2050
- Tew-Kai E., Quilfen V., Cachera M. et Boutet M. 2020. Dynamic Coastal-Shelf Seascapes to Support Marine Policies Using Operational Coastal Oceanography: The French Example. *Journal of Marine Science and Engineering*. 8, 585; doi:10.3390/jmse8080585
- Tew Kai E., Vasquez M., Marchès E. et al. 2015. Cartographie des paysages marins pour la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin et la planification des espaces maritimes. Acte de colloque Merigéo, Brest, 2015
- Thyssen M., Alvain S., Lefebvre A. et al. 2015. High-resolution analysis of a North Sea phytoplankton community structure based on *in situ* flow cytometry observations and potential implication for remote sensing. *Biogeosci*, 12: 4051-4066

- Thyssen M. et Denis M. 2011. Temporal and Spatial High-Frequency Monitoring of Phytoplankton by Automated Flow Cytometry and Pulse-Shape Analysis. In Ceccaldi H.J. et al. eds : Mankind marine environment interactions, proceedings of the 13th French-Japanese Oceanography Symposium: 293-298
- Tintoré J., Pinardi N., Álvarez-Fanjul E. et al. 2019. Challenges for Sustained Observing and Forecasting Systems in the Mediterranean Sea. *Front Mar Sci*, 6:568. doi: 10.3389/fmars.2019.00568
- Toullec J., Vincent D., Frohn L. et al. 2019. Copepod Grazing Influences Diatom Aggregation and Particle Dynamics. *Fmars*, 6: 751 doi. 10.3389/fmars.2019.00751
- Turak E., Brazill-Boast J., Cooney T. et al. 2016. Using the essential biodiversity variables framework to measure biodiversity change at national scale. *Biol. Conserv.* 213, 264-271
- Turner J. T. 2004. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. *Zool studies* 43: 255-266
- Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *International Association of Theoretical and Applied Limnology*
- Uusitalo L., Fernandes J. A., Bachiller E. et al. 2016. Semi-automated classification method addressing marine strategyframework directive (MSFD) zooplankton indicators. *Ecol Ind*, 71: 398-405
- Valentini A., Taberlet P., Miaud C. et al. 2016. Next-generation monitoring of aquatic biodiversity using environmental DNA metabarcoding. *Mol Ecol* 25: 929-942
- Vandromme P., Stemmann L., Garcia-Comas C. et al. 2012. Assessing biases in computing size spectra of automatically classified zooplankton from imaging systems: A case study with the ZooScan integrated system. *Methods in Oceanogr* 1–2, 3–21. doi:10.1016/j.mio.2012.06.001
- Vincent D., Luczak C. et Sautour B. (2002). Effects of a brief climatic event on zooplankton community structure and distribution in Arcachon Bay (France). *J Mar Biol Ass U.K.*, 82: 21-30
- Ward B. 2018. Ecogenie 1.0: plankton ecology in the cgenie earth system model. *Geosci. Model Dev.* 11, 4241–4267. doi: 10.5194/gmd-11-4241-2018
- Ware D.M. et Thomson R.E. 2005. Bottom-Up Ecosystem Trophic Dynamics Determine Fish Production in the Northeast Pacific. *Science* 308: 1280-1284
- Warwick-Dugdale J., Solonenko N., Moore K. et al. 2018. Long-read metagenomics reveals cryptic and abundant marine viruses. *bioRxiv* 345041. doi: 10.1101/345041
- Whitman W. B., Coleman D. C., et Wiebe W. J. 1998. Prokaryotes: the unseen majority. *PNAS*, 95(12): 6578–6583. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.12.6578>

## Annexe 1

### Evolution de l'intitulé des dispositifs de suivi du PdS « Habitats pélagiques » entre le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>nd</sup> cycle

Intitulé dans le PdS « Habitats pélagiques » 1 <sup>er</sup> cycle	Intitulé dans le PdS « Habitats pélagiques » 2 <sup>nd</sup> cycle	Justification du changement d'intitulé	Transversalité avec les PdS
DCE « Physico-chimie » : suivis stationnels REPHY et réseaux régionaux	Suivis DCE - REPHY Surveillance, PHYTOBS et réseaux régionaux/locaux	Le suivi REPHY DCE n'intéresse pas que la physico-chimie. Le nouveau titre précise qu'il s'agit du dispositif REPHY « surveillance » conformément à l'ouvrage de Belin et Soudant (2018). Il permet d'affilier ce dispositif de suivi aux autres SP concernés du PdS « Habitats pélagiques » et « Eutrophisation ».	Eutrophisation Changements Hydrographiques
Suivis AMP – « Physico-chimie » (parcs naturels marins)	Suivis du milieu pélagique des AMPs (Parcs Naturels Marins ; Sites N2000 ; etc.)	L'intitulé initial était trop restrictif : les suivis des AMPs concernent l'ensemble des composantes planctoniques du milieu et les paramètres hydrologiques et physico-chimiques associés. D'autres suivis existent dans les AMPs et concernent le suivi des herbiers ou des angiospermes. Il était donc nécessaire de préciser l'intitulé de ce dispositif au 2 <sup>nd</sup> cycle.	Eutrophisation
Séries temporelles long terme en baie de Calvi (STARESO)	Suivi STARESO – Baie de Calvi	Simplification de l'intitulé initial.	Eutrophisation
Prélèvements et mesures d'opportunité sur des navires à l'aide de systèmes automatisés ou semi-automatisés (ferrybox,...) : parc instrumenté	Parc Instrumenté DCSMM : systèmes automatisés ou semi-automatisés embarqués	Simplification de l'intitulé initial. La constitution du parc instrumenté DCSMM répond à une action du PdS « Habitats pélagiques » transversale avec d'autres PdS. Les instruments et équipements déployés sont décrits de manière détaillée dans la fiche dispositif, il apparaissait redondant de les reprendre dans le titre.	Eutrophisation Changements hydrographiques
Campagnes DCSMM dédiées « Habitats pélagiques » - ECOPEL	Campagnes DCSMM dédiées "Habitats pélagiques"	Les campagnes ECOPEL correspondent à des campagnes tests en MMN et MC au 1 <sup>er</sup> cycle. Si l'approche saisonnière est confirmée au 2 <sup>nd</sup> cycle, il convient de ne pas restreindre le nom de ce dispositif aux tests réalisés jusqu'à présent.	Eutrophisation
Suivis au moyen d'un réseau de bouées instrumentées de capteurs multiparamètres (MAREL...)	Réseau de bouées instrumentées de capteurs multiparamétriques	Simplification de l'intitulé – les sites concernés apparaissent dans la description détaillée du dispositif et non plus dans le titre.	Eutrophisation Changements hydrographiques
Suivis stationnels REPHY et réseaux régionaux (hors DCE) : « Physico-chimie » Suivis stationnels REPHY et réseaux régionaux (hors DCE) : « Phytoplancton »	Suivis stationnels REPHY Observation (hors DCE)	Les suivis REPHY hors DCE correspondent au REPHY « observation » d'après Belin et Soudant (2018). Cette nouvelle dénomination permet d'associer un seul dispositif de suivi aux différents SP concernés du PdS « Habitats pélagiques » et « Eutrophisation » correspondants	Eutrophisation Changements hydrographiques

## Annexe 2

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	Elevé	Indicateur des flux d'énergie et des voies trophiques possibles
	avec les œufs de poissons		
Petits copépodes vs Grands copépodes	Adultes <1,9 mm (sans nauplii ni les œufs)	Elevé	Indicateur basé sur la taille relatif à la structure et aux flux d'énergie dans le réseau trophique
	Adultes > 2 mm		
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	Elevé	Indicateur basé sur la taille relatif à l'efficacité des flux d'énergie vers les maillons trophiques supérieurs
	Cellules < 20 µm		
Microphytoplancton vs Zooplancton non carnivore	Biomasse (e.g. chlorophylle <i>a</i> )	Elevé	Indicateur de flux d'énergie et de l'équilibre entre les producteurs primaires et les consommateurs primaires
	Abondance		
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	Faible	Indicateur d'un changement du statut trophique du système passant de l'autotrophie à l'hétérotrophie.
	Toutes les espèces < 20 µm		