

Prospective Flotte Océanographique Française 2017-2030

Coordonnée par Catherine Jeandel

CNRS, LEGOS, Observatoire Midi-Pyrénées

Université de Toulouse



Flotte océanographique française

Mai 2017

Prospective Flotte Océanographique Française (FOF)

Remerciements

La première prospective de la Très Grande Infrastructure de Recherche « Flotte Océanographique Française » (FOF) n'aurait pu se faire sans la participation volontaire et active de nombreux représentants de la communauté des utilisateurs de la FOF. Cette dernière étant multifonctionnelle, ont participé à cette prospective les acteurs et actrices de la recherche fondamentale dans tous les domaines de l'océanographie, les enseignants qui développent des enseignements embarqués, les ingénieurs et techniciens en charge des parcs instrumentaux et de la recherche et développement technologique, et enfin les acteurs des missions de service public, en particulier les halieutes et ingénieurs en charge de répondre aux contraintes des directives cadre (sur l'eau, sur la stratégie du milieu marin soit DCE et DCSMM).

Entre novembre 2016 et fin avril 2017, 6 mois intensifs au cours desquels les membres des 10 groupes de travail ont interagit activement que ce soit au sein de leur groupe ou avec leurs collègues dans les laboratoires, ce qui a permis la consultation la plus large possible. Les visio conférences multi sites furent nombreuses. Les animateurs des groupes ont été particulièrement actifs à me faire remonter les réflexions menées à tous les niveaux. Des rencontres avec l'équipe mission flotte mandatée par le PDG de l'Ifremer ont eu lieu régulièrement. Les échanges avec les membres des Commissions Nationales Hauturières et Côtières, avec les membres du Comité d'Orientation Stratégique et Scientifique et ceux du Comité Directeur de la FOF ont été aussi mis en place. Plus inattendu, j'ai été amenée à rencontrer certains porteurs de projet de navires privés, innovants et porteurs de propositions éventuelles pour la communauté scientifique.

Ce préambule me donne l'opportunité de remercier chaleureusement tous ces acteurs avec lesquels le dialogue fut dynamique, sincère et constructif. La liste complète des participants est proposée en annexe 2 de ce document.

Cet exercice a été mené dans une grande liberté de dialogue entre tous les utilisateurs de la FOF, et a engendré de nombreux échanges contradictoires et constructifs. Je tiens en particulier à remercier *François Jacq, Pascale Delecluse et Frédéric Ménard* pour leur appui respectueux à l'accomplissement de ce travail.

Je tiens par ailleurs à remercier plus spécifiquement et chaleureusement *Felipe Artigas, Jérôme Aucan, Thomas Changeux, Valérie Chavagnac, Patrick Farcy, Eric Foucher, Jacques Grelet, Antoine Gremare, Cécile Guieu, François Lallier, Pascal Morin, Patrick Raimbault, Emmanuel de Saint Léger, Daniel Sauter et Virginie Thierry*, soit les « animateurs de groupe » qui ont toujours répondu avec réactivité et enthousiasme à mes pressions par moments exigeantes et pénibles, je n'en doute pas ! Merci à toutes et tous pour votre soutien infaillible et votre humeur égale et bienveillante.

Toute ma gratitude aux personnes qui se sont impliquées dans les relectures complètes et la co-édition de ce document, en particulier *Valérie Bout-Roumazeille, Thomas Changeux, Patrick Farcy, François Lallier, Gilles Reverdin et Virginie Thierry*. Leurs regards attentifs et les mises en forme de Thomas ont donné à ce document sa facture actuelle.

Une mention particulière à *Olivier Lefort et Emmanuel Alessandrini* pour leur implication dans les rédactions des fiches PIA3, que nous avons dû réaliser en cours de réflexion prospective ainsi que pour leurs avis éclairés sur des questions plus techniques...comme celle du rapport entre longueur, tirant d'eau et stabilité d'un navire !

Philippe Bertrand, Lise Fechner et les membres de l'équipe « mission Flotte » sont aussi remerciés pour leur écoute attentive lors de nos rencontres. Même reconnaissance envers *Eric Humler* pour sa présence au colloque prospectif.

Je tiens remercier aussi *Fredéric Merceur, Alain Zasadzinski* et aux équipes de la Bibliothèque La Peyrouse et de l'INIST dont le travail de compilation et de mise à jour bibliographique tout au long de l'année 2016 a permis la réalisation du chapitre éponyme de ce document.

Le colloque prospectif des 8 et 9 mars 2017 s'est déroulé à l'Institut de Physique du Globe de Paris, grâce à l'invitation et l'accueil chaleureux de *Javier Escartin*.

Enfin, *Nadine Rossignol* nous a soutenus avec grande efficacité tout au long de ce processus de prospective que ce soit pour les mises en place de réunion, le suivi des missions et bien sûr l'organisation du colloque. Merci Nadine !

Catherine Jeandel
Présidente du COSS
Coordinatrice de la prospective FOF

Prospective Flotte Océanographique Française (FOF)

Résumé Exécutif

La première prospective scientifique de la Flotte Océanographique Française s'est déroulée entre le 30 Octobre 2016 et le 31 mai 2017. Elle a fédéré les réflexions de plus de 100 acteurs et utilisateurs de la FOF, répartis en 10 groupes de travail, lesquels étaient animés par un ou deux scientifiques compétents dans le thème du groupe (détails et noms en Annexe 2). Ces groupes de travail permettaient de couvrir toutes les activités de la FOF, qu'elles soient scientifiques, enseignement, technologiques ou Service Public. Un colloque organisé à l'Institut de Physique du Globe de Paris les 8 et 9 mars 2017 a permis aux animateurs de se rencontrer, d'échanger, d'identifier des manques dans les documents réalisés jusqu'alors, et de discuter des questions prospectives dans chaque domaine et aux interfaces entre les communautés. Ce colloque a aussi permis une discussion ouverte, constructive et particulièrement dynamique sur les fonctions actuelles de la FOF, la répartition des navires en réponse à ces fonctions, les besoins en navires, engins profonds et évolutions attendues pour le futur.

Le bilan scientifique met en exergue le dynamisme et la qualité de l'activité des 3600 acteurs qui constituent le corpus des utilisateurs, directs et indirects, de la FOF. Le bilan d'activité des navires est dressé sur les 5 dernières années, la bibliométrie est établie entre 2000 et 2014. Les enjeux des grands domaines scientifiques (Géosciences Marines, Physique-Biologie et Cycles des éléments, Biologie-Ecologie-Biodiversité, Halieutique) sont rappelés et illustrés par deux résultats sélectionnés pour chaque domaine, un en côtier, un en hauturier. Les services d'observation labellisés sont décrits et eux aussi illustrés par trois résultats récents. L'activité d'enseignement embarqué est décrite. Les forces et difficultés sont traitées à l'échelle de toute la communauté, puis exprimées un peu plus spécifiquement par domaines d'activité.

La prospective, d'abord présentée par domaine scientifique, laisse une large part à des questions interdisciplinaires (échange océan-atmosphère et climat, transition continent-océan, hydrothermalisme profond, éléments chimiques et cellule vivante) et aux besoins en moyens attendus pour répondre aux enjeux de demain.

L'objet de ce résumé n'est pas de reprendre le contenu des bilans et prospectives scientifiques. Il s'agit plutôt de lister en quelques lignes les forces et difficultés essentielles rencontrées par la communauté pour fonctionner aujourd'hui et les besoins en navires et évolution de la FOF pour les 15 années à venir.

Forces globales de la communauté

- Une communauté significative, de l'ordre de 1800 personnes en poste (3600 en comptant les doctorants et contractuels), qui se distribue en 1/4 en géosciences, 1/3 en physique-chimie-cycles et une petite moitié en biologie-écologie-biodiversité et halieutique.
- Un fort impact de la communauté française au sein des grands programmes internationaux, dans lesquels elle s'implique comme leader ou membre actifs.
- Des publications nombreuses, dans des revues à comité de lecture à taux d'impact élevé (JGR, Science, Nature, Nature Géosciences, PNAS...)
- Une formation des étudiants et des jeunes chercheurs de qualité grâce à l'enseignement embarqué
- Une expertise et une haute technicité des équipes techniques associée à une R&D de très grande qualité
- Un système d'évaluation par les pairs d'une grande exigence, garant de qualité.
- Un suivi *a posteriori* de la valorisation des campagnes qui donne une grande visibilité des activités de la FOF.

Difficultés de fonctionnement et suggestions

- **Difficulté majeure pour les équipes scientifiques à financer la réalisation des campagnes en mer et l'activité scientifique qui en découlent.** Ce verrou financier entrave le dynamisme et la compétitivité des équipes de recherches françaises. Ce financement, qui peut représenter jusqu'à 15% du coût de la campagne, est indispensable pour permettre aux équipes d'assurer des recherches de haut niveau dans des délais compétitifs. **Satisfaire la demande des scientifiques de disposer d'un guichet unique pour financer les projets de recherche s'appuyant sur la TGIR est crucial pour l'avenir et le bon fonctionnement de la TGIR.**
- Besoin d'une aide concrète au sein de la FOF, organisée et efficace pour la logistique et l'organisation des campagnes.
- Besoin de relais de communication institutionnelle permettant de donner une visibilité médiatique à la FOF.
- Besoin fortement appuyé par l'ensemble de la communauté: il est essentiel qu'un (une) ingénieur **embarquant-e** soit aussi **présent-e** dès les réunions de préparation des campagnes et assure en responsabilité le lien terre-mer.
- Besoin fort d'une harmonisation de fonctionnement des parcs instrumentaux et OBS, et d'un recensement des matériels disponibles et de leur mise à disposition (sur les modèles des US IMAGO et DT INSU).

Contexte actuel de la composition de la FOF et alertes

- Sortie de flotte à prévoir d'ici un an du *Thalia*, qui suit de peu celle du *Gwen Drez* et du *Suroit*, alors que le *Côte d'Aquitaine* n'a jamais été remplacé.
- Vieillesse inquiétante pour la sécurité de l'*Alis*, doublée d'une augmentation de son coût de fonctionnement.
- Besoin d'agrandir et de faire évoluer le *Côtes de la Manche* en équipements acoustiques et haute technologie, et de lui permettre plus de pluridisciplinarité.
- Besoin de répondre à des exigences de travaux en petits fonds.

Synthèse des demandes navires et engins profonds

- Flotte de station : remplacement du *Sépia II* particulièrement urgent.
- Besoin identifié de DEUX navires de taille intermédiaire (description détaillée annexe 8)
 - Atlantique-Méditerranée, env. 40m, 15 scientifiques, rayonnement côte-bord de plateau.
 - Pacifique-Indien, env. 35m, 12 scientifiques, rayonnement du Vietnam à la Nouvelle Zélande.
- Modernisation du *Côtes de la Manche* réaffirmé : augmentation du nombre de places, autonomie, possibilités chalutages, sondeurs géosciences, possibilité carottages.
- Besoin d'un navire opérant par faibles fonds pour des exigences halieutique et service public: 25-30 m, 10 scientifiques, zones côtières faible tirant d'eau. La montée en puissance des contraintes de Service Public est évaluée à environ 150 jours annuels pour la DCSMM et environ 100 aussi pour la sécurité en mer (SHOM, SOLAS) : il faudra y faire face.
- Envisager le remplacement de l'*Atalante* et du *Téthys II*, à échéance 2030.
- Engins profonds : le comité recommande de conserver deux engins submersibles grande profondeur (6000 m) opérationnels, en complémentarité et l'association avec l'AUV 6000 (réalisation en cours), garantissant de pouvoir réaliser tous types d'intervention.

Prospective Flotte Océanographique Française (FOF)

SOMMAIRE

1. Partie 1 : Bilan	9
1.1 Les forces de l'océanographie en France, les enjeux internationaux	9
1.1.1 Les Forces	9
1.1.2 La programmation internationale et nationale	10
1.2 Les thématiques, enjeux et quelques résultats récents	12
1.2.1 Géosciences marines	12
1.2.2 Physique-Biologie-Cycles	14
1.2.3 Biologie-Ecologie-Biodiversité	17
1.2.4 Halieutique	19
1.2.5 Les services d'observation	21
1.3 Bilan d'activité des campagnes en mer sur les 5 dernières années	26
1.3.1 Nombre de jours d'activités et périodes de désarmement	26
1.3.2 Répartition entre grands domaines disciplinaires	28
1.4 Bilan des publications	29
1.4.1 Préambule	29
1.4.2 Evolutions quantitatives et qualitatives	30
1.4.3 Rôle structurant	32
1.5 Enseignement à bord et Opérations grand public	34
1.6 Points forts et difficultés	35
1.6.1 Points relatifs à l'ensemble de la communauté FOF	35
1.6.2 Plus spécifiquement en Géosciences Marines	37
1.6.3 Plus spécifiquement en Physique-Biologie-Cycles	38
1.6.4 Plus spécifiquement en Biologie-Ecologie-Biodiversité	39
1.6.5 Plus spécifiquement en Halieutique	40
1.6.6 Points spécifiques à l'Outre-Mer	41
1.6.7 Points spécifiques à l'enseignement embarqué	41
1.7 Commentaires conclusifs sur le bilan	42
2. Partie II: Les enjeux et les priorités pour les années à venir	43
2.1 Les thématiques de recherche et défis	43
2.1.1 Géosciences Marines	43
2.1.2 Physique et dynamique océaniques, Cycles du carbone et éléments, écosystèmes	45
2.1.3 Biologie-Ecologie-Biodiversité	47
2.1.4 Halieutique	48
2.1.5 Questions aux interfaces des communautés scientifiques	49
2.1.6 Défis de l'Outremer	52
2.2 Un nouvel essor pour l'enseignement et la formation	53
2.3 Les contraintes de service public	53
2.3.1 Halieutique	54
2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau (DCE)	54
2.3.3 Directive Cadre sur la Stratégie Milieux Marin (DCSMM)	54
2.4 Les besoins en termes d'évolution de la flotte, moyens à la mer et soutien humain	55
2.4.1 Besoins en navires et engins profonds	55
2.4.2 Faire évoluer les équipements des navires	57
2.4.3 Le matériel embarqué	58
2.4.4 Les observatoires	59
2.5 Le financement : jours de mer, campagnes et recherches post-campagne	60

2.6	Les besoins en soutien humain	61
2.6.1	Besoin de personnel dédié.....	61
2.6.2	Besoin de l'identification d'une personne unique à l'interface avec le chef de mission, à terre comme en mer.....	62
2.6.3	Besoin d'un service de logistique au sein de la flotte.....	62
2.6.4	Besoin d'une cellule juridique au sein de la flotte	62
2.6.5	Besoin d'une harmonisation de l'accès aux parcs instrumentaux	63
2.7	Les attentes du personnel IT	63
2.7.1	L'urgence de la réorganisation	63
2.7.2	Pour une utilisation des compétences de l'ensemble des personnels de la FOF	64
2.8	L'archivage et la mise à disposition des données et échantillons	64
3.	Références Citées.....	66

0. Introduction

L'océanographie au sens large a pour objectif de comprendre le fonctionnement actuel et passé des océans et de ses interactions avec l'atmosphère et les continents. Concrètement, il s'agit de comprendre la dynamique du fluide, sa chimie et son rôle sur le climat mais aussi le développement de la vie dans les océans, sa diversité, la structure et le fonctionnement des nombreux écosystèmes qui s'y développent et constituent une ressource alimentaire et économique essentielle pour l'humanité; la mémorisation de ces informations au cours des temps géologiques dans les sédiments et les mouvements de ces derniers ; la tectonique et la géodynamique des fonds, miroirs de l'activité tellurique. Par conséquent, toutes les disciplines fondamentales sont impliquées dans ces défis, physiciens et chimistes, biologistes, halieutes et écologues, géologues et géochimistes, voire mathématiciens dans le développement de modèles souvent complexes. Les juristes sont aussi fortement sollicités pour tout ce qui a trait au droit de la mer en perpétuelle évolution. Géographes, sociologues et anthropologues s'impliquent quant à eux dans les questions de changement global (urbanisation, littoral...), d'éthique et sociologiques. Compte tenu de la taille de l'objet océan, qui couvre 71% de la surface de la Terre, et de l'importance des enjeux qui lui sont associés, les activités des océanographes sont par essence internationales et collaboratives. Les grands programmes de recherche dans lesquelles elles s'inscrivent sont co-optés au niveau mondial, académiques et garants d'une recherche indépendante. Pour le bénéfice de la société, il est essentiel que les mesures acquises en un lieu et à un instant ou pour une période donnée puissent être intégrées à celles acquises par les autres acteurs de la communauté mondiale, afin de nourrir les exigences de la connaissance de ce milieu difficile d'accès. Au-delà des publications dans des revues de très haut niveau, cette diffusion repose aussi sur la construction de centres interactifs de données.

L'océanographie constitue une approche multidisciplinaire de choix pour l'enseignement depuis l'Ecole jusqu'aux Universités, et au sein de celles-ci, dans les enseignements généraux et spécialisés de la formation à la recherche scientifique, de la Licence au Doctorat, ainsi que de la formation des techniciens et ingénieurs. Enfin, les thématiques des recherches en océanographie préoccupent de plus en plus la société civile concernée par le maintien de l'océan en bon état écologique, sa surveillance et l'exploitation durable de ses ressources. Les recherches en océanographie constituent donc un matériel de choix pour de nombreux centres de divulgation scientifique tout public et leurs actions de communication.

Ces recherches, et les actions d'enseignement et de divulgation scientifique associées, s'appuient sur des données et des prélèvements acquis *in situ* (eaux, sédiments, organismes, roches...) et, pour certaines thématiques, sur des données spatiales et des modèles numériques. L'acquisition des données et échantillons *in situ* repose sur des moyens navals de très haute technologie, navires océanographiques et véhicules dédiés pour l'exploration des abysses.

La Très Grande Infrastructure de Recherche Flotte Océanographique Française (TGIR FOF, présentée en annexe 1) regroupe l'ensemble des moyens navals français appartenant aux quatre organismes fondateurs (CNRS, IFREMER, IPEV, IRD). Elle se compose principalement des navires hauturiers, côtiers et de station (de longueur supérieure à 10 m), des équipements lourds associés (Nautile, ROV Victor 6000), et les équipements communs mobiles (système non-contaminant de prélèvement d'eau de mer, sismographes, carottiers, ...). La spécificité de la FOF dans le paysage international des flottes océanographiques est la multiplicité de ses fonctions (recherche académique, opérationnelle, observation, enseignement, service public, contrats privés), alors que dans la plupart des autres pays, les flottes océanographiques sont uniquement académiques.

Ses utilisateurs étant de domaines scientifiques différents, les équipements doivent être en adéquation avec ces usages variés. La diversité et la complexité des thématiques de recherche, la mise en œuvre de ces moyens lourds ainsi que la dimension de l'objet océan nécessitent le montage de projets collaboratifs au niveau national et/ou international et une coordination complexe. La FOF a par ailleurs un rôle majeur dans les recherches océanographiques menées avec les pays du Sud, que ce soit à travers les collaborations internationales ou les engagements outre-mer (OM). Cet enjeu est important, l'outre-mer représentant 97% de la ZEE et 68% du linéaire côtier français dans 4 océans différents (Atlantique, Indien, Pacifique, Austral). Du fait de l'éloignement, les recherches menées en outre-mer imposent des contraintes particulières, notamment de logistique, aux chercheurs et ingénieurs océanographes. Dans le cadre de la réorganisation de la FOF sur commande du secrétaire d'état à la recherche et dans l'objectif d'optimiser au mieux l'utilisation de cette infrastructure, il nous a semblé pertinent de proposer une prospective scientifique dédiée à la TGIR FOF.

Il s'agit d'exprimer les enjeux et verrous scientifiques pour les 15 années à venir, de formaliser les fonctions attendues par les différentes plateformes de la TGIR, de décliner les développements et moyens requis pour soutenir ces recherches et permettre à la communauté nationale de conforter sa place au plus haut niveau dans le paysage mondial de l'océanographie.

La présente prospective s'appuie sur i) les différentes prospectives discutées dans le courant des 3 dernières années au sein de l'INSU (qui présentent l'intérêt d'être trans-organismes) pour le milieu côtier comme hauturier, incluant en particulier les géosciences, l'océanographie physique, chimique et biologique, le fonctionnement du climat de la terre, les contraintes d'observatoires nationaux en métropole comme en outre-mer; ii) la prospective de l'INEE qui s'est concrétisée par un colloque fin février 2017 en biologie, écologie et biodiversité, là encore du littoral aux abysses; iii) les enjeux nationaux et internationaux autour de la pêche; iv) les conclusions du colloque « techno-flotte » qui s'est tenu à l'INSU en 2015; v) les autres contraintes de la FOF, en particulier celles de besoins en enseignement et de service public. Elle a été menée en concertation avec 10 animateurs de groupes de travail thématiques, la définition de ces groupes (entre 10 et 20 membres) est proposée en annexe 2. Un colloque a permis de confronter les retours des groupes les 8 et 9 mars à l'IPG Paris. Au total, plus de 100 utilisateurs de la FOF ont travaillé au brassage d'idées de cette prospective.

Pour des raisons d'efficacité, ce document est une synthèse, les liens et documents d'origine sont proposés dans des annexes (1 à 9).

1. Partie 1 : Bilan

1.1 Les forces de l'océanographie en France, les enjeux internationaux

1.1.1 Les Forces

Nous proposons ici un recensement de l'ensemble des personnels permanents, chercheurs, enseignant-chercheurs et physiciens des observatoires, ingénieurs et techniciens, qui utilisent la FOF (voir tableau Annexe 3), soit directement (embarquant) soit en travaillant sur des données ou échantillons issus des campagnes. Un tel inventaire, conduit avec le filtre « FOF », n'avait jamais été fait et a demandé de solliciter tous les directeurs d'unité concernés. L'hétérogénéité des retours n'a pas permis la granularité du traitement espérée (par exemple, on ne peut de façon fiable identifier le nombre d'enseignants-chercheurs).

Sans prétendre à l'exhaustivité, il apparaît que l'essentiel de ces personnels est réparti dans une soixantaine de laboratoires qui couvrent l'ensemble du territoire national, Métropole et Outre-Mer. Ces laboratoires sont pour les trois-quarts des Unités Mixtes de Recherche (UMR) rattachées en premier lieu à l'INSU (30) ou à l'INEE (16), et à plus d'une vingtaine d'Universités. Les autres tutelles de ces UMR sont principalement l'Ifremer, l'IRD et le MNHN, mais aussi le CEA, le CNES, le BRGM ou l'EPHE. Le dernier quart est essentiellement constitué des unités propres de l'Ifremer (15).

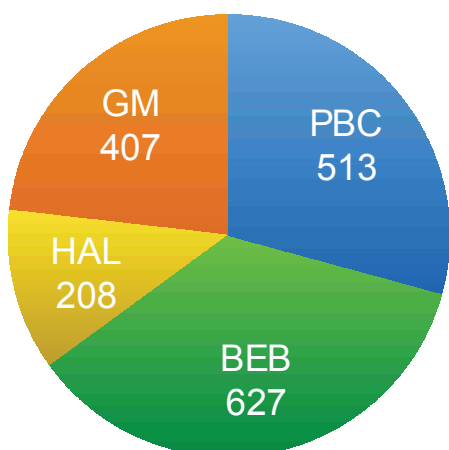


Figure 1. Répartition thématique des personnels permanents utilisateurs de la FOF. PBC Physique-Biologie-Cycle, BEB Biologie-Ecologie-Biodiversité. HAL Halieutique. GM Géosciences Marines. Voir tableau de données en annexe 3.

Sur les quelques 2600 chercheurs et 1500 ingénieurs et techniciens de ces laboratoires, un peu plus de 40% travaillent avec la FOF, soit près de 1800 personnes, avec un rapport IT/C d'un peu plus de 1 pour 2. Si l'on incluait les personnels contractuels - ingénieurs, doctorants et post-doctorants - il faudrait doubler cet effectif soit environ 3600 utilisateurs de la FOF.

Leur répartition en termes de thématique générale est illustrée ci-contre, soit un peu moins d'un quart en Géosciences Marines et paléo-environnements (GM), un peu moins d'un tiers en Physique-Biologie-Cycles (PBC), et près de la moitié en biologie, recherches halieutiques et écosystémiques confondues (HAL & BEB).

Tous les moyens de la FOF sont utilisés, les campagnes océanographiques étant menées sur les navires de station (35 laboratoires sur 60) et sur ceux de la flotte côtière (47) et hauturière (49). Si l'on croise thématique et catégorie de navires, on constate assez naturellement une légère préférence pour la flotte hauturière en PBC, et une utilisation renforcée des navires de station dans la communauté BEB, mais la plupart des laboratoires utilisent l'ensemble des moyens de la FOF. Cela traduit sans doute un renforcement des activités aux interfaces, à la fois géographiques (continent-côte-large) et thématiques.

Sur le plan thématique, des analyses plus fines peuvent être trouvées dans les travaux de prospective des différentes tutelles, notamment la Prospective Terre Solide 2016-2020, la Prospective Océan-Atmosphère (à paraître en 2017) et la Prospective INEE (à paraître en 2017).

1.1.2 La programmation internationale et nationale

Cadre International

L'océanographie requiert des moyens lourds et onéreux (satellites, navires, instruments autonomes ...) pour étudier des objets complexes. Que ce soit en physique, biogéochimie, biologie ou géoscience marines, les chercheurs de ces disciplines se structurent à l'échelle mondiale pour progresser avec intelligence et rationalité sur la connaissance d'un objet donné. Bien que compliquées à mettre en œuvre, des programmations collaboratives ont progressivement vu le jour depuis le début des années 90. Elles sont associées à la mise en place d'une coordination internationale permettant d'éviter, par exemple, que des régions considérées comme clefs échappent à l'observation. Les décisions de développer des réseaux d'observation ou de grands programmes de mesure se font sous l'égide d'ombrelles que sont les académies, l'organisation mondiale de la météorologie ou encore les nations unies, via l'UNESCO. Ces décisions reposent sur des conseils scientifiques internationaux, dans une démarche « bottom-up », la structuration mise en place répondant en premier lieu aux exigences imposées par le besoin de connaissance. Certains de ces programmes proposent un plan d'implémentation discuté par tous les pays partenaires, une discipline d'acquisition des données et de leur mise en banques ouvertes. D'autres programmes ont simplement un rôle d'animation scientifique et de suivi d'actions. Les schémas récapitulatifs proposés en Annexe 4 tentent d'apporter un éclairage sur ces architectures, nécessairement intriquées. Ces différents programmes induisent une structuration nationale cohérente avec ces enjeux mondiaux.

En géosciences marines, la communauté participe activement aux programmes et réseaux internationaux ECORD (European Consortium for Oceanic Research Drilling; <http://www.ecord.org>), EMSO (European Multidisciplinary Seafloor and water-column Observatory; <http://www.emso-eu.org>), JERICONEXT (réseau européen d'infrastructures dédiées à l'observation côtière; <http://www.jerico-ri.eu>) et EMODNet (European Marine Observation and Data Network; <http://www.emodnet.eu>). Elle contribue à des infrastructures de Recherche internationales telles qu'INTER-RIDGE et IODP et nationales telles que les IR-EMSO France (EMSO-Açores, EMSO-Ligure et EMSO-Marmara) et l'IR I-LICO (Littorale et Côtière) via des services et réseaux d'observations (labellisés ou en cours de labellisation DYNALIT et SOMLIT). Ces réseaux et programmes internationaux, européens et nationaux permettent d'apporter des éléments de réponses aux demandes sociétales (climat, géorisques aléas, énergie renouvelable, ressources minérales,...) et aux problématiques fondamentales du fonctionnement du système Terre à toute échelle de temps géologique.

En océanographie physique, chimique ou géochimique, la communauté internationale s'est fortement impliquée au cours des 20 dernières années dans le développement de réseaux d'observation *in situ* de l'océan et des campagnes en mer coordonnées. Ces réseaux et programmes d'observation *in situ* coordonnés fournissent des informations sur les variables océaniques identifiées comme essentielles pour répondre aux enjeux liés au changement climatique, à l'océanographie opérationnelle et à la santé des océans, mais également pour des études de processus (ex: température, salinité, courant, pH, CO₂, isotopes de l'eau, éléments nutritifs, chlorophylle etc...). Ces réseaux s'appuient sur différents types de plateformes, mobiles (bateau, flotteurs, gliders) ou fixes (mouillages, etc.), autonomes (flotteurs, bouées, gliders), satellitaires ou *in situ*, etc. (Annexe 4). Grâce à sa flotte océanographique, la France est particulièrement active, voire moteur, au sein des programmes Argo de flotteurs profileurs autonomes (<http://www.argo.ucsd.edu/>), Go-Ship (maintien d'un réseau de sections

hydrographiques, <http://www.go-ship.org/>) et GEOTRACES (étude des cycles biogéochimiques d'éléments traces et de leurs isotopes, <http://www.geotraces.org/>). Ces trois programmes proposent une approche intégrée, de la rédaction d'objectifs scientifiques avec implémentation des campagnes à la réalisation de bases de données, données validées par des protocoles rigoureux. Les chercheurs nationaux sont aussi très actifs dans les animations des programmes IOCCP (réseau mondial d'observations du carbone océanique; <http://www.ioccp.org/>) SOLAS (pour les questions à l'interface océan-atmosphère, <http://www.solas-int.org/>), IMBER (pour l'étude intégrée de la biosphère marine) et dans les systèmes d'observations des océans tropicaux (PIRATA, TPOS2020).

En biologie, écologie et biodiversité marines le contexte programmatique international s'est structuré plus récemment, notamment suite à l'impulsion du Census of Marine Life (CoML 2000-2010, CCAMLR). Tous les organismes sont concernés, du monde microbien aux grands prédateurs, de l'estran aux abysses et sous toutes les latitudes. Autour de la biodiversité, et sous l'égide des grandes instances internationales (UNESCO-UNEP & IOC, ICSU, IUCN, IUBS, IODE), ce sont des programmes de coordination de la recherche ([Future Earth](#) et programmes issus de Diversitas – bioDiscovery, bioGenesis, ecoServices), de l'observation ([GEOBON](#) et ses déclinaisons thématiques – MarineBON – ou régionale – ECOSCOPE en France) et de la bancarisation ([GBIF](#), [OBIS](#) & [WoRMS](#)) qui ont vu le jour ces dernières années (Annexe 4). Tous les échantillons biologiques prélevés lors des campagnes de la FOF sur ses navires hauturiers, de façade ou de station, ainsi que les données issues de l'analyse fonctionnelle ou évolutive de ceux-ci ont vocation à contribuer à ces programmes via leurs déclinaisons ou points d'entrée nationaux ou européens. Les données de séquençage (ADN, ARN ou protéines) issus de ces échantillons rejoignent d'autres banques mondiales, comme GenBank ou UniProt. A noter les ex-programmes UE EurOceans, MarBEF et Marine Genomics dont les communautés sont aujourd'hui regroupées dans [EuroMarine](#) qui, avec [l'European Marine Board](#) et le [JPI Ocean](#) structurent les recherches et la communauté au niveau européen. Pour ce qui concerne les ressources biologiques marines, l'IR EMBRC (et sa déclinaison européenne ESFRI [EMBRC](#)) ouvre l'accès aux navires de station de Roscoff, Banyuls et Villefranche à une communauté élargie de biologistes.

Les biologistes et écologues marins et les halieutes mobilisent aussi la FOF pour des mises au point méthodologiques et la mise en œuvre de campagnes menées en appui aux politiques publiques qui sont tout ou partie financées par l'Etat français ou l'Europe. Ces campagnes, initialement focalisées sur l'évaluation de stock dans le cadre de la Politique Commune des Pêches, ont été étendues à l'ensemble de l'écosystème en lien avec la Directive Cadre sur l'Eau (DCE 2000), et la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM-2008). Souvent récurrentes, ces campagnes fixent géographiquement certains navires de la FOF rendant impossible leur déplacement vers d'autres océans (eg la *Thalassa* est restée longtemps cantonnée à l'Atlantique nord).

Cadre National

Les chercheurs français participent activement à ces conseils scientifiques internationaux et y insufflent leurs priorités scientifiques. Par conséquent, il est cohérent qu'en France les appels d'offre de l'INSU, de l'INEE, de l'IFREMER ou de l'IRD, coordonnés au sein du Groupe Mer d'ALLENVI, veillent à relayer ces grands programmes et à stimuler une activité scientifique en accord avec ces objectifs mondiaux.

Quel que soit le champ disciplinaire (géologie, physique, biologie, chimie...), les thématiques scientifiques abordées par la communauté nationale s'appuient sur les campagnes océanographiques menées sur les navires de station et de la flotte côtière et hauturière, et ce dans tous les océans. Les montages des projets se font avec le soutien des organismes (INSU et INEE au CNRS, IRD, IFREMER, IPEV...) et de l'ANR, qu'il est trop souvent nécessaire de compléter

par des financements Labex, Idex ou encore régionaux ou privés (voir à ce propos 1.6.1 et 2.5), sur réponses aux appels d'offre.

1.2 Les thématiques, enjeux et quelques résultats récents

1.2.1 Géosciences marines

Thématiques et enjeux généraux

La communauté GM est active sur des thématiques et chantiers très divers tels que l'évolution du trait de côte, la dynamique des dorsales océaniques et la formation de la lithosphère océanique, les zones de subduction, les arcs volcaniques, les aléas sismiques et gravitaires, l'interface entre la lithosphère océanique et l'océan, l'analyse des archives sédimentaires pour l'étude des processus de transfert et de dépôt des particules qui sédimentent et pour les reconstructions paléoclimatiques et paléocéanographiques. Les préoccupations de la société pour l'océan, les littoraux et les aléas associés se sont amplifiées ces dernières années renouvelant le questionnement scientifique mais aussi économique sur :

- La nature des liens entre les changements géodynamiques et tectoniques et la dynamique océanique, le climat, l'érosion et l'enregistrement sédimentaire;
- L'établissement, via l'archive sédimentaire et fossile, d'un bilan de matière Source-to-Sink réaliste/complet et la modélisation des différents paramètres et forçages qui régissent cette dynamique;
- Les aléas sismiques et gravitaires en relation éventuellement avec la genèse de tsunamis ; Les aléas côtiers liés aux impacts anthropiques et au changement climatique (ex. érosion du trait de côte);
- Les ressources minérales et énergétiques marines (granulats, énergies marines renouvelables)
- La reconstruction des fluctuations paléoclimatiques et paléocéanographiques à partir de l'étude des séries sédimentaires et des coraux ; ces reconstructions permettent l'identification des processus et interactions qui contrôlent les changements climatiques ainsi que le rôle de l'océan sur l'évolution du carbone atmosphérique aux échelles de temps associés à la dynamique de l'océan et des calottes glaciaires ou à celles beaucoup plus longues des modifications orbitales de l'insolation ou de la géodynamique interne;
- La tectogénèse des marges actives ou passives et la migration des fluides depuis le manteau et la croûte jusqu'à la surface en contexte sédimentaire et aléas associés;
- L'étude des processus et des interactions eau-roche dans les grands fonds et l'impact des flux hydrothermaux sur les grands cycles biogéochimiques globaux et les écosystèmes marins.

Par ailleurs, les équipes françaises sont historiquement très impliquées sur les marges passives (atlantique, méditerranéenne, indienne) comme sur les marges actives (Andes du Nord, Japon, Méditerranée, SO Pacifique, Océan Indien, Antilles).

Résultats illustratifs

La communauté scientifique a innové dans quatre domaines en plein essor : (1) la réduction des risques et l'adaptation au changement climatique dans les zones littorales, en contribuant à évaluer de manière quantifiée les facteurs d'érosion et de submersion marine modifiant le trait de côte (voir aussi le document de prospective "Surfaces et interfaces continentales 2013-2017" de l'INSU), (2) l'instrumentation pour les grandes profondeurs, notamment en géophysique, avec le développement de capteurs et de dispositifs nouveaux pour l'électromagnétisme (ACEM), la

gravimétrie (GRAVIMOB), la géodésie et l'observation sismique, (3) l'acquisition de données *in-situ* du milieu profond via des développements instrumentaux innovants (PERISCOP, AUV 6000 en cours, ...) et les observatoires fond de mer (programme EMSO : 11 sites d'observatoires marins; IR EMSO-France avec 3 sites cibles Açores (MOMAR), façade Ligure et Marmara) et 4) le développement d'un carottier grande profondeur, qui propulse la France aux premiers rangs mondiaux pour la collecte de séries sédimentaires longues par carottage. Cette spécificité a permis à la communauté scientifique d'être active au sein des programmes PAGES/SCOR (IMAGES) en contribuant à des avancées de première importance concernant la variabilité climatique et océanographique des derniers 300000 ans (Waelbroeck et al., 2010 ; Gottschalk et al., 2016). Le programme Actions Marges (coll. INSU-Ifremer-BRGM-Total; <http://actionsmarges.fr>) a permis de coordonner les laboratoires nationaux dans trois grands domaines : 1) la rupture continentale dans le golfe d'Aden-Afar (Leroy et al., 2011), 2) les reconstructions paléoclimatiques et la crise salifère Messinienne dans les bassins méditerranéens de l'ouest (Druissi et al., 2015) et les reconstructions sédimentaires « source to sink » des marges passives (Rouby et al., 2013).

En parallèle, l'enjeu lié aux zones de permis d'exploration minière à grande profondeur (>3000m) induit des campagnes océanographiques associées à des moyens lourds (HOV Nautilie, ROV Victor).

Parmi les nombreuses avancées scientifiques obtenues ces dernières années, on peut citer par exemple les liens entre les aléas sismiques et gravitaires et les changements de géodynamique et tectonique avec les mises en évidence suivantes : 1) une corrélation entre les séismes profonds ou côtiers et l'accumulation au fond de la mer de dépôts de courant de turbidité générés par le mouvement du fond marin et la mise en suspension de sédiment (MARADJA2, PRISME, Figure 1 ; Babonneau et al., 2016); 2) un couplage entre dynamique et structure profonde des zones de subduction et l'origine des grands tremblements de terre (Singh et al., 2011 ; 2017) ; 3) des liens entre les éruptions volcaniques, la néotectonique et les effondrements de pentes volcaniques et tsunamis dans les Antilles françaises (ODEMAR, GWADASEIS, BATHYSAINTES ; Escartin et al., 2016 ; Leclerc et al., 2016).

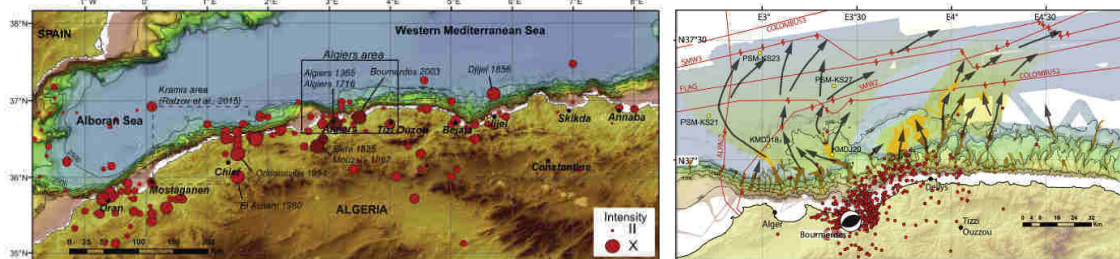


Figure 1: Gauche : Carte topographique et bathymétrique de la marge algérienne sur laquelle sont reportés les séismes historiques de cette zone en cercle rouge. Droite : Carte interprétative des courants de turbidité en zone côtière suite au séisme de 2003. Les résultats de cette étude sont présentés dans Babonneau et al. (2016).

Par ailleurs, comprendre la formation, la dynamique et l'évolution de la lithosphère océanique reste une problématique fondamentale des recherches en géosciences, révélant des interactions complexes entre le magmatisme et la déformation au niveau des dorsales océaniques lentes et ultra lentes. Les résultats obtenus lors des dernières campagnes hauturières démontrent que les mécanismes observés sont 1) un mode localement sans alimentation magmatique à l'axe dont l'accommodation de divergence des plaques s'effectue via la mise à l'affleurement tectonique du manteau lithosphérique sur plusieurs dizaines de km (SMOOTHSEAFLOOR, SWIR, Sauter et al., 2013 ; Cannat et al., 2009), 2) la remontée et l'exhumation du manteau le long d'une faille transformante transpressive due à la nature du manteau lithosphérique sous-jacent plutôt qu'à

un changement cinématique (COLMEIA, Maia et al., 2016), et 3) la formation des failles de détachement créant des « Oceanic Core Complex » (MOMARDREAM, ODEMAR, Figure 2 ; Andréani et al., 2014 ; Escartin et al., 2017).

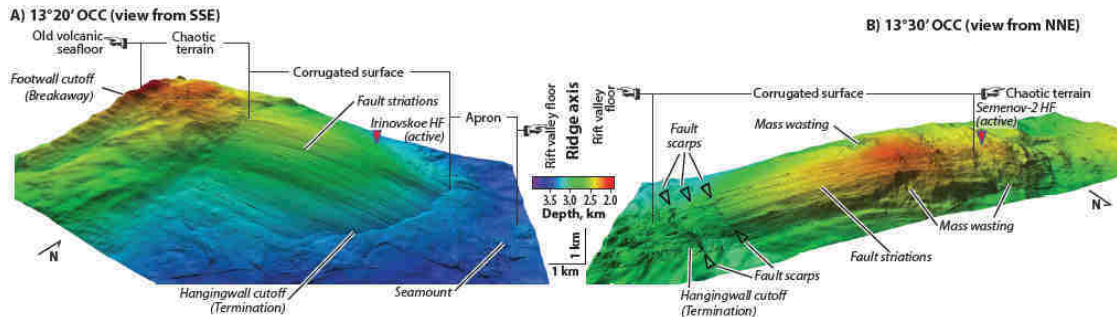


Figure 2: Vues micro-bathymétriques 3D des « Oceanic Core Complex » à 13°30'N et 13°20'N sur la dorsale médio-Atlantique révélant les différents domaines structuraux et les caractéristiques morphologiques associées. Les triangles rouges positionnent les sites hydrothermaux actifs (Escartin et al., 2017).

1.2.2 Physique-Biologie-Cycles

Thématiques et enjeux généraux

L'objectif majeur des recherches dans ces domaines est de mieux comprendre :

- les processus océaniques physiques et biogéochimiques ;
- leurs variabilités à différentes échelles de temps et d'espace ;
- leurs rétroactions possibles avec d'autres compartiments du système terre (continent, atmosphère, glace, lithosphère) ;
- l'impact du changement climatique et de la pression anthropique sur l'océan physique et biogéochimique, les deux conduisant à des modifications environnementales importantes et rapides pour certaines (modification de la stratification, de la circulation, fonte des glaces, augmentation du niveau de la mer, acidification, changement des volumes des zones de minimum d'oxygène, apports continentaux et atmosphériques incluant l'arrivée de nouveaux polluants, etc.).

Pour répondre à ces objectifs, la communauté mène des projets de recherche dédiés

- à l'étude des processus internes à l'océan, à ses interfaces et ses liens avec les forçages externes ;
- au diagnostic de l'état moyen actuel, de la variabilité et des évolutions à long-terme (tendance, rupture, cycles) de la circulation, des contenus océaniques en chaleur, sel, CO₂, et O₂, mais également des grands cycles des éléments chimiques, de la quantification de la pompe biologique, etc...

Ainsi la communauté Physique-Biologie-Cycles s'appuie sur les navires côtiers et hauturiers de la FOF pour mener de grands projets monodisciplinaires (ex. RREX, CASSIOPEE) ou multidisciplinaires (ex. AWA, AMOP, GEOVIDE, OUTPACE, JERICO-NEXT, CIGESMED, HYMEX-MERMEX-DEWEX). Sans compter les Services d'Observations (Section 1.2.5), plusieurs dizaines de projets ont pu être ainsi conduits au cours des 5 dernières années grâce à la FOF.

Les campagnes monodisciplinaires, essentiellement dans le domaine de la physique côtière et hauturière, se sont intéressées aux processus physiques impactant les masses d'eaux, leur dynamique et leur variabilité dans des régions aussi contrastées que l'Océan Atlantique Nord, le Golfe de Gascogne, l'Océan Austral ou encore le Pacifique Ouest. Les processus physiques

considérés sont la circulation grande-échelle et les structures de méso-échelles, les interactions courant-topographie, la formation des eaux profondes, les upwellings, le mélange turbulent.

Les campagnes pluridisciplinaires se sont intéressées à certains processus physiques ou biogéochimiques clefs et au rôle des processus physiques sur la biogéochimie et les écosystèmes.

Dans le domaine hauturier ces études ont porté sur la zone de minimum d'oxygène dans le Pacifique Sud Est, la formation de saumures dans les régions Arctiques, les études de processus et flux de carbone dans l'océan Pacifique et Austral, l'hydrologie et les caractéristiques biogéochimiques des masses d'eau en Méditerranée (Chantier MISTRALS) et l'influence des apports atmosphériques (poussières), des sédiments des marges et du mélange physique sur les cycles des éléments traces. La contribution de l'océan physique au stockage et transport de carbone anthropique, d'oxygène, et à la distribution des éléments traces et leurs isotopes a également été étudiée. Les sources, la réactivité et/ou la dynamique de la matière organique le long du continuum continent-océan, en lien avec les forçages environnementaux (notamment hydrodynamique et hydrodynamique sédimentaire) mais également les contaminants, ont reçu une attention particulière sur les côtes continentales et en outre-mer. Le lien physique-biologie (par exemple hydrodynamique-zooplankton), la réponse des écosystèmes au changement climatique et aux pressions anthropiques (incluant par exemple le suivi des contaminants dans les réseaux trophiques) ont également fait l'objet de nombreuses recherches.

Ces recherches sont menées à différentes échelles d'espace et de temps. Certaines campagnes parcourent des milliers de km pour étudier des successions de régions dynamiques et de régimes trophiques (ex. OUTPACE 5000km) tandis que d'autres se focalisent sur des zones restreintes mais extrêmement clefs comme la Méditerranée Nord-Occidentale (programme MISTRALS), le Golfe de Gascogne, les îles du Pacifique ou le Golfe de Guinée quand on considère l'échelle des sous-bassins. A une échelle plus petite encore, les recherches ont été menées au voisinage des côtes proposant par exemple l'étude d'un écosystème particulier comme la région de l'upwelling en Afrique de l'Ouest (AWA, EPURE) ou d'un ensemble d'écosystèmes. Certaines campagnes sont effectuées de façon unique, tandis que d'autres sont réalisées plusieurs fois par an pour étudier le cycle saisonnier (SPOT, MOOSE-GE), voire, pour celles qui s'appuient sur des services d'observation, à fine fréquence temporelle et de façon interannuelle (ex. projet MOSLIT). D'autres enfin, sans être labellisées Service d'Observation, existent depuis bientôt 20 ans (OVIDE). Ces recherches sont généralement associées à d'autres plateformes déployées en mer (engins autonomes, mouillages), et sont adossées aux observations satellitaires et à des efforts de modélisation.

Enfin, ces projets s'inscrivent, dans les programmes internationaux mentionnés plus haut comme GO-SHIP, CLIVAR, GEOTRACES, SOLAS etc et dans lesquels la communauté française est très impliquée, active et reconnue.

Résultats illustratifs

L'étude du cycle hydrologique et biogéochimique annuel en Méditerranée nord-occidentale dans le cadre du projet DEWEX-MERMEX/HYMEX (Figure 3) illustre la richesse de faire collaborer les communautés Océan et Atmosphère, l'intérêt du suivi saisonnier et une valorisation importante de l'utilisation de plusieurs navires de la FOF.

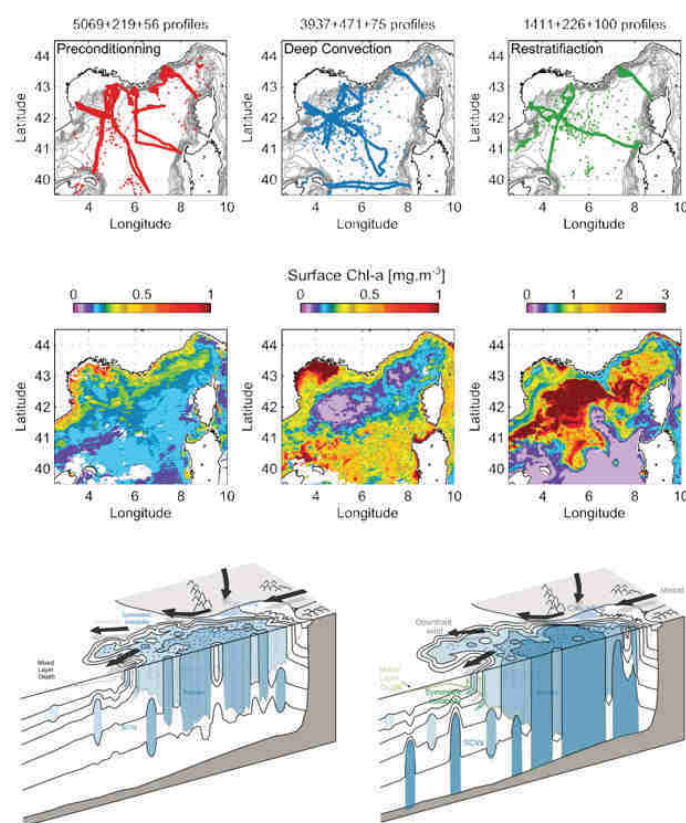


Figure 3. L'ensemble des campagnes estivales du SNO MOOSE et des 6 campagnes saisonnières DEWEX effectuées entre Juin 2012 et Juillet 2013 ont permis de réaliser un suivi annuel des conditions atmosphériques et océaniques pour étudier les multiples processus physiques impliqués dans la formation et la dispersion des eaux denses dans le Golfe du Lion et leurs impacts sur l'écosystème planctonique. Les cartes présentent la position des stations CTD et des radiales gliders, et la concentration superficielle en Chlorophylle-a obtenues pour différentes périodes de la convection (pré-conditionnement automnal, mélange hivernal, et re-stratification/dispersion printanière). Les diagrammes (figures du bas) schématisent l'évolution de la zone de convection et le volume de fluide mélangé par convection pendant la phase de mélange violent en une période de 1 à 2 semaines avec les différents processus mis en évidence (from Testor et al., JGR Ocean, Special Issue).
<http://www.insu.cnrs.fr/environnement/dewex-impacts-of-deep-water-formation-on-mediterranean-pelagic-ecosystems-mermex> ;
<http://www.insu.cnrs.fr/node/4893>

Le projet MOSLIT (EC2CO-DRIL, Figure 4) illustre le lien entre projets de recherche, services d'observation et Flotte Océanographique Française puisqu'il s'est appuyé sur les données et la logistique du SNO SOMLIT, et ainsi sur environ 900 sorties en mer des bateaux de stations et de façade de la FOF entre 2007 et 2014.

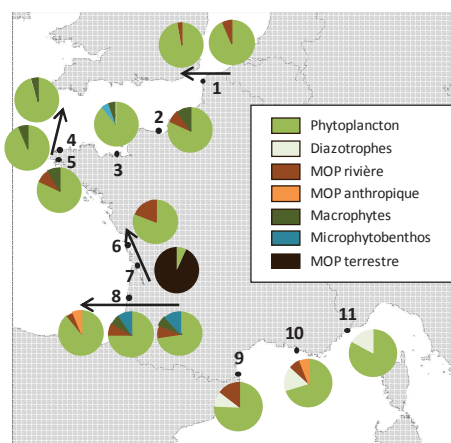


Figure 4 : Composition de la matière organique particulaire dans les écosystèmes côtiers suivis par le SNO SOMLIT (projet MOSLIT ; EC2CO-DRIL). 1 : Manche orientale ; 2 : baie de Seine ; 3 : ria de la Rance ; 4 : Manche occidentale ; 5 : rade de Brest ; 6 : pertuis charentais ; 7 : estuaire de la Gironde ; 8 : lagune d'Arcachon ; 9 : baie de Banyuls ; 10 : baie de Marseille ; 11 : rade de Villefranche.

Les résultats illustrent 1) la dominance du phytoplancton en dehors des estuaires, 2) l'importance des diazotrophes en Méditerranée (système oligotrophe), 3) le gradient continent-océan au sein d'un même écosystème ou le long d'un continuum (flèches noires), et 4) les forçages majeurs : hydrodynamique sédimentaire (elle-même liée à la météorologie et au climat) et le statut trophique (oligotrophie versus méso/eutrophie) des écosystèmes (Liénart et al., 2017).

1.2.3 Biologie-Ecologie-Biodiversité

Thématiques et enjeux

Si les concepts fondamentaux de la biologie restent identiques sur terre ou en mer, les caractéristiques du milieu marin imposent des modalités de fonctionnement et une réactivité des écosystèmes spécifiques. Comme pour d'autres domaines, exploration et expérimentation sont sous fortes contraintes d'accès et les moyens spécifiques, et notamment la flotte, structurent la communauté en un ensemble cohérent et interactif.

L'enjeu majeur reste de caractériser LES biodiversités et leurs dynamiques, dans un contexte de changements globaux, enjeu que les nouvelles technologies de séquençage (NTS), de même que des moyens d'observation en temps réel, non invasifs (ex. biologging, capteurs embarqués sur animaux), et des capteurs à haute résolution spatiale et temporelle comme ceux associés au réseau d'infrastructures côtières jointes européennes JERICO-Next, peuvent permettre d'envisager, que ce soit pour des recherches sur l'évolution biologique, la biogéographie ou le fonctionnement des écosystèmes. L'intégration de cet important afflux de données avec les apports de l'océanographie physique et chimique est en cours à différentes échelles pertinentes pour intégrer l'écologie dans des modèles holistiques.

Dans le domaine pélagique l'étude de la composante biologique (plancton) est généralement intégrée dans les campagnes pluri-disciplinaires de biogéochimie (ex. KEOPS2, MERMEX,...) incluant des études de biodiversité au sens large : phylogéographie, réseau trophique, mécanismes adaptatifs.

L'exploration de la biodiversité dans les milieux profonds par les équipes françaises se maintient au premier plan international, notamment grâce aux engins submersibles de la FOF (section 2.4.1 et Annexe 5). Cela concerne les écosystèmes chimiosynthétiques (ex. MESCAL, BIG, BIOBAZ, BICOSE, WACS, CONGOLOBE), souvent en lien avec des campagnes de géosciences, et les études écologiques associées à l'observatoire grand fond EMSO-MOMAR (MOMARSAT). Mais ce sont aussi les écosystèmes abyssaux des pentes continentales ou des monts sous-marins (notamment l'actuel programme Tropical Deep Sea Benthos du MNHN <http://www.mnhn.fr/fr/recherche-expertise/lieux/tropical-deep-sea-benthos> qui donne accès à 40 années d'échantillonnages réalisés lors des campagnes MUSORSTOM sur les milieux profonds des grandes îles tropicales avec un focus sur l'outre-mer français, mais aussi BOBECO, MAD, etc...) qui se développent.

L'écologie des communautés et des réseaux trophiques apporte une réponse concrète à la demande de diagnostic sur l'état écologique des milieux côtiers, et bientôt plus au large, pour le suivi de l'espace marin dans son ensemble (DCE ou DCSMM), et plus particulièrement pour les Aires Marines Protégées (AMP) actuellement en plein développement. La mise au point d'indicateurs nécessite l'accès à des zones références non ou peu impactées par l'Homme avec les moyens de la FOF (*cf.* programme PRISTINE et Iles éparses). L'étude de la connectivité des populations, via les marquages et suivis télémétriques ou les outils de la génétique, constitue un élément indispensable pour l'établissement et le suivi des AMP.

Toutes ces approches sont également mises en œuvre dans la ceinture intertropicale, où la concentration exceptionnelle de biodiversité présente dans les écosystèmes coralliens et les menaces qui pèsent sur eux du fait du changement climatique font l'objet d'une attention particulière (Campagne POSTBLANCO de suivi du blanchissement corallien en Nouvelle-Calédonie et campagnes SUPERNATURAL, CARIOCA sur l'effet de l'acidification de l'océan sur l'écosystème récifal).

Résultats Illustratifs

Parmi les nombreuses campagnes en biologie, écologie, biodiversité réalisées dans tous les océans et à toute latitude ou profondeur, voici deux exemples contrastés. L'un dans le domaine côtier utilisant un navire de station pour étudier le parasitisme chez une espèce commerciale, la coque; l'autre dans le domaine benthique profond, utilisant un navire hauturier et un submersible pour étudier l'adaptation en milieu extrême d'une symbiose chimiotrophe, *Bathymodiolus azoricus*.

Compétition vs. Parasitisme chez les coques

Depuis 1998, la population de coques (bivalve) est échantillonnée mensuellement sur le banc d'Arguin (Gironde) à partir des missions organisées sur le navire de station Planula 4. Il a été démontré une relation inverse entre la densité des coques et le nombre de parasites trématodes qui les infestent (Figure 5-A). Ainsi une forte densité de coques, qui entraîne classiquement les manifestations de la compétition (croissance moindre, mortalité accrue), peut également avoir des effets bénéfiques pour la population hôte en les débarrassant de certains parasites. Le mécanisme sous-jacent proposé repose sur l'effet de dilution : pour un stock de parasites donné dans l'eau, plus le nombre d'hôtes sera grand plus les parasites seront dilués au sein de la population de coques et moins les individus seront infestés (Figure 5-B).

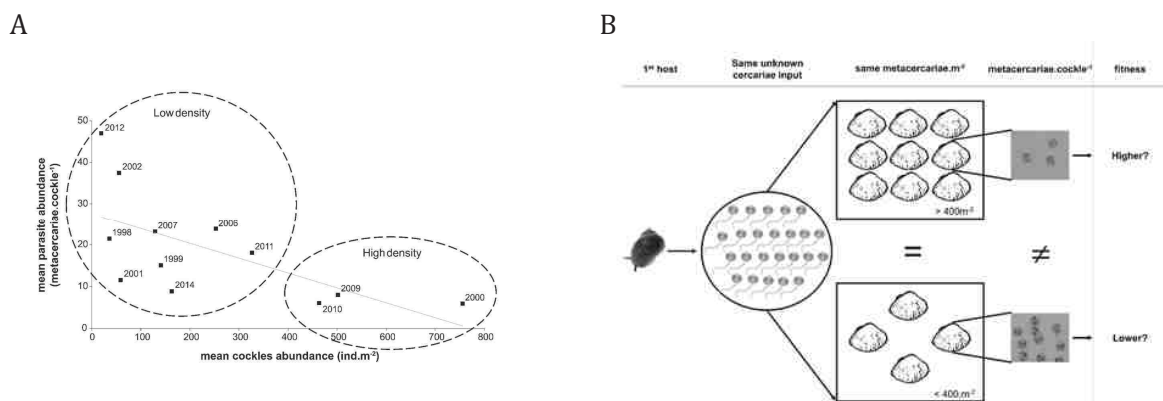


Figure 5 A. Nombre moyen de parasites par coque en fonction de la densité moyenne annuelle des coques (adultes). B. Schéma conceptuel illustrant l'hypothèse selon laquelle, à quantité de parasites constant, la densité des coques influe sur l'infestation individuelle. Magalhães et al. 2016.

Remontée de faune hydrothermale en conditions isobares

Une des critiques majeures pour l'étude de la biologie des organismes profonds est que la variation de pression lors de la remontée des échantillons affecte leur physiologie dans des proportions supposées préjudiciables. Depuis une quinzaine d'années l'équipe de B. Shillito (UPMC) développe un ensemble d'instruments hyperbares pour tenter de contourner ce problème. Pour la première fois, durant la campagne BIOBAZ en 2013, le ROV Victor a pu prélever des moules sur les sites de la dorsale médio-atlantique entre 800 et 2400m de fond, et les placer dans PERISCOP, dispositif permettant de conserver la pression du fond jusqu'à l'arrivée à bord du navire, le Pourquoi-Pas? Les premières analyses ont porté sur l'abondance des symbiotes bactériens de ces moules qui ne varie pas par rapport à des moules remontées sans contrôle de la pression (Szafranski et al., 2015). Par contre, l'analyse de l'expression différentielle des gènes entre ces deux conditions démontre clairement un effet de la remontée sans contrôle de la pression pour le site le plus profond, mais pas en deçà, validant ainsi certaines études faites jusqu'à présent mais incitant à tenir compte de l'effet de la remontée au-delà de 2000m (Tanguy et al., comm. pers.).

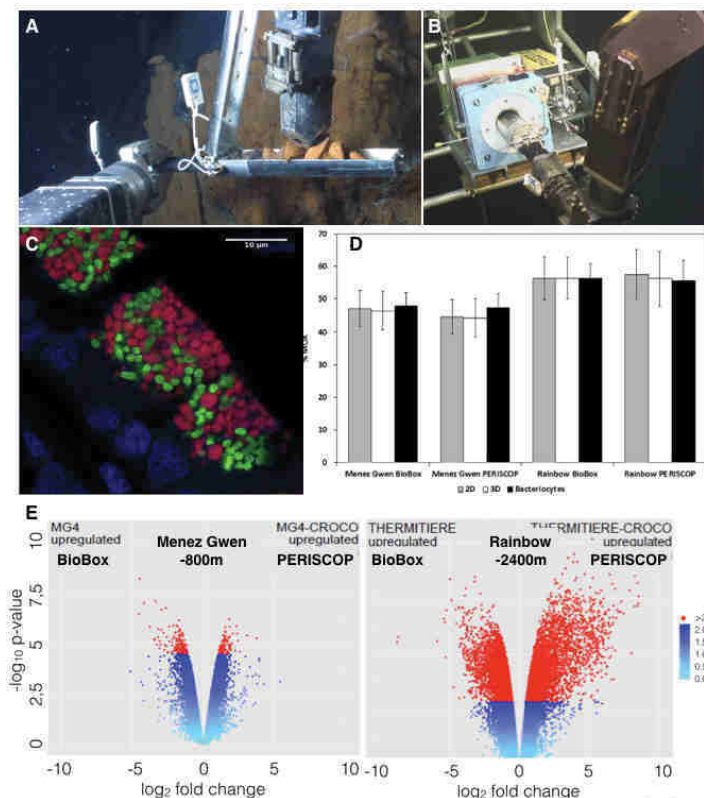


Figure 6
 A. Prélèvement de moules dans une « pince-croco » par le ROV Victor sur le site Rainbow (-2400m). B. Insertion du prélèvement dans PERISCOP pour une remontée isobare. C. Marquage fluorescent des deux types de symbiotes bactériens dans un filament branchial de la moule. D. Abondance des symbiotes après remontée isobare (PERISCOP) ou non (BioBox) depuis les sites Menez Gwen (-800m) ou Rainbow (-2400m). E. Expression différentielle des gènes pour ces mêmes conditions. Les points rouges dénotent une expression significativement différente.
 , B © Ifremer, BioBaz 2013
 C, D Szafranski et al., 2015
 E Tanguy et al., comm.pers.

1.2.4 Halieutique

Thématiques et Enjeux généraux

En plus des campagnes de recherche ponctuelles, la majorité des campagnes halieutiques menées ces dernières années viennent alimenter des séries chronologiques longues (les plus longues depuis les années 1970), à pas de temps annuel. La plupart sont institutionnelles (IBTS, PELGAS, EVHOE, CGFS...), financées dans un cadre communautaire et non évaluées par la communauté scientifique, excepté pour les mesures d'opportunité réalisées lors de ces campagnes. Quelques actions de valorisation sont cependant évaluées. Elles peuvent être réalisées sur navire hauturier (N/O *Thalassa* pour les campagnes IBTS par exemple), ou côtier (celles-ci peuvent aussi être financées localement). Les campagnes côtières sont réalisées à bord du N/O *Thalia* pour les coquilles Saint-Jacques, *Côtes de la Manche* pour les campagnes ORHAGO et *Europe* en Méditerranée. L'usage de navires professionnels de petite taille peut être requis pour les zones estuariennes, ou faute d'un navire océanographique disposant de capacité de chalutage à panneaux sur les façades Manche-Atlantique. Toutes ces campagnes doivent être réalisées à des périodes imposées (liées au cycle biologique des espèces) et précisées dans les protocoles internationaux lorsqu'ils existent. Il s'agit principalement de collecte de données biologiques qui seront à la base du diagnostic sur l'état des stocks des principales espèces exploitées. Au fil du temps, ces campagnes se sont diversifiées et permettent aujourd'hui de collecter également des données sur l'ensemble des espèces échantillonnées et sur l'environnement ; il s'agit plus généralement de contribuer à l'observation de l'ensemble des compartiments des écosystèmes du plateau continental (de l'hydrologie à la production primaire et jusqu'aux prédateurs supérieurs).

Ainsi, les grands domaines de recherche abordés grâce aux campagnes couvrent un champ très large: interactions individu-environnement, distribution spatiale, habitats et connectivité des populations de poissons, dynamique des populations de poissons, dynamique spatio-temporelle des communautés ichthyologiques et de leur diversité, fonctionnement des réseaux trophiques marins, interactions ressources halieutiques-flottes de pêche, interactions écosystème-usages multiples, etc. Des questions de méthodes d'observations sont aussi abordées par certaines campagnes (étude de l'observabilité, du « Target Strength » acoustique des poissons pélagiques, exploration de la bio et géo diversité, etc., ...), ainsi que des méthodes d'automatisation de l'échantillonnage et de la détermination (ex : de la combinaison CUFES sur N/O Thalassa et ZooCAM pour l'échantillonnage en continu et la reconnaissance semi-automatisée des œufs de poisson et du zooplancton).

Résultats Illustratifs

En Méditerranée

Historiquement, les protocoles des campagnes halieutiques ont été construits pour alimenter les bases de données servant à produire des indicateurs sur l'état des stocks. Ces séries chronologiques sont désormais exploitées dans un cadre scientifique plus large, et constituent des données de base pour des travaux de recherche dont les résultats sont largement diffusés (thèses, M2, publications référencées, colloques, etc...).

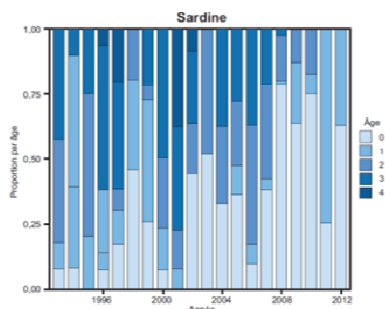


Figure 7 Proportion de la population de sardines dans chaque classe d'âge de 1993 à 2012. Plus latente est claire, plus les individus sont jeunes. Voir Van Beveren *et al.* 2014

A titre d'exemple, les données issues des campagnes PELMED ont révélé des changements démographiques et biologiques dans les populations de petits pélagiques dans le Golfe du Lion au cours des vingt dernières années. Alors que la biomasse d'anchois a considérablement chuté entraînant avec elle une crise de la pêcherie, l'abondance des sardines s'est maintenue ou a même augmenté. Dans le même temps, un changement important de la structure en taille de ces espèces a été observé, les sardines et les anchois étant beaucoup plus petits depuis 2008 qu'avant. Cette diminution de la taille résulte pour la sardine à la fois d'une baisse de la croissance et d'une perte des individus les plus âgés (perte des classes d'âge supérieures à 2 ans ; Van Beveren *et al.*, 2014, Figure 7, ci-contre), alors que seule la croissance semble en cause pour l'anchois.

Halieutique et biodiversité marine dans le Pacifique Sud-Ouest

L'IRD collabore activement avec la CPS depuis 2005 sur la thématique des ressources halieutiques pélagiques. Le thon est une ressource primordiale pour la plupart des petits pays du Pacifique et représente une part importante de l'économie locale dans les territoires de la Nouvelle-Calédonie et Polynésie Française. Les captures totales de thons dans le Pacifique occidental et central n'ont cessé d'augmenter depuis les années 1980 pour atteindre en 2015 un total de 2,7 millions de tonnes (soit 80% des captures dans le Pacifique et 56% des captures mondiales). Le travail s'est focalisé sur la compréhension du fonctionnement de l'écosystème pélagique et sur les interactions entre le thon et son environnement. Depuis 2011 en particulier les études portent en particulier sur les niveaux trophiques intermédiaires (zooplancton et micronecton) qui représentent la nourriture des prédateurs supérieurs comme les thons et les oiseaux marins. Sur la thématique du micronecton pour lequel il existe très peu de données de terrain, la série des campagnes océanographiques pluridisciplinaires NECTALIS (1 à 5) a été réalisée autour de la Nouvelle-Calédonie entre 2011 et 2016 à bord de l'*Alis*. Les campagnes

MOM-ALIS et INTERCASTEAUX ont permis d'élargir notre travail aux oiseaux marins. Ce travail de collecte de données se poursuit dans le cadre du projet BIOPELAGOS (programme Best 2.0 financé par l'Union Européenne) qui se déroule sur 3 ans (2016-2019) en Nouvelle-Calédonie et à Wallis et Futuna avec 2 autres campagnes : PUFFALIS programmée en 2017 et WALLALIS demandée pour 2018 toujours à bord de *l'Alis* avec des collectes de données physiques, chimiques, biologiques (phytoplancton, zooplancton, micronecton) et acoustiques.

1.2.5 Les services d'observation

Thématiques et enjeux généraux

En Sciences de l'Environnement, les observations régulières réalisées sur de longues périodes ont été et apparaissent de plus en plus comme un dispositif incontournable d'accompagnement de la recherche et de soutien aux engagements contractuels envers l'Etat. En effet, pour chacun des milieux naturels, il est nécessaire de comprendre les mécanismes fondamentaux de leur fonctionnement, de prévoir les évolutions possibles à différentes échelles de temps et de construire des modèles de prévision qui devront assimiler des données fiables. Pour mener à bien ces recherches et répondre aux attentes de la société, la communauté des Sciences de l'environnement s'implique dans **l'observation systématique des milieux naturels, afin de suivre leur évolution, la comprendre et la modéliser**. Cette mission est le fondement des prévisions qui constituent une des ambitions de l'effort scientifique.

La structuration de l'observation nationale (SNO, SOERE, Infrastructures de Recherche), a permis de soutenir des études à long terme des environnements marins qu'ils soient principalement impactés par l'évolution du climat (interaction océan/atmosphère), directement soumis aux influences de l'activité humaine telles que les eaux littorales et côtières, ou encore dans des environnements benthiques particuliers. Les observatoires et réseaux d'observation sont maintenant reconnus comme indispensables pour obtenir des données sur le long terme afin de déterminer les évolutions du milieu et des processus (physique, biodiversité, écosystèmes, cycles biogéochimiques) liés au changement global et à l'impact anthropique. Sur la période 2011-2016, plus de 600 jours par an ont été dédiés aux opérations des observatoires labellisés à partir des navires hauturiers, de façade et de station. Pour l'instant, très peu de structures nationales d'observation couvrent la ZEE française d'outre-mer, laissant un vide important.

En parallèle, la montée en puissance de l'océanographie opérationnelle (projet MERCATOR/Coriolis) demande un plus grand flux de données en temps quasi-réel via des systèmes d'observation automatisés (mouillages, mesures de surface en transit, profileurs ARGO, profils de stations CTD, sondes XBT, bouées dérivantes SVPs, etc.). Ces développements requièrent du temps navire, en particulier pour la mise en œuvre et la maintenance des engins autonomes.

Les observations à partir de la flotte de station (stations marines et OSU)

Les observations réalisées dans les zones facilement accessibles (après quelques heures de navigation au maximum) utilisent essentiellement les navires de façade de l'INSU et de l'IFREMER, mais également en permanence la flottille des Stations Marines. **Le bilan actuel, pour la flotte de station, du nombre de jours dédiés aux opérations d'observation est de l'ordre de 260 jours (Tableau 1).**

Ces études littorales et côtières sont aussi de plus en plus souvent pluridisciplinaires pour appréhender correctement les couplages physique-chimie-biologie dans ces milieux anthropisés et à dynamique complexe. Cette flottille est également sollicitée pour la maintenance de mouillages et sites instrumentés en milieu côtier (réseau national CoastHF de l'infrastructure de Recherche ILICO). Sa programmation locale lui permet d'être réactive, qualité indispensable pour

assurer la logistique associée aux équipements de mesures autonomes (mouillages instrumentés, AUV, gliders, flotteurs), nouvelle technologie actuellement intégrée dans tous les programmes en cours. Le mode de programmation de cette flottille, souple et proche des utilisateurs, apporte généralement satisfaction. Il est impératif de maintenir cette souplesse d'utilisation et la qualité de cette flottille qui seule permet de soutenir les activités récurrentes de recherche et d'enseignement des stations marines, d'assurer les missions de plongées pour les observations biologiques et écologiques.

Service d'Observation	Type navire	Zone géographique	Navire FOF	Durée Mission jours	Mission/an	Total jours dédiés	Travaux
OISO-CARAUS	Hauturier	sud indien et Austral	MD II	TRANSIT + stations	3,5	7	Hydrologie/mesures en route sur 3 semaines
NIVMER ROSAME	Hauturier	Austral	MD II	TRANSIT	1		transit relevage/mouillage
MEMO	Hauturier	Austral	MD II	TRANSIT	1		transit
SONEL	Hauturier	Indien sud	MD II		2	2	maintenance marégraphes
SONEL	Hauturier	Indien sud	MD II	transit			transit
OHASIS-BIO	Hauturier	Océan austral	MD II	transit			transit
MDCPR	Hauturier	Océan austral	MD II	transit			transit
MINERVE	Hauturier	Polaire Antarctique	Astrolabe	14	3	42	Mesures en route/hydrologie
SURVOSTRAL	Hauturier	Polaire Antarctique	Astrolabe	14	2	28	Mesures en route
PIRATA	Hauturier	Atlantique équatorial	Suroit/Thalassa	40	1	40	Hydrologie - Mouillage - Mesures en route
MOOSE-GE	Hauturier	Méditerranée	Suroit/Thalassa	25	1	25	Hydrologie - Mouillage
HYDROMOMAR	Hauturier	Atlantique Nord	Thalassa, Suroit	14	0,5	7	Hydrologie - Mouillage
MOMARSAT	Hauturier	Atlantique Nord	Thalassa-Atalante, Pourquoi Pas?	21	1	21	maintenance observatoire fond de mer
OVIDE	Hauturier	Atlantique Nord	Thalassa-Atalante, Pourquoi Pas?	34	0,25	8,5	Hydrologie - Mesures en route - déploiement flotteur
					Total	180,5	
MOOSE-ANTARES)	Façade	Méditerranée	Téthys II	1	12	12	Hydrologie - chimie - Biologie
MOOSE - DYFAMED	Façade	Méditerranée	Téthys II	1	12	12	Hydrologie - chimie - Biologie
MOOSE(BILLION)	Façade	Méditerranée	Europe/Téthys II	8	1	8	maintenance mouillage
BOUSSOLE	Façade	Méditerranée	Téthys II	3	12	36	Hydrologie
EMSO	Façade	Méditerranée	Téthys II	6	1	6	maintenance mouillage
Molit -coast-HF	Façade	Littoral Atlantique	THALIA	3	2	6	Mouillage/relevage annuel
					Total	68	
MOOSE-MOLA	station	Méditerranée	Néréis	1	12	12	Hydrologie - chimie - Biologie
SOMLIT-Villefranche	station	Littoral méditerranée	Sagitta	1	48	48	Hydrologie-chimie-biologie
SOMLIT-Banyuls	station	Littoral méditerranée	Néréis	1	24	24	Hydrologie-chimie-biologie
SOMLIT-Wimereux	station	Littoral Manche	Sépia II	1	24	24	Hydrologie-chimie-biologie
SOMLIT-Brest	station	Littoral Atlantique	Albert Lucas	1	24	24	Hydrologie-chimie-biologie
SOMLIT-Roscoff	station	Littoral Manche	Néomysis	1	24	24	Hydrologie-chimie-biologie
SOMLIT Arcachon	station	Bassin d'Arcachon	Planula IV	1	24	24	Hydrologie-chimie-biologie
SOMLIT Arcachon	station	Estuaire de la Gironde	Côte de la Manche	3	10	30	Hydrologie-chimie-biologie
SOMLIT Marseille	station	Baie de Marseille	Antedon II	3	10	30	Hydrologie-chimie-biologie
Mesurho - coast-HF	station	Littoral méditerranée	HELIOS	1	10	10	Maintenance métrologique - hydrologie
SOLEMIO - coast-HF	station	Littoral méditerranée	Antedon II	1	10	10	Maintenance métrologique - hydrologie
Phytobs	station	Toute façade		en cours de définition			Suivi phytoplanctonique
					Total	260	
ARGO	TOUS/opportunité	océan mondial	TOUS/opportunité				largeur flotteur
SSS	navires marchands	océan mondial	navires marchands				Mesures en route

Tableau 1: Bilan des jours de mer de la flotte dédiés aux services d'observation labellisés ou récurrents (OVIDE, MDCPR)

A ce jour, il n'existe aucun navire de station proprement dit localisé outre-mer. Actuellement, un seul OSU a été créé et pourrait servir de support, celui de La Réunion, mais il n'a pas de bateau. En revanche, deux navires couvrent ou ont couvert cette fonction, mais de façon sporadique et sous-dimensionnée (*Amborella* du gouvernement de Nouvelle-Calédonie et *La Curieuse* à La Réunion).

Les observations à partir de la flotte de façade

La programmation des navires dits de façade (essentiellement côtiers) est en train d'évoluer avec une augmentation des demandes récurrentes dans le cadre des services d'observations scientifiques labellisés mais aussi du développement des services publics (ex. DCSMM). Outre l'échantillonnage régulier (mensuel à annuel) sur des stations références (réseaux SOMLIT et MOOSE), les besoins portent sur la maintenance de sites instrumentés, dont le nombre et la

complexité augmentent, notamment en Méditerranée nord-occidentale (BOUSSOLE, MOLA, ANTARES, ...). **Le bilan actuel fait état d'un besoin de l'ordre de 70 jours.**

La flotte de façade doit nécessairement se moderniser pour la mise en œuvre des stations « fond de mer » et pour répondre aux besoins émergents de l'océanographie opérationnelle, notamment avec l'installation à bord de systèmes de mesures automatisés (type ferry box) et de communications haut débit.

Les observations à partir de la flotte hauturière

La flotte hauturière est elle aussi fortement sollicitée pour assurer des opérations liées aux activités d'observation scientifiques avec une demande de l'ordre de 180 jours de mer:

- Pour des campagnes spécifiquement dédiées (PIRATA, MOOSE, OVIDE...)
- Pour des transits valorisés (MINERVE, OISO, SURVOSTRAL...).
- Pour les observatoires « fond de mer » sous la responsabilité de la France et intégrés à un consortium européen ERIC (European Research Infrastructure Consortium), lequel assure une mise en réseau de 11 sites observatoires marins multidisciplinaires (géosciences, biologie, océanographie). EMSO-France est devenue une Infrastructure de Recherche (IR) avec 3 sites cibles : Açores (MOMAR), façade Ligure et Marmara. Ces trois sites concernent environ 120 utilisateurs repartis sur 15 labos, dont près des 2/3 relèvent des géosciences marines.
- A noter que l'ensemble de ces opérations d'observations permet de valoriser des transits (voir ci-dessous). De ce fait, le nombre de jours total reporté pour les services OISO-CARAUS, MEMO, NIVMER, SONEL... est donné à titre indicatif.

Les campagnes hauturières d'observation accueillent régulièrement d'autres opérations par mutualisation du temps navire et valorisation des transits.

- PIRATA, de par ses campagnes annuelles et selon des radiales répétées dans une même région, constitue une plateforme pour réaliser des opérations d'opportunité (mât instrumenté, radiosondages, collecte d'échantillons CARBOCHANGE, déploiement de gliders, de bouées dérivantes SVP et de flotteurs Argo, mesure en continu d'isotopes).
- MOOSE-GE assure depuis 5 ans une maintenance mutualisée des mouillages hauturiers hydrologiques de la façade méditerranéenne nord-occidentale. A partir de 2017 cette mutualisation de maintenance pourrait s'élargir aux deux bouées ODAS de Météo-France, sous réserve de sa pertinence scientifique. De nombreux programmes de recherche s'appuient implicitement sur la pérennité des services d'observations (ex. Chantier MISTRALS avec MOOSE et FiX03).

Sans être labellisé Service National d'Observation, le projet OVIDE contribue depuis 2002 à l'observation des éléments de circulation du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord en réalisant tous les deux ans une section d'hydrographie-géochimie-courantométrie entre le Groenland et le Portugal et en déployant des profileurs Argo. La section OVIDE a été réalisée tout d'abord dans le cadre du projet OVIDE (tous les deux ans de 2002 à 2010) puis par le laboratoire espagnol CSIC en 2012 et 2016 et en 2014 lors de la campagne GEOVIDE de GEOTRACES/France. La section OVIDE est une des lignes « à haute fréquence » du programme international Go-Ship et contribue à la TGIR Euro-Argo par le déploiement de profileurs et au projet international OSNAP. Comme PIRATA, OVIDE contribue au SNO SSS et à GOSUD par l'échantillonnage systématique pour la mesure de la salinité, ainsi qu'à CARBOCHANGE via la prise d'échantillons pour les paramètres CO₂. Certaines observations sont transmises en temps quasi-réel à CORIOLIS (profils CTD et XBT).

Enfin, certains services (SSS, Argo) qui reposent sur la FOF font également appel à des navires océanographiques étrangers ou à des navires marchands afin d’avoir régulièrement accès à des zones rarement explorées par les navires de recherche. Dans le cadre du SNO Argo France, 56% des flotteurs gérés par la France ont été déployés par des navires de la FOF, 33% par des navires océanographiques étrangers et 11% à partir de navires d'opportunités (voiliers, etc.). Le service SSS s’appuie uniquement sur des navires d’opportunité, mais un regroupement est envisageable à moyen terme avec les données équivalentes issues des navires de recherche.

Halieutique

Les campagnes halieutiques, dites de « service public », non évaluées scientifiquement et non financées sur le budget de la FOF, font partie de campagnes pérennes réalisées à la fois sur des navires hauturiers et côtiers venant alimenter des séries chronologiques longues (depuis les années 80s et 90s), et contribuent au réseau d’observation du Système d’Informations Halieutiques (SIH) de l’Ifremer. Elles sont également le support d’observations complémentaires concernant essentiellement la faune marine. **L’utilisation de la flotte pour ces missions d’état porte sur plus de 150 jours de mer (Tableau 2).**

Suivi Halieutique	Type navire	Zone géographique	Date début	Navire FOF	Durée Mission jours	Mission/an	Total jours dédiés	Travaux
PELMED	Hauturier	Méditerranée		Europe/Thalassa	25	1	25	Halieutique -oiseaux et mamifères marins
EVOHE	Hauturier	Manche Atlantique		Thalassa	40	1	40	Halieutique -oiseaux et mamifères marins
PELGAS	Hauturier	Atlantique		Thalassa	30	1	30	Halieutique -oiseaux et mamifères marins
IBTS	Hauturier	Mer du nord		Thalassa	30	1	30	Halieutique -oiseaux et mamifères marins
CGFS	Hauturier	Manche	1988	Thalassa	30	1	30	Halieutique -oiseaux et mamifères marins
						Total	155	

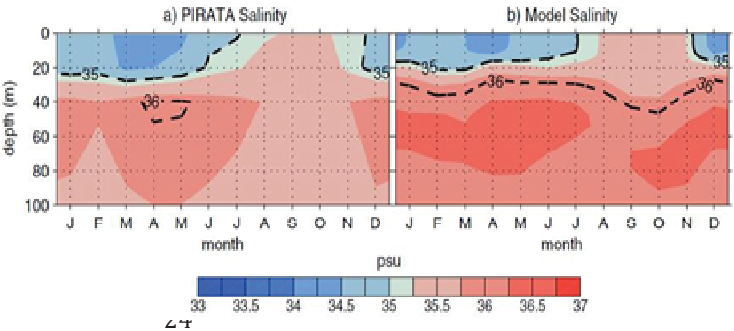
Tableau 2: Bilan des jours de mer de la flotte dédiés aux campagnes récurrentes d’évaluation halieutique

Résultats Illustratifs

PIRATA :

L'utilité et la précision des mesures de pluie et de salinité obtenues à partir des bouées ATLAS du réseau PIRATA sont désormais bien établies, et il est désormais prouvé que la salinité est un paramètre d'une importance capitale dans les tropiques pour le bilan de chaleur dans la couche de mélange et les échanges à l'interface air-mer (des fortes dessalures sont observées en Atlantique tropical en raison des fortes précipitations et décharges des principaux fleuves mondiaux -Amazonne, Congo, Niger). Dès 1999, les mesures PIRATA avaient permis la mise en évidence du phénomène de barrière de sel dans l'Atlantique tropical ouest (Pailler et al., 1999). La compréhension de l’impact des variations de la salinité sur la SST est devenue ces dernières années un sujet majeur. L’utilisation des données PIRATA (notamment pour la validation des nouvelles mesures satellitaires dédiées -SMOS, Aquarius) a permis de mieux comprendre l’impact respectif des précipitations et des décharges des grands fleuves sur la couche de mélange et la SST et d’établir des bilans de sel dans le Golfe de Guinée (Figure 8, Da Allada et al., 2013, 2014).

Figure 8 : Comparaison des évolutions (2006-2007) de la salinité à 0°N-0°E obtenues par la bouée PIRATA et par un modèle numérique, utilisé pour une étude du bilan de sel dans la couche de mélange. (Da Allada et al, 2014)



OISO-CARAUS

Les observations OISO, conduites à bord du *Marion-Dufresne II* depuis 1998, ont contribué à mieux évaluer la variabilité décennale du puits océanique de CO₂ (Landschützer et al., 2015). Sous l'influence de la variabilité des vents et du réchauffement ou refroidissement des eaux de surface dans certains secteurs de l'océan austral et suivant les années, le puits de carbone a diminué au cours de la période 1990-2000, mais il a augmenté entre 2002 et 2011 (Figure 9). Ces estimations permettent, en particulier, de réviser le bilan de carbone planétaire (Le Quéré et al., 2016).

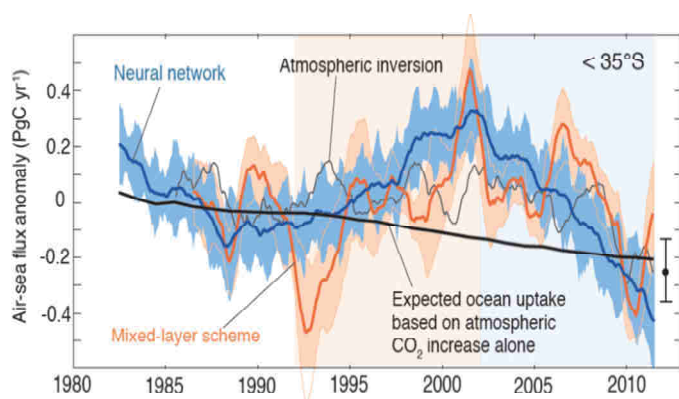


Figure 9 : Variabilité des Flux de CO₂ air-mer dans l'océan Austral, sur la période 1982-2011 évaluée par une Inversion Atmosphérique (grisé) et 2 méthodes (bleu et orange) basées sur la base SOCAT (Landschützer et al., 2015). La tendance liée uniquement à l'augmentation de CO₂ atmosphérique, sans prendre en compte la variabilité climatique, est également indiquée en noir

SOMLIT

Dans les écosystèmes côtiers, le climat régional (AMO, NHT, SST) comme local (vent, précipitations, etc.) a une influence directe sur le fonctionnement des écosystèmes. En particulier un shift au début des années 2000 apparaît à la fois sur des indices et paramètres climatiques et sur des données hydrologiques à l'échelle des trois façades maritimes françaises mais aussi plus localement (estuaire de la Gironde) sur les communautés ichthyologiques (Figure 10). Ces exemples illustrent parfaitement la sensibilité des écosystèmes côtiers au changement climatique, sensibilité qui concerne à la fois les compartiments abiotiques et biotiques.

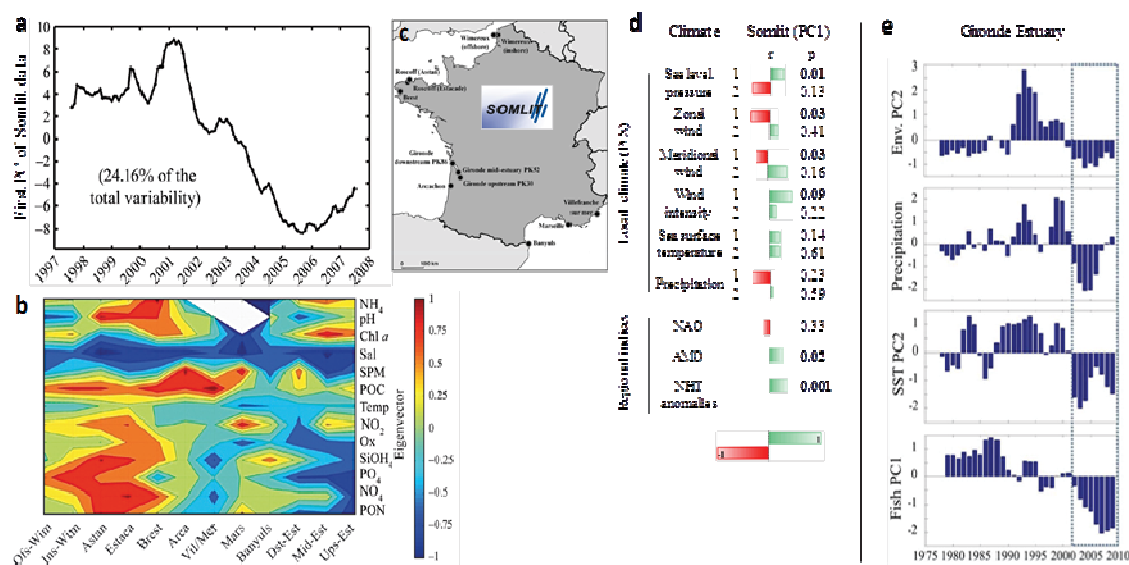


Figure 10: a : évolution temporelle (1997-2008) de la première composante principale des données SOMLIT. b : corrélation de chaque paramètre à chaque site avec la première composante principale. c : sites SOMLIT. d : coefficient de corrélation (r) et p-values (p) des corrélations entre les données SOMLIT et des paramètres climatiques. e : évolution temporelle de composantes principales de paramètres environnementaux (Env.), de la température de surface de l'Atlantique Nord (SST) et de communautés ichthyologiques, ainsi que des anomalies de précipitations pour l'estuaire de la Gironde. PC : composante principale ; NAO : North Atlantic Oscillation ; AMO : Atlantic Multi-decadal Oscillation ; NHT : Northern Hemisphere Temperature. a-d: Goberville et al., 2010. e : Chaalali et al., 2013.

1.3 Bilan d'activité des campagnes en mer sur les 5 dernières années

La FOF rassemble des navires à la taille et au coût de mise en œuvre très différents. La simple addition des jours de mer de cet ensemble ne revêt que peu de sens et tout bilan doit être établi à partir de sous-catégories homogènes. La segmentation la mieux admise et la plus utilisée est celle qui distingue : (1) les navires dits hauturiers ($l > 36m$), (2) les navires côtiers ou « de façade » ($l < 36m$), et (3) les navires de stations ($l > 10m$ et dont la caractéristique est d'être gérée de manière délocalisée). Cette dernière se différencie des deux autres par le fait que l'unité de programmation/utilisation n'est pas la campagne mais la journée, voire bien souvent la demi-journée de mer. Ceci complique clairement le suivi de leur activité et nous a conduits à ne pas prendre en compte l'activité de cette composante de la FOF dans le bilan qui suit. Nous souhaitons néanmoins rappeler la fonction essentielle que joue cette flottille en tant que support de l'ensemble des activités des stations marines françaises. Les données présentées ci-dessous ont été compilées sur la base des informations fournies par l'UMS Flotte pour la période 2011-2016.

1.3.1 Nombre de jours d'activités et périodes de désarmement

Le suivi des jours d'activité par catégorie d'usage de la FOF est proposé pour chaque année sur le site de l'UMS FOF. Le Tableau 3 compile les valeurs moyennes de ces jours d'activité, établies entre 2011 et 2016. On constate que les 4 navires d'envergure (flotte hauturière) ont permis 586j de recherche scientifique, 188j de Service Public et 161j de partenariat public-privé. Cette répartition est *a priori* satisfaisante, reste que la pression de « recherche scientifique » a accusé une légère baisse au cours de ces 5 années, baisse essentiellement imputable aux difficultés de

financement des recherches océanographiques s'appuyant sur la TGIR FOF (voir section 2.5). Pour l'ensemble de la flotte hauturière, les périodes de désarmement correspondent en moyenne à 20% du temps potentiel d'utilisation (Tableau 3 et Figure 11). Ce chiffre cache néanmoins une forte hétérogénéité entre navires. Cette proportion est en effet faible (*i.e.* <10%), voire très faible pour le *Pourquoi pas ?*, *l'Atalante* et le *Marion Dufresne* et au contraire importante pour la *Thalassa* (43%) et encore plus pour le *Suroît* (71%). Dans ces deux derniers cas, ceci traduit le fait que la période d'activité retenue intégrait des désarmements longs pour modifications techniques majeures (*e.g.* la rénovation du *Suroît*) ou même une période suivant le désarmement définitif du navire (*e.g.* le *Suroît*). Du fait de ces limitations de disponibilité, on peut considérer que les chiffres cumulés (*e.g.* 586 jours pour la recherche scientifique) constituent des sous-estimations des besoins réels de la communauté. Une mention importante concernant le *Marion Dufresne* est relative au nombre de jours opérables pour l'IPEV (217/an seulement). Les trois navires présentant les taux de désarmement faibles ou très faibles sont ceux pour lesquels les affrètements sont les plus importants. Ceci est particulièrement vrai pour le *Pourquoi Pas ?* pour lequel les 57 jours dédiés en moyenne aux affrètements et campagne scientifiques co-financées occupent une part importante du temps d'activité de ce navire non dévolu à la Marine Nationale.

Navire	Recherche scientifique	Service public (Hors marine)	Marine	Partenariats public-privé. Affrètements	Arrêts Techniques et Missions d'essais techniques	Désarmement
<i>Pourquoi pas ?</i>	131	1	98	57	47	31
<i>L'Atalante</i>	185	24	20	65	59	13
<i>Thalassa</i>	54	153	11	8	34	106
<i>Le Suroît</i>	94	4	2	5	28	172
<i>Beautemps-Beaupré</i>	5					0
<i>Marion Dufresne</i>	117	6		26	82	0
Navires > 36 M	586	188	130	161	250	321
Côtes d'Aquitaine						
Côtes de la Manche	217			6	47	96
<i>Tethys</i>	250			4	50	61
<i>L'Europe</i>	105	81		4	52	124
<i>Thalia</i>	138	50		6	38	133
<i>Gwen Drez</i>	38	30		1	8	166
<i>Haliotis</i>	139	3		6	26	191
<i>Alis</i>	214				37	115
<i>Antea</i>	85			8	36	235
Navires < 36 m	1186	164		36	295	1120

Tableau 3 : Moyennes de nombres de jours (programmés pour les activités à la mer entre 2011 et 2016) correspondant à chacun des grands domaines classiquement reconnus que sont : (1) la recherche scientifique évaluée, (2) les missions de service public, (3) l'utilisation par la Marine Nationale, (4) les affrètements (dans le cadre de partenariats public-privé), (5) les arrêts techniques et missions d'essais, et enfin (6) les périodes de désarmement. **Attention : les nombres de jours opérables du *Marion-Dufresne* sont de 217j/an, contre 365 pour *l'Atalante* ou le *Pourquoi Pas ?* Les jours octroyés à la recherche scientifique par la Marine Nationale sur le *Beautemps-Beaupré* sont de 5/an environ.**

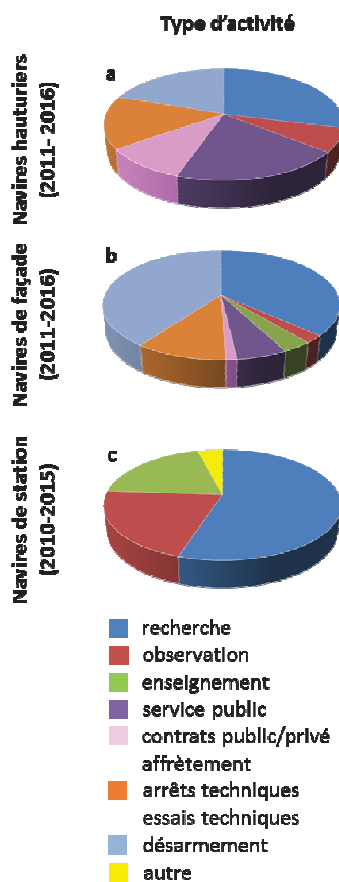


Figure 11 : Répartitions moyennes du nombre de jours entre les grands domaines de nature d'activité de la FOF. Nota : Les catégories « enseignement » et « observation » ont été ajoutées à la segmentation utilisée pour le **Tableau 10**

En ce qui concerne la flotte côtière ou de façade, l'activité annuelle moyenne dédiée à la recherche scientifique est de 1186j, auxquels il faut ajouter 164 j de Service Public et 36j de partenariat public-privé. Le taux moyen de désarmement s'élève à 40%, soit le double de celui pour la flotte hauturière. Là encore, il existe de grandes disparités entre navires en lien avec des problématiques techniques (e.g. *l'Antea*) ou bien de désarmement (e.g. le *Gwen Drez*). Il convient néanmoins de souligner que le taux de désarmement le plus faible (i.e. 17% pour la *Téthys*) reste encore relativement élevé. Ceci traduit très probablement : (1) l'absence de possibilités significatives de compensation par le biais d'affrètements pour cette composante de la FOF, et (2) l'existence d'un ticket modérateur susceptible d'avoir limité les demandes d'utilisation durant une partie significative de la période 2011-2016, ticket modérateur supprimé courant 2016. Comme pour la flotte hauturière, il convient de considérer les chiffres présentés comme des sous-estimations des besoins réels ; ceci d'autant plus que de nouvelles utilisations de type Service Public sont actuellement en émergence (e.g. ceux associés à la mise en place du programme de surveillance de la DCSMM). Compte-tenu de la variabilité annuelle en termes de thématique scientifique et/ou de zone géographique de la programmation, mais également en raison de la difficulté pour les Universités de

financer ce type de campagne, les campagnes à la mer dédiées à l'enseignement sont sous-représentées dans le domaine hauturier. Néanmoins, des Universités Flottantes ont régulièrement été organisées à bord des navires de la flotte lors de campagnes scientifiques (ex. MARCO-POLO).

1.3.2 Répartition entre grands domaines disciplinaires

Cet élément est en pratique assez difficile à évaluer du fait de la difficulté à définir des frontières nettes entre domaines ainsi que de la nature par essence pluridisciplinaire d'un grand nombre de campagnes (Figure 12).

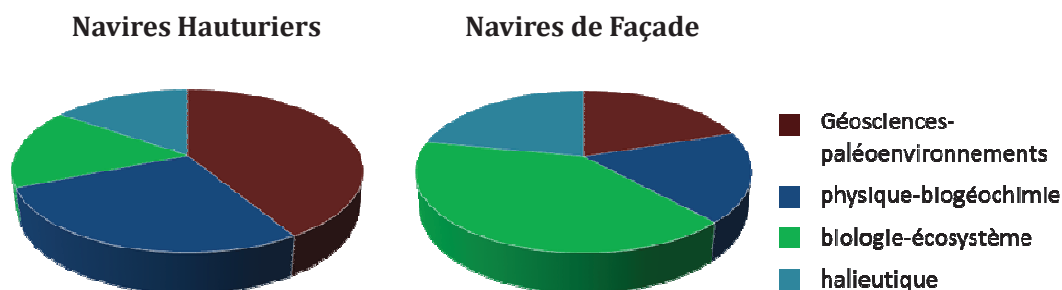


Figure 12 : Répartitions moyennes du nombre de jours de mer programmés entre grands domaines disciplinaires.

Le comité prospectif a par conséquent décidé de se limiter aux quatre grands domaines suivants : (1) géosciences-paléoenvironnements, (2) physique-biogéochimie-cycles, (3) biologie-écosystèmes et (4) halieutique; les activités des flottes hauturières et de façade pour ces mêmes disciplines sont aussi comparées. On observe des différences marquées entre les deux flottes : prédominance des domaines géosciences-paléoenvironnements et physique-biogéochimie pour les navires hauturiers et du domaine biologie-écosystèmes pour les navires de façade. Les causes de cet état de fait sont multiples avec, au premier chef la prégnance de l'intérêt de chacun des grands domaines thématiques pour l'océan du large et l'océan côtier qui peut notamment expliquer la prédominance du domaine biologie-écosystèmes pour l'utilisation des navires de façade, ou encore celle du domaine géosciences-paléoenvironnements pour leurs homologues hauturiers. Le comité analyse aussi que les caractéristiques des navires en elles-mêmes influent sur l'utilisation différentielle de ces deux composantes de la FOF. Ainsi la plus grande utilisation des navires hauturiers par le domaine physique-biogéochimie traduit la nécessité d'utiliser des navires de taille suffisante pour permettre l'embarquement et la mise en œuvre des moyens techniques nécessaires à des équipes pluridisciplinaires.

1.4 Bilan des publications

1.4.1 Préambule

L'établissement d'un bilan consolidé des publications scientifiques issues de l'utilisation de la FOF constitue clairement une gageure. L'utilisation des outils modernes de recherche bibliographique et la conjonction de l'existence de plusieurs bases de données permettent néanmoins de l'envisager sur des bases suffisamment solides pour les publications directement liées au projet scientifique original des campagnes océanographiques. C'est ce travail qui a été réalisé par la Bibliothèque La Pérouse et l'INIST en collaboration avec l'IRD pour les flottes hauturière et côtières. Les dossiers complets sont proposés en Annexe 6. Toutefois, le bilan de la production scientifique liée à la FOF issu de ce travail est clairement non-exhaustif pour plusieurs raisons. Un élément majeur de sous-estimation de la production de la FOF est lié à la quasi-impossibilité de prendre en compte la composante de cette production résultant de l'utilisation des navires de station du fait du caractère « diffus » de leur utilisation (voir ci-dessus). Cependant, un effort de rationalisation est en cours début 2017 et permettra de dresser un bilan consolidé d'ici fin 2017. Un autre élément est relatif au repérage des données dans les bases de données internationales. Si le nom (ou le doi) de la campagne n'est pas explicitement mentionné dans les publications, il est impossible d'associer la publication à la campagne. Dans certains cas, les données sont même utilisées pour fournir un produit plus évolué. Quand ce produit est utilisé, c'est la référence au produit qui est citée et non pas les références aux données dont il est issu. **Pour l'ensemble de ces raisons, il doit donc être souligné que les éléments qui vont suivre sous-estiment clairement le niveau de production scientifique lié à la FOF.**

Les productions scientifiques issues de l'utilisation de la FOF sont de natures diverses et la facilité à comptabiliser efficacement les éléments produits dépend de leur nature. Nous nous sommes par conséquent limités dans ce qui va suivre à la seule comptabilisation des articles de rang A qui sont les éléments les plus faciles à tracer à partir de l'utilisation de mots clefs.

Un dernier point à prendre en compte réside dans le décalage temporel entre l'année de réalisation d'une campagne océanographique et celles des parutions des publications scientifiques afférentes. Dans le cas des navires hauturiers, ce décalage montre un pic entre 5 et 9 ans mais peut occasionnellement atteindre jusqu'à 30 ans (Figure 13). Ce phénomène existe également, mais de manière moins prononcée, pour les navires de façade. Dans tous les cas, ceci nous a amené à : (1) ne pas faire coïncider les périodes de bilan des nombres de jours par navires

et de la production scientifique, et (2) établir ce dernier bilan sur une période longue (*i.e.*, 2000-2014).

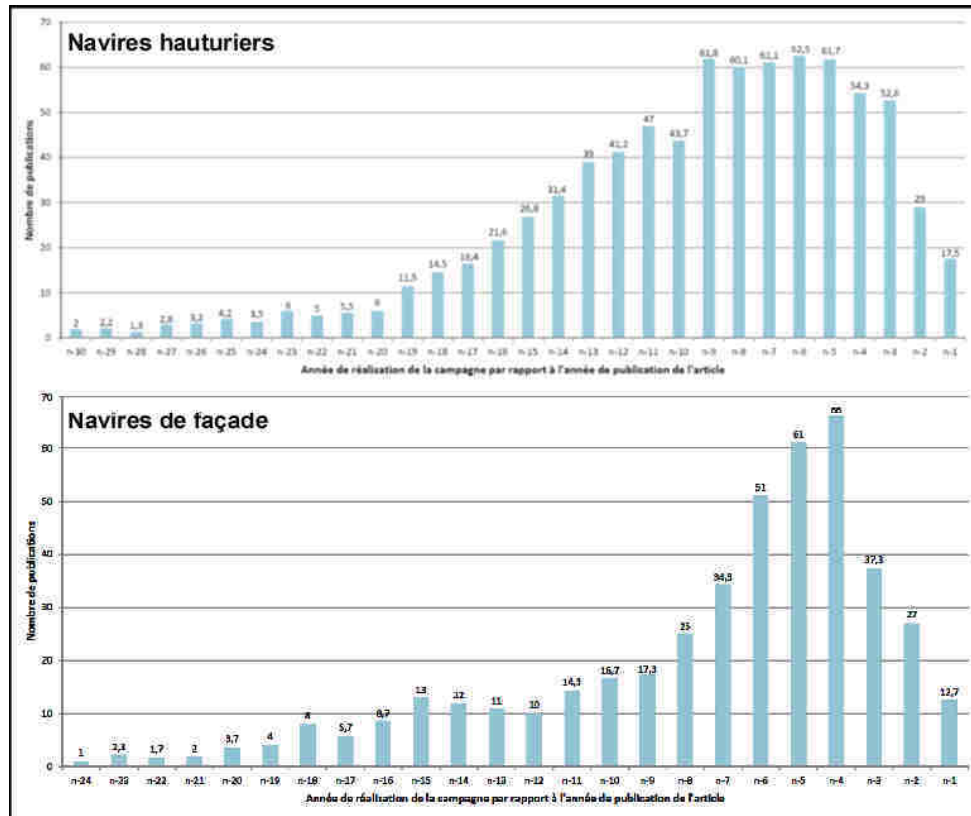


Figure 13 : Relations liant le nombre de publications issues d'une campagne océanographique conduite sur un navire hauturier ou sur un navire de façade et la date de réalisation de cette même campagne

1.4.2 Evolutions quantitatives et qualitatives

Au total, sur une période de 15 ans, ce sont plus de 5000 publications de rang A qui ont été comptabilisées. Un peu plus des trois quarts (*i.e.* 78%) sont issus de l'utilisation des navires hauturiers et un peu moins d'un quart (*i.e.* 22%) de celle des navires côtiers (Figure 14). En moyenne annuelle, ce sont 260 et 74 publications de rang A qui sont issues de l'utilisation des navires hauturiers et de façade respectivement. Ces nombres montrent tous deux une forte tendance à l'augmentation entre l'année 2000 et les années 2010 (facteurs proches de 7). Cette augmentation quantitative s'est accompagnée d'une amélioration qualitative : ceci est illustré par les facteurs moyens des revues publiant les travaux issus de l'utilisation de la FOF, qui ont dans le même temps doublé pour les navires de façades et très significativement augmenté (*i.e.* de 2,92 à 3,77) pour les navires hauturiers (Figure 15). Notre analyse de cette augmentation est qu'elle résulte probablement d'une conjonction de facteurs. D'une part la mise en place du processus d'évaluation de la valorisation des campagnes permettant un recensement des publications qui en sont issues et d'autre part l'évolution des outils permettant un suivi plus automatisé, et donc plus complet, de cette valorisation.

Par ailleurs, l'évolution vers des campagnes plus pluri-disciplinaires. Dans le domaine hauturier notamment, les campagnes sont moins nombreuses mais elles sont plus importantes, longues et rassemblent plus d'équipes, générant ainsi un plus grand nombre de publications.

Dans tous les cas, ces chiffres reflètent l'excellence scientifique de la TGIR FOF.

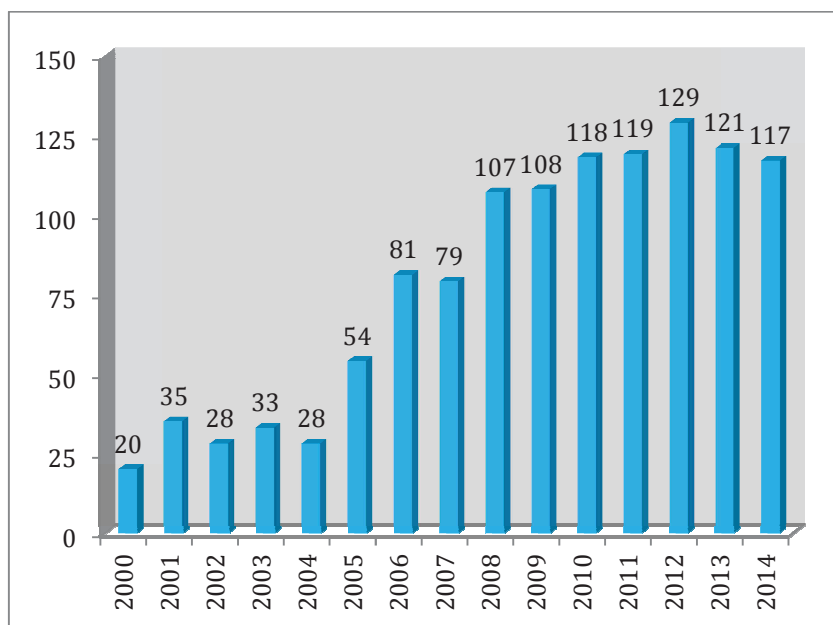
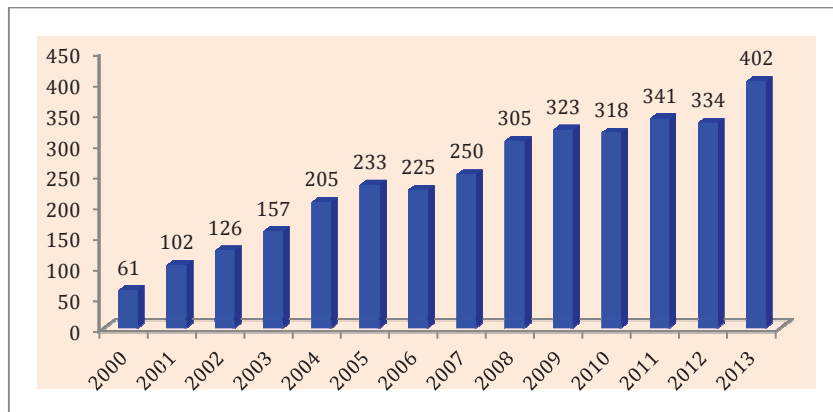


Figure 14: Evolutions temporelles des nombres annuels de publications de rang A issues de l'utilisation des navires hauturiers (haut) et côtiers (bas).

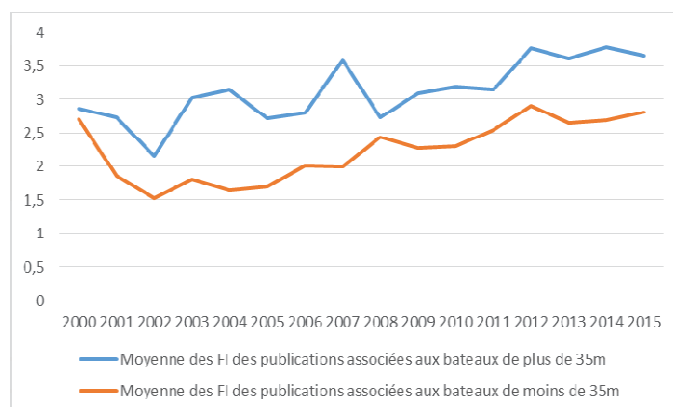


Figure 15 : Evolutions temporelles des facteurs d'impact annuels moyens des revues dans lesquelles les résultats issus de l'utilisation des navires hauturiers et de façades sont publiés

1.4.3 Rôle structurant

Le rôle structurant que joue la FOF aux échelles nationales et internationales est très important, comme en attestent les nombres de publications de rang A co-signées par des membres de laboratoires français différents et/ou par des scientifiques étrangers. Cet effet structurant est naturellement plus marqué pour les navires hauturiers du fait de leur capacité d'embarquement et des éco/géosystèmes auxquels ils donnent accès. Sur la période 2000-2014, les co-signatures de travaux issus de l'utilisation des navires hauturiers ont impliqué plus de 65 laboratoires et 22 organismes de recherche et universités (Figure 16). Pendant cette même période, des scientifiques d'une vingtaine de pays différents ont co-signé plus de 50 publications issues de l'utilisation des navires hauturiers (Figure 17). Les collaborations les plus nombreuses étant enregistrées avec les Etats Unis (829 publications), le Royaume Uni (618 publications) puis l'Allemagne (549 publications). Ces chiffres traduisent bien la contribution de la FOF au positionnement de la France dans le paysage international de la recherche océanographique. La Figure 18 illustre que le nombre de partenariats étrangers hors-UE est équivalent à celui interne à l'UE et que ces proportions sont constantes sur les 15 dernières années.

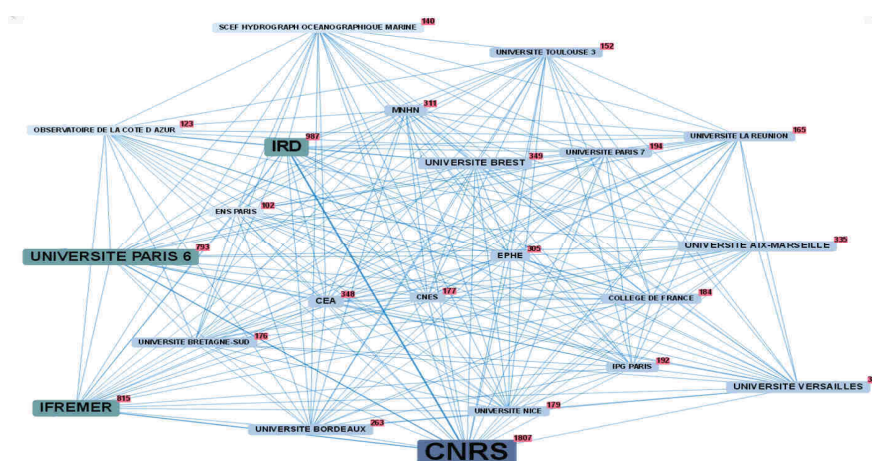


Figure 16 : Cartographie des relations entre organismes de recherche et universités telle qu'établie sur la base du nombre de publications co-signées sur la période 2000-2014 et basées sur l'utilisation des navires hauturiers.

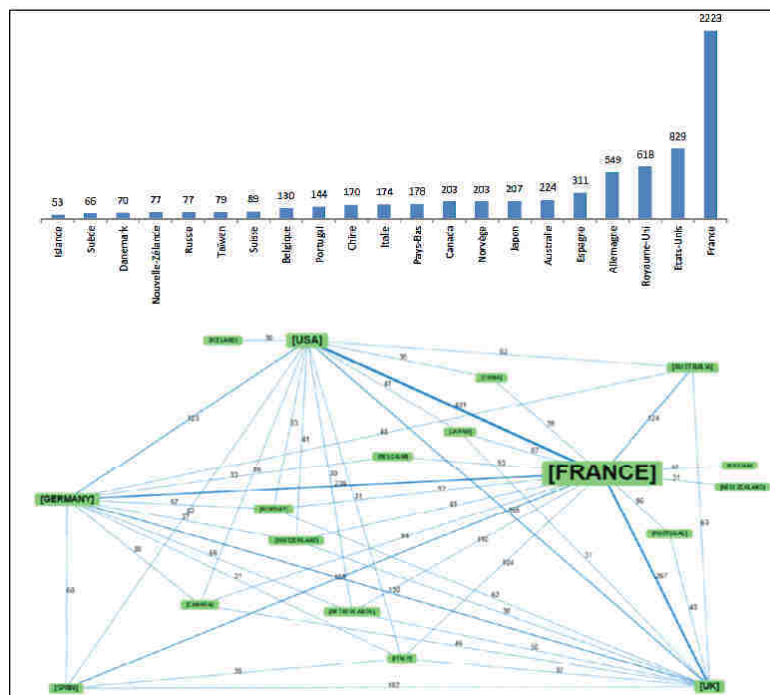


Figure 17 : Nombre de publications sur la période 2000-2014 issues de l'utilisation des navires hauturiers et présentant un scientifique de chaque nation concernée comme cosignataire. La liste des pays en question a été limitée à ceux dont les représentants ont co-signé plus de 50 publications pendant le période de référence. La partie basse de la figure montre une cartographie établie sur la base de ces collaborations.

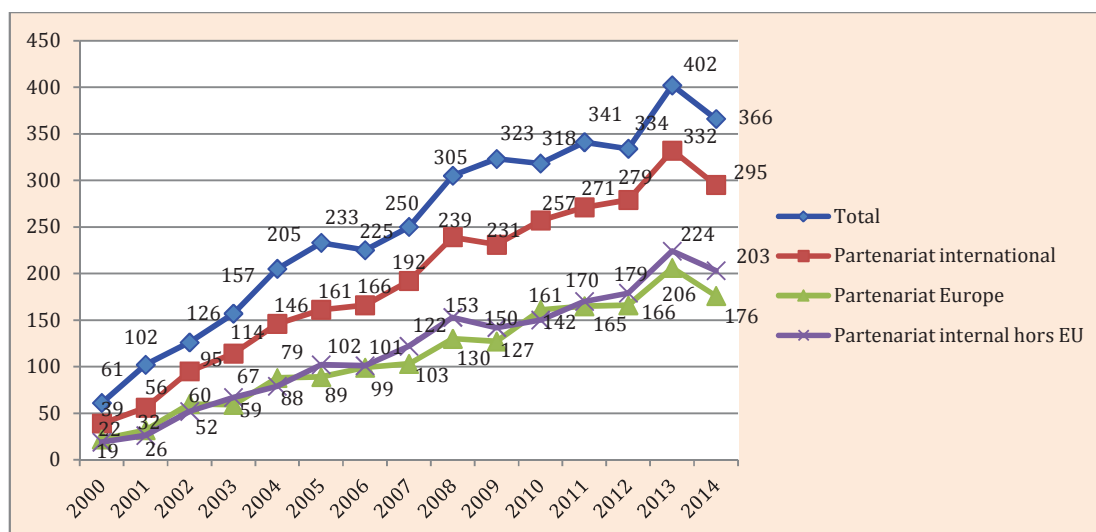


Figure 18 : Flotte hauturière - Evolution annuelle de l'ensemble de la production et de chaque type de partenariat étranger

1.5 Enseignement à bord et Opérations grand public

1.5.1 Formations embarquées

La FOF assure une mission d'enseignement primordiale dans la formation des futurs techniciens, ingénieurs et chercheurs dans les différentes disciplines, via différentes formations universitaires de type DEUST, DUT et Licence au Master et incluant le Doctorat et des écoles d'été (destinés à des étudiants français et internationaux). Des formations existent aussi en Ecoles d'Ingénieur et Conservatoire National des Arts et Métiers. Cette demande concerne non seulement les établissements d'enseignement de Métropole, mais aussi ceux de l'Outre-mer.

Les navires de stations interviennent depuis toujours dans ces formations. Les navires de façade sont plus rarement mis à contribution mais cette situation évolue avec l'abandon du ticket modérateur et l'évolution des approches de formation par la recherche embarquée (*cf.* compte-rendu de la réunion des Universités Marines et du Marine Board en juillet 2016, Annexe 7).

Différentes modalités existent pour les enseignements techniques, analytiques et de recherches marines. L'essentiel de ces formations sont des formations récurrentes et inscrites pour la plupart dans les maquettes de la formation, ce qui est une condition pour leur priorisation lors de la programmation par les évaluateurs.

La première concerne les embarquements à la journée, essentiellement dédiés à des formations de type DUT, DEUST et Licence dans différentes disciplines, pour la plupart sur navires de station, mais en fonction des effectifs et de la nature des techniques utilisés, des navires de façade peuvent être sollicités.

Des formations de Master 1 et 2 et d'Ecoles peuvent comporter des travaux sur plusieurs jours au sein de navires de façade, lors de missions dédiées exclusivement à l'enseignement ou bénéficiant de missions régulières d'observation nationales ou européennes. La formation est alors réalisée en H24 avec des systèmes de quarts. Depuis 2010, les campagnes MOOSE-GE permettent de compléter la formation des étudiants de plusieurs masters par un stage pratique réalisé à bord dans le cadre du cours « Méthodes d'observation » du master WAPE de l'UPSAY et OACOS de l'UPMC. Cela nécessite une programmation de la campagne à une période bien précise.

Dans un autre registre, pour des étudiants de Master et de Doctorat, des Universités Flottantes ou Universités à la Mer (« Universities at Sea ») sont organisées de façon plus sporadique, suivant les opportunités lors de grandes campagnes de recherche à bord de navires hauturiers, en mutualisant plusieurs universités et étudiants, dans un cadre européen et international.

La formation des futurs chercheurs au métier d'océanographe se fait également via l'embarquement quasi systématique d'étudiants de Master ou de Doctorat sur les campagnes en mer réalisées par leur équipe d'accueil.

Jusqu'en 2014 (lorsque des escales pouvaient se faire à Cotonou et Abidjan), les campagnes PIRATA ont permis la formation aux mesures en mer de jeunes chercheurs et d'étudiants ouest africains (Côte d'Ivoire, Bénin, Togo, Nigeria, Sénégal, Ghana), et notamment les étudiants du Master 2 régional « Océanographie physique et applications » de Cotonou en 2009 et 2011.

Enfin, dans l'Outre-Mer, les universités de La Réunion, de Nouvelle-Calédonie ont déjà demandé à accéder aux navires océanographiques de la FOF.

1.5.2 Opérations Grand Public

La plupart des campagnes en mer effectuées avec la FOF tiennent à jour un journal de bord et un blog et assurent la diffusion d'un communiqué de presse avant et après la campagne entraînant la

réalisation d'interviews pour la radio et la télévision et la parution d'articles dans la presse, conférences grand public, expositions (abysses, Tropical Deep Sea Benthos, etc., ...). De nombreuses opérations dédiées sont montées en partenariat avec une école, un collège, voire des détenus comme par exemple dans le cadre d'un projet pédagogique avec leur Unité Locale d'Enseignement (Maison D'arrêt de Seysses, campagne GEOVIDE, Pourquoi pas ?, 2014)

Des reportages et montages de film sont aussi réalisés, impliquant des étudiants en sciences de la communication et journalisme comme des journalistes confirmés. Ainsi, lors de la campagne BIOBAZ en 2013, le réalisateur Jean-Yves Collet a embarqué avec son assistant pour réaliser un documentaire de 52', « Abysses, les alliances des profondeurs », diffusé sur France 5 en août 2014. Outre l'accès aux images du ROV Victor, lors de la campagne, le réalisateur a bénéficié de plusieurs séances où il supervisait directement les opérations du ROV depuis le module de contrôle. Depuis quelques années, bénéficiant des capacités de transmission haut débit des navires, des expériences de direct ont vu le jour, comme la Nuit des Abysses (retransmission en direct d'une plongée ROV vers le grand public, suivie d'une visio-conférence avec le bord). L'exposition permanente Abyssbox à Océanopolis (Brest) présente depuis 2012 la faune des grands fonds issue des campagnes MOMARSAT et BIOBAZ au sud des Açores dans des aquariums sous pression (partenariat Ifremer, UPMC, Océanopolis). Enfin, quelques projets de science participative visent à impliquer le public dans l'analyse de données. C'est le cas de l'opération "Espions des grands fonds" (<http://deepseaspy.ifremer.fr>) qui vient d'être lancée pour le traitement de vidéos obtenues par les observatoires fond de mer.

Au-delà de ces activités spécifiques, les différentes manifestations telles que « Fête de la Science », "Fêtes de la Mer", "Journée Mondiale des Océans" ou la « Nuit des Chercheurs » à Brest mais aussi Toulouse, Boulogne-Wimereux, Marseille et dans toutes les stations et laboratoires marins font souvent la part belle aux expéditions océanographiques.

1.6 Points forts et difficultés

1.6.1 Points relatifs à l'ensemble de la communauté FOF

Points forts

On peut d'abord citer le fort impact de la communauté française au sein des grands programmes internationaux non seulement par son statut de leader mais aussi par les nombreuses avancées scientifiques produites et valorisées par des publications à taux d'impact élevé (Science, Nature, Nature Géosciences, PNAS, etc.,...voir rapport bibliographique complet en Annexe 6). Ces résultats relèvent des thématiques de recherche figurant parmi les thèmes phares de différents programmes internationaux et les questions clefs aujourd'hui identifiées dans les contextes nationaux et internationaux. Quelques points saillants :

- le nombre total de chercheurs et personnels techniques, incluant les doctorants et qui est directement (par le biais des embarquements) ou indirectement (analyses à terre, modélisation) impliqués dans les activités de la FOF est de l'ordre de 3600, ce qui en fait une communauté très significative ;
- la communauté française est mondialement reconnue comme partenaire majeur dans certaines thématiques (méso et micro échelle dynamique, dynamique de l'Atlantique et du Pacifique tropicaux, cycle du carbone et pénétration du carbone anthropique, cycle des éléments traces et de leurs isotopes, hydrothermalisme et écosystèmes chimiosynthétiques profonds ...) ;
- sa production scientifique se trouve dans des revues à fort impact ; un effort notable de communication vers le grand public est fait à travers les campagnes ;
- les collections (organismes, carottes, roches) qui sont effectuées lors des campagnes sont parmi les plus riches du monde ;

- la formation des étudiants et jeunes chercheurs est de qualité grâce à l'accès pour l'enseignement aux différents moyens de la flotte (navires de station à navires hauturiers) ;
- que ce soit pour les compétences des équipes, leur expertise et leur haute technicité, la R&D est de très grande qualité et permet des développements technologiques uniques au monde (carottage, AUV, etc...) ;
- les accès aux navires, engins et équipements lourds sont ouverts à tous les scientifiques sous réserve de l'évaluation favorable d'un dossier scientifique de qualité ;
- le système d'évaluation par les pairs est d'une grande exigence, garant de qualité. Le suivi a posteriori de la valorisation donne une grande visibilité aux activités de la FOF.

Difficultés

Demander et voir se concrétiser une campagne en mer scientifique rencontre aujourd'hui les difficultés majeures suivantes:

- la flotte hauturière a vu la sortie de Flotte du N/O polyvalent le *Suroit*, et donc une perte de flexibilité dans la programmation annuelle ;
- la question de la flexibilité d'intervention en mer, particulièrement en domaine côtier demeure un enjeu tant en termes de fonctionnement qu'en terme de programmation. Sur ce dernier point, il est impératif de préserver une programmation annuelle à N+1 des navires côtiers et un planning à N+2 pour les navires hauturiers. Les utilisateurs souhaiteraient aussi pouvoir bénéficier de l'opportunité d'obtenir du temps navire "au fil de l'eau" pour réaliser une campagne d'acquisition en mer juste après un phénomène météo-climatique exceptionnel et/ou d'envergure (crue, tempête, pollution accidentelle, ...); cela afin de répondre aux questions scientifiques associées aux études des dynamiques sédimentaire et des écosystèmes des environnements côtiers ;
- la longue recherche du soutien financier avant, pendant, et après la campagne, ainsi que le déphasage des évaluations de campagne et de leur financement. Le nombre de guichets s'est multiplié, les calendriers des appels d'offres des instances de financement ne sont pas en phase avec ceux de la flotte et ne prennent pas en compte certaines spécificités de la discipline, notamment le calendrier de la programmation des campagnes, qui ne dépend pas de la volonté du chercheur. L'ANR par exemple, source de financement principale de la recherche française, ne prend pas en compte les projets de campagne approuvés par les Commissions Nationales de la Flotte et ne suit que sa propre procédure d'évaluation, ce qui empêche très souvent de disposer d'un soutien financier en accord avec l'investissement que ces campagnes représentent (temps bateau, temps de personnel, engins et instruments);
- l'aspect organisationnel de la campagne incluant la préparation de la campagne, les autorisations de travaux et les relations avec les observateurs des pays étrangers (souligné car s'aggrave avec le temps), la logistique de transport des conteneurs, l'accès et la disponibilité des équipements détenus par les organismes et/ou les labo (DT INSU ou Ifremer), les contraintes liées aux parcs marins, à la sismique, aux zones dangereuses, les problèmes d'interopérabilité des navires, les problèmes de faisabilité (problème de treuil, d'ascenseur, etc.) ; la communauté souligne le risque croissant lié à la complexification des réglementations nationales et internationales en matière notamment de demande d'autorisation de travaux (zones géopolitiques difficiles type Méditerranée, autorisations accordées à la dernière minute..), de transport de matériels (blocage des conteneurs

avant d'arriver à bord) et de produits dangereux, problèmes sur l'accès aux échantillons biologiques (APA), etc.,...

- la mise en œuvre des aspects techniques avant et pendant la campagne avec la nécessité de coordonner les activités des différents IT répartis dans les laboratoires ou au sein des DT et les conditions de travail à bord variables d'un navire à l'autre, qui souligne le besoin d'un meilleur suivi entre la préparation à terre et le travail en mer ;
- Des difficultés croissantes sont relevées pour mener des opérations lourdes telles que le déploiement des instruments embarqués par les équipes scientifiques. Il est essentiel de maintenir et généraliser le soutien technique aux utilisateurs pour la manipulation des équipements lourds et mi-lourds. Une évolution souhaitable serait d'élargir le soutien technique (validation des données des divers équipements mis en œuvre) par du personnel IT affecté aux instruments les plus lourds.
- Bien que ce ne soit pas du ressort de la FOF, le comité alerte sur le manque de personnel IT dans les laboratoires pour le développement, la maintenance et la mise en œuvre des équipements embarqués et de l'instrumentation marine, ainsi que pour les petits équipements en écologie benthique. Plusieurs laboratoires considèrent aussi que le manque de personnel IT compromet leur activité à court terme.

Par ailleurs, des alertes sur des fonctionnements et les recommandations qui en découlent sont proposées :

- l'optimisation de la chaîne complète de données, allant de l'acquisition des données à bord jusqu'à leur exploitation dans les laboratoires à terre, faciliterait considérablement le travail des équipes scientifiques (établir une architecture de données fournies à la fin de campagne indépendante des logiciels à bord, et accompagner ça avec une gestion complète des logiciels pour l'acquisition et la validation des données). **La grande panoplie de logiciels disponible entre ceux créés par les équipes de l'IPEV et ceux développés par IFREMER pourrait devenir une force, si les choix se faisaient en concertation avec les utilisateurs ;**
- à l'heure actuelle, les actions de communication associées aux campagnes océanographiques sont réalisées de manière ponctuelle et isolée, à l'initiative du chef de mission ou des équipes scientifiques, en lien avec leurs propres tutelles. Il n'y a aucune action de communication coordonnée et organisée à l'échelle de la FOF. La mise en place d'un vrai service de communication dédié à la FOF permettrait d'accroître la visibilité et la valorisation des résultats de la FOF.

Les points forts/points faibles plus spécifiques à chaque thématique sont détaillés ci-dessous.

1.6.2 Plus spécifiquement en Géosciences Marines

Points forts

- Le programme « Action marges » dont les résultats majeurs sont mentionnés en 1.2.1 est pris en exemple dans la communauté internationale (NSF par exemple), et contribue significativement à l'implémentation du plan de forage IODP- GOLD/DREAM dans le bassin méditerranéen de l'ouest ;
- l'insertion dans les réseaux européens est bonne (exemple de la campagne ACCLIMATE financée partiellement par une ERC) ;
- la participation aux réseaux d'observation s'est structurée ces dernières années, principalement en ce qui concerne l'archivage et la mise à disposition des données ;
- la période écoulée a vu des évolutions positives (jouences, nouveaux équipements. L'accès à ces moyens, via les commissions d'évaluation nationales de l'UMS FOF, est également devenu plus lisible. Une évolution du ROV Victor, de l'HOV Nautille, et de

- l'entrée de nouveaux engins, tel que l'H-ROV Ariane (pour des travaux côtiers/marges) et l'AUV Coral 6000 permettront le développement d'un vecteur « intervention 6000 » avec un couple AUV Coral - ROV Victor/HOV Nautille ;
- en matière de carottage grande longueur, des développements significatifs ont été faits ces dernières années (*e.g.* accéléromètre pour enregistrer le comportement du carottier, logiciel CINEMA, instrumentation du carottier...) issus en particulier d'une collaboration étroite entre l'IFREMER et l'IPEV. Ces développements ont permis d'améliorer significativement la qualité des carottes de très grande longueur (CALYPSO) obtenues à l'aide d'un système de carottier « à piston ». La France reste donc plus que jamais une nation en pointe pour l'échantillonnage de longues séries marines.

Difficultés

- Une remise à niveau des deux engins principaux d'intervention à l'océan profond, ROV VICTOR et HOV Nautille, est nécessaire (HOV Nautille est opéré jusqu'à 6000 m et ROV VICTOR peut travailler à 4500-6000 m) ;
- la flotte côtière est vieillissante, notamment le N/O *Thalia* qui aura bientôt 40 ans. En outre, les années précédentes ont vu la sortie de flotte de plusieurs navires (*Gwen Drez* en 2014, le *Côte d'Aquitaine* précédemment, jamais remplacé). Cette flotte est dimensionnée pour les études à la côte mais trouve rapidement ses limites plus au large sur le plateau, en termes de rayon d'action, de déploiement d'outils et de personnel scientifique, notamment pour la façade Manche-Atlantique. La réalisation de campagnes effectuées par la *Thalia*, jusqu'à la bordure du plateau continental, est déjà problématique.
- hormis le N/O *Thalia*, les navires de façade ne sont pas équipés d'équipements scientifiques acoustiques (sondeurs multifaisceaux, ADCP de coque), comme c'est le cas pour tous les navires hauturiers, limitant de ce fait les programmes de recherche sur le plateau continental (*i.e.* la reconnaissance géologique, l'interface terre-mer, les couches sédimentaires superficielles) ;
- il est actuellement très difficile (voire impossible) de prélever et récupérer des carottes d'au moins 5 mètres de long dans les corps sédimentaires sableux grossiers de plateforme côtière. Une réflexion doit être menée afin de définir le système le plus fiable et adéquat tout en étant déployé depuis un navire de la taille d'un *Thalia* ou *Côte de la Manche* ;
- il faut veiller à permettre l'interopérabilité des systèmes de sismique et de carottage sur les navires hauturiers, notamment en garantissant la présence à bord des systèmes d'accompagnement classiques de ces outils (informatique, bancs de découpe, bancs de mesures, etc.,...)

1.6.3 Plus spécifiquement en Physique-Biologie-Cycles

Points Forts

- Forte structuration de la communauté nationale et internationale permettant la soumission de projets multidisciplinaires multi-laboratoires aboutis et d'envergure. La visibilité internationale donnée à ces campagnes par les publications est majeure (notamment plusieurs numéros spéciaux de revues scientifiques associés à des campagnes récentes comme KEOPS, VAHINE, DEWEX, OUTPACE, GEOVIDE). Reconnaissance et visibilité de la communauté grâce à l'implication des français dans les Comités Scientifiques et la gestion de grands programmes internationaux (ex. GEOTRACES, SOLAS) ;

- nombreux services nationaux d'observations, structurés au sein d'infrastructures de Recherche (IR ILICO, IR EMSO, ARGO), qui alimentent de manière pérenne la communauté avec des données qualifiées.

Difficultés

- Le phasage entre la programmation et la période demandée par les porteurs est parfois difficile, du fait de fortes contraintes par le contexte biogéochimique de la zone à étudier, en général à forte variabilité saisonnière ;
- du fait que, par essence, les campagnes soient pluridisciplinaires, les participants sont souvent impliqués en parallèle dans le montage d'au moins 2 projets : au vu de la complexité du montage financier en lien avec la programmation des navires, cela peut soulever des problèmes de forces vives de la communauté qui peut difficilement s'impliquer dans 2 campagnes d'envergure (plus de 45 j de mer) la même année ;
- la répartition du temps navire entre services d'observations labellisés et projets de recherche spécifiques risque d'évoluer en défaveur de ces derniers, en raison en particulier du manque de postes de physiciens des observatoires et de la montée en pression des besoins d'observations.

1.6.4 Plus spécifiquement en Biologie-Ecologie-Biodiversité

Points Forts

- Forte montée en puissance des études sur la biodiversité marine avec le rôle initiateur du Census of Marine Life dans lequel la communauté française a été très active, dans tous les compartiments : faune et flore, macro- et microbiologie ;
- une flotte hauturière bien adaptée aux projets multidisciplinaires écologie-biogéochimie dans le domaine pélagique, biologie-géologie dans le domaine profond ;
- une flotte côtière de façade et de station support d'études à différentes échelles et permettant de tester des nouveaux systèmes d'acquisition de données biologiques ;
- un réseau de stations et laboratoires marins bien structuré (Resomar) regroupant des communautés de scientifiques spécialisés, entre autres, dans l'étude des écosystèmes pélagiques et benthiques, et des services d'observation sur lesquels des projets d'écologie fonctionnelle ou de biologie évolutive peuvent s'appuyer ;
- un accès facilité aux « hot-spot » de biodiversité en outre-mer, qui représentent un potentiel très important de biodiversité encore très sous explorée, sauf peut-être dans le Pacifique grâce à la présence d'un N/O basé sur place depuis plus de 40 ans (*Coriolis*, puis *Vauban* et maintenant *Alis*).

Difficultés

- Manque de structuration nationale de la communauté BEB dans le domaine marin, celle-ci étant naturellement organisée sur les processus biologiques quel que soit le milieu étudié, continental ou marin. Voir par exemple les GDR Invasions biologique, Ecologie chimique, Génomique environnementale, Ecologie trophique. Partiellement compensé au niveau européen (*e.g.* EuroMarine, EMBRC) ;
- l'accès aux zones éloignées (Pacifique, Indien, zones polaires) reste difficile en termes de programmation compte tenu des contraintes récurrentes sur la flotte qui limitent la flexibilité de la programmation hauturière (Observation, SHOM) ;

- une flotte côtière qui limite les possibilités de campagnes multidisciplinaires : les aspects biologiques doivent être couplés aux analyses des biogéochimistes dans la colonne d'eau, ou à celles des géologues dans le domaine benthique.

1.6.5 Plus spécifiquement en Halieutique

Points Forts

- Quatre navires de la FOF parfaitement adaptés au recueil des données halieutiques (*Thalassa* en hauturier, *Europe* en côtier, *Antea* en mixte, plus *la Thalia* en côtier pour les campagnes "Coquilles Saint-Jacques" et chalutage à perche en zone estuarienne) ;
- navires permettant de conduire des séries de campagnes sur de longues périodes avec des protocoles stabilisés depuis de nombreuses années : protocoles d'échantillonnage validés au niveau international, campagnes standardisées et reproductibles, financées à 80% à partir de 2017 par la Commission Européenne dans le cadre de la DCMAP (Collecte des données en aides à la politique commune des pêches). Cela permet la production d'indices d'abondance fiables directement utilisables dans les groupes de travail internationaux pour l'évaluation des stocks, un apport direct pour la société civile (contribution à la politique commune des pêches par la définition des TAC et quotas annuels, directement applicables aux pêcheries commerciales) et enfin la production de données pour la recherche scientifique.

Difficultés

- Depuis la sortie de flotte du N/O *Gwen Drez* fin 2014, la FOF ne comporte plus de navire côtier à faible tirant d'eau adapté à l'échantillonnage aux filets à grande ouverture requis pour le prélèvement des grandes espèces mobiles (chalutage à panneau) alors que certaines campagnes et travaux de recherche nécessitent d'échantillonner ce compartiment des écosystèmes en zone côtière à faibles fonds (< 20 m) ;
- la perspective de sortie de flotte du N/O *Thalia* programmée dans les années à venir (d'ici à 2020 *a priori*), s'il n'était pas remplacé, créerait un manque d'un navire côtier permettant d'opérer des dragues pour échantillonner les grands invertébrés benthiques (ex. coquille Saint-Jacques) et des chaluts à perche pour les poissons plats (ex. sole) ;
- dans le cadre de la politique commune de la pêche (PCP), la commission européenne (CE) a entamé une réflexion sur l'opportunité de confier la réalisation des campagnes récurrentes de la DC-MAP aux Etats Membres sur la base d'un appel d'offre plutôt que sur celle d'un mandat donné à chaque Etat Membre en fonction de sa contribution au quota des espèces cibles de ces campagnes (seuil fixé à 3%). Les coûts des jours de mer du principal navire utilisé pour les campagnes halieutiques françaises, à savoir le N/O *Thalassa*, sont supérieurs à ceux des navires de nombreux autres Etats Membres, ce qui positionnerait la FOF en situation de faible compétitivité par rapport aux autres Etats Membres si un tel appel d'offre devait voir le jour ;
- Dans le contexte de l'application de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM), l'extension des campagnes halieutiques à l'écosystémique *a priori* inévitable, risque d'impacter une organisation du travail aujourd'hui réglée sur les seules contraintes de la pêche.

1.6.6 Points spécifiques à l'Outre-Mer

Points Forts

- L'outre-mer porte durablement les intérêts et obligations de la France dans des régions et dans des contextes aux fonctionnements et caractéristiques très différents de la métropole. Les enjeux de connaissance y sont cependant importants car ils concernent des thématiques aussi variées que la biodiversité ou le climat (voir section 2.1.6) et nécessitent de collaborer avec les communautés scientifiques des autres pays de la région. La présence de scientifiques français est déterminante pour y répondre ;
- dans le Pacifique, les archipels français de Nouvelle-Calédonie, de Polynésie ainsi que de Wallis et Futuna sont parmi les plus importants en surface et développement économique d'Océanie. La valeur patrimoniale des écosystèmes récifaux qu'ils abritent est à l'origine d'importantes aires marines protégées. Grâce à la présence de l'*Alis* à Nouméa, et au soutien d'un service plongée dédiée à l'étude des milieux récifaux, il a été possible de développer et de soutenir des partenariats avec les pays voisins au travers de programmes SUD-SUD et NORD-SUD depuis la Polynésie Française à l'Est jusqu'en Papouasie Nouvelle-Guinée, voire au Vietnam à l'Ouest. (cf toutes les campagnes Fidji; Salomon; Vanuatu; Papouasie Nouvelle Guinée) ;
- plus généralement ; la présence de deux Navires Océanographiques polyvalents de taille intermédiaire en zone tropicale, l'*Alis* dans le Pacifique et l'*Antea* dans l'Océan Indien (La Réunion, Mayotte, îles Eparses) et l'Atlantique (Guyane et Caraïbes), permet de couvrir toutes les recherches menées en Outre-mer tropical. En outre, ces deux N/O ont la particularité de pouvoir effectuer des campagnes à la fois en hauturier (océanographie, halieutique et géophysique) et en côtier (océanographie et géophysique des lagons). C'est pourquoi ce sont les seuls N/O de la FOF dont les campagnes peuvent être évaluées soit par la commission côtière soit par la commission hauturière de la FOF (CNFC et CNFH).

Difficultés

- La présence de la communauté océanographique française, sous forme de plateformes ou d'équipes permanentes, reste cependant très faible au regard de la surface de ZEE, du linéaire en outre-mer (97% de ZEE et 68% de linéaire) et des enjeux scientifiques qui y sont associés ;
- dans les Caraïbes, ou encore dans la partie tropicale de l'Océan Indien, l'important potentiel écologique et économique que représente l'outre-mer est actuellement sous exploité/valorisé faute de la présence d'un navire présent en permanence. Le passage occasionnel de bateau de la FOF (*Antea* ou autre) permet de combler ce manque au coup par coup. Malheureusement il n'existe pas d'équivalent de l'IPEV, créé pour l'étude des régions polaires, en soutien à l'étude des régions tropicales d'outre-mer (dans le domaine administré par les TAAF, les îles éparses sont bien moins connues que les îles subantarctiques) ;
- le vieillissement de l'*Alis*, sa taille réduite (28,40m) et surtout sa faible capacité d'accueil de scientifiques (6 personnes) limitent considérablement ses possibilités d'intervention. L'*Alis* aura 30 ans en 2017, son statut vieillissant induit une maintenance de plus en plus coûteuse et en limite de sécurité, son remplacement doit être envisagé d'ici le début des années 2020.

1.6.7 Points spécifiques à l'enseignement embarqué

Points forts

- Bonne insertion dans les réseaux européens et internationaux (affiliation du Réseau des Universités Marines au Marine Board et aussi conventions avec le CONISMA-Réseau des universités marines italiennes, accords avec le Brésil et le Québec, au-delà d'accords entre universités ou formations de Master internationaux) ;
- le format actuel d'évaluation des demandes et de suivi permet un accès égalitaire aux navires de la FOF.

Difficultés

- Nécessité de pérenniser les créneaux d'enseignements embarqués de différents types, et que la nouvelle organisation de la FOF assure le renouvellement de la mission d'enseignement sur les navires de station et côtiers, ainsi que l'ouverture vers des universités flottantes ou d'universités à la mer à bord des navires côtiers et hauturiers. Pour cela, la souplesse de programmation doit être conservée notamment pour les navires de la flotte de station et de façade, et la possibilité de travail en H24 développée pour ces derniers ainsi que l'adéquation des équipements à bord pour les différentes approches et mesures concernant les divers champs de recherche marines ;
- il est important de conserver des options de programmation d'enseignement en dehors des appels à campagnes (et parfois même "au fil de l'eau" si la programmation annuelle le permettait), étant donné la difficulté actuelle à bénéficier de places disponibles pour des étudiants de différentes formations au sein de missions existantes (observation, recherche, service public). Des compléments de financement pour permettre aux étudiants d'embarquer sur les navires de la flotte font parfois défaut et devront être recherchés au sein des différentes instances ;
- il faut veiller à ce que les modules embarqués soient bien affichés dans les maquettes des formations.

1.7 Commentaires conclusifs sur le bilan

Ce bilan souligne combien la flotte et les moyens à la mer sont des atouts majeurs de la recherche océanographique française et de la formation aux sciences de la mer. La communauté française dispose de moyens performants et d'équipements de haute technologie financés par le biais de la TGIR FOF, moyens pouvant être améliorés, complétés ou devant être remplacés lors de leur retrait, le tout en interaction étroite avec les utilisateurs. La communauté nationale décrite ici est dynamique, productive, leader dans de nombreux projets et fortement présente sur la scène internationale. Il ressort aussi de ce bilan un esprit collaboratif, qui conduit à des réflexions sereines et raisonnées de l'utilisation de la FOF ainsi que des besoins futurs, déclinés dans la prospective. Les actions prioritaires à courte échéance qui auraient des effets positifs importants, dynamiseraient encore plus la productivité scientifique et le rayonnement de la communauté nationale en océanographie sont :

- Consolider le financement pour la réalisation des recherches océanographiques reposant sur des campagnes en mer et l'activité scientifique qui en découlent. Ce financement recouvre la préparation de la campagne (logistique et scientifique), le transport AR des personnels et matériel de l'équipe scientifique incluant les échantillons, le coût de fonctionnement et/ou l'achat de matériel dédiés à la campagne, le coût des consommables, des indemnités pour les observateurs, les travaux analytiques et traitement des données et échantillons pendant et après la campagne, et les salaires des non-permanents (thèses, post-doc, contractuels) ; ce financement est essentiel pour permettre aux équipes d'assurer des recherches de haut niveau dans des délais compétitifs. **La demande de guichet unique pour la TGIR est cruciale.**

- Mise en place d'une aide concrète, organisée et efficace à la logistique et à l'organisation des campagnes ;
- Mise en place d'un relais de communication institutionnelle permettant de donner une visibilité médiatique à la FOF.

2. Partie II: Les enjeux et les priorités pour les années à venir

D'abord thématiques, les enjeux et priorités sont aussi déclinés à l'interface entre les domaines de recherche, en cohérence avec la montée en puissance du besoin de recherches pluridisciplinaires.

2.1 Les thématiques de recherche et défis

2.1.1 Géosciences Marines

Les défis scientifiques à relever dans les prochaines années relèvent à la fois des préoccupations de la société pour l'océan, les littoraux et les aléas associés mais aussi de l'avancée de nos connaissances sur le fonctionnement du système Terre du présent à l'échelle des temps géologiques.

Parmi les préoccupations sociétales, les défis principaux sont de:

- Favoriser les études littorales et couplées terre-mer, notamment en matière d'aléas tsunami/sismique/gravitaire et d'échanges souterrains continent/océan ;
- comprendre les dynamiques des contaminants (métalliques, métal-organiques et organiques) en lien avec les forçages hydro-sédimentaires et exploiter des archives historiques sédimentaires pour la caractérisation des transformations et de la persistance des contaminants dans les réservoirs géologiques en fonction des conditions environnementales ;
- caractériser la réponse morphologique du trait de côte et suivre l'évolution de la construction sédimentaire des plateaux et des zones côtières en réponse à l'élévation du niveau marin, aux forçages météo-climatiques, aux perturbations anthropiques (migration, construction/érosion, etc.) qui modifient les flux de matériaux disponibles ;
- déterminer les seuils de perturbation tolérable du substrat (habitat physique) pour le maintien ou la restauration de l'habitat biologique (en lien avec les impacts anthropiques) ;
- décrypter à haute résolution les archives marines (sédimentaires et biologiques fossiles) pour mieux contraindre les changements climatiques et les impacts anthropiques et mieux dater les événements catastrophiques, atmosphériques ou telluriques; améliorer la compréhension et la quantification des proxies qui permettent de reconstruire les changements océaniques passés;
- mieux évaluer les grands séismes océaniques présents et passés, depuis les mécanismes à la source et leurs récurrences jusqu'à la caractérisation des ruptures liées au plancher océanique;
- étudier le cycle du méthane océanique, de la genèse au stockage dans la colonne sédimentaire, et de là son influence sur la colonne d'eau et sa contribution potentielle vers l'atmosphère comme gaz à effet de serre.

Parmi les recherches du système Terre au présent et à l'échelle des temps géologique, les objectifs suivants ont été plus particulièrement identifiés :

- Contraindre la circulation de fluides sous le plancher océanique et les sédiments marins (circulation hydrothermale, cold seeps, gaz,...) dans l'espace et dans le temps en relation avec l'activité magmatique, tectonique, sédimentaire et son impact sur la diversité des écosystèmes profonds et le bilan des éléments chimiques dans l'océan;
- comprendre les relations magmatisme/tectonique aux dorsales lentes et ultra-lentes, ainsi que les édifices volcaniques (*e.g.* arcs, monts sous-marins...) où un grand nombre de processus et de structures restent encore méconnues (déformation liée aux failles transformantes, exhumation tectonique le long des détachements et en zones d'extension amagmatique, systèmes hydrothermaux très variables), avec leur impact sur la structure, la composition et le régime thermique de la lithosphère océanique qui reste à déterminer ;
- comprendre les relations tectonique/magmatisme/sédimentation sur les marges continentales passives, élément géologique non négligeable à l'échelle du globe et finalement encore assez peu connu. Dans le domaine profond des marges, en contexte divergent et/ou transformant, l'exhumation de croûte inférieure le long de zone de détachements crustaux ou d'exhumation de manteau sous-continentale et ses relations avec la mise en place de systèmes hydrothermaux dans les domaines transitionnels sont encore très peu étudiés. Quels sont les impacts du passage entre une lithosphère continentale vers une lithosphère océanique sur la structure, la composition et le régime thermique de la lithosphère ?
- comprendre la relation interconnectée « mud to mantle - source to sink », c'est-à-dire la relation entre les processus profonds et les processus de surface, ou encore déterminer le poids de l'héritage structural du socle sur la sédimentation (architecture et nature des dépôts), jusqu'à quantifier le bilan sédimentaire complet prenant en compte : (1) le rôle de l'altération chimique (*e.g.* dissolution des silicates) *versus* celui de l'évolution des reliefs, (2) l'impact des variations climatiques, (3) la détermination des sources continentales, (4) la quantification des piégeages continentaux et (5) le dépôt dans un système plus ou moins fermé ;
- progresser sur le traçage de la source des sédiments marins, par le développement de proxies géochimiques sur la phase minéralogique et/ou l'archive fossiles;
- fournir, en vue de modélisations numériques, les datations et les contraintes d'environnements de dépôts et intégrer les données géochimiques de l'archive sédimentaire et fossiles qui permettent l'évaluation de l'érosion des bassins-versants et de l'origine des sédiments, à l'échelle des temps géologiques ;
- étudier les processus non-linéaires dans les systèmes couplés océan-atmosphère-biosphère-Terre interne ;
- poursuivre les efforts de recherche pluri-disciplinaires couplant la géodynamique, la géologie, la biologie, et la chimie sur la caractérisation des monts sous-marins dans les océans qui restent encore peu étudiés ;
- les autres grands thèmes abordés en GM restent d'actualité, comme la chimie et la dynamique du manteau, la construction volcanique -échelle temps et espace-, la structure de la lithosphère océanique, et son évolution depuis sa formation aux marges continentales divergentes jusqu'à la subduction.

Il est important de souligner que ces nombreux défis nécessitent de développer de l'instrumentation de fond de mer - physique et chimique - afin d'obtenir des séries longues de données à haute résolution et d'aborder la dynamique des processus à l'échelle locale. Ceci implique non seulement d'augmenter le nombre d'instruments pour élargir le nombre

d'observations mais aussi de renforcer la R&D pour mieux automatiser le traitement des données et faciliter l'extraction d'informations utiles.

2.1.2 Physique et dynamique océaniques, Cycles du carbone et éléments, écosystèmes

Les grands enjeux de cette thématique restent d'observer, comprendre et modéliser les processus océaniques, leurs variabilités, leurs réponses au changement climatique et à la pression anthropique et leurs interactions avec les autres compartiments du système « Terre ». Le domaine côtier, en prise directe avec les questions environnementales (zones très peuplées à potentiel d'impact fort, par exemple par apports de polluants) et sociétales (services écosystémiques, ressources) est aussi un enjeu majeur pour la communauté scientifique. Il est urgent de comprendre les influences combinées des dynamiques marines et atmosphériques, physico-chimiques et écologiques et des apports des bassins versants côtiers, sur la variabilité naturelle des milieux littoraux (réseau trophique, efflorescences algales) qui sont interconnectés entre eux, avec le large et avec les milieux terrestres

Des enjeux plus spécifiques ont été identifiés pour les années à venir.

Processus Physiques

Les processus physiques qui contrôlent la dynamique océanique à grande échelle et sa variabilité butent aujourd'hui sur les questions fondamentales suivantes :

- Quels sont les mécanismes (vus comme des enchaînements et interactions de processus d'échelles multiples) physiques, géochimiques et écosystémiques par lesquels l'océan va privilégier les structures spatiales et temporelles de ses variations basses fréquences, qu'elles soient forcées par l'atmosphère ou intrinsèques? Un des enjeux concerne l'intégration des processus de petite échelle spatio-temporelle pour les grandes échelles de temps de la variabilité climatique, en particulier dans celles pertinentes pour la circulation thermohaline et pour la pompe physique (et biologique) du carbone ainsi que pour les échelles très longues pertinentes pour la paléo-océanographie ;
- comment l'océan redistribue-t-il ou dilue-t-il le changement climatique (i.e. les changements de contenu thermique et halin, CO₂, oxygène ou encore méthane) vers les profondeurs et entre les grandes régions de l'océan? Et comment ces changements impactent et interagissent avec les différents écosystèmes ?
- quel rôle particulier joue la dynamique des grands carrefours océaniques (courants de bord ouest, thermocline, seuils topographiques, zones inter-gyres, etc.,...) dans ces mécanismes? Cette question est cruciale dans des régions aussi variées que la zone de bifurcation des courants du Pacifique Sud-Ouest ou que dans la région du Gulf Stream en Atlantique Nord ;
- quels sont les déterminismes du phénomène El Niño dont l'occurrence, tributaire des conditions équatoriales et de la dynamique du bord est de la « Warm Pool », est encore incomprise ?
- quels processus déterminent la genèse des cyclones (dynamique, échanges air-mer, etc.,...) ?

Le manque de connaissance sur ces questions est un verrou pour la compréhension des variations et changements climatiques et pour la quantification du bilan énergétique de l'océan. Les dynamiques étudiées sont complexes et ont souvent un caractère non-linéaire marqué, à l'origine de fortes interactions d'échelles, et peuvent comporter une dimension stochastique.

Dans ce contexte, il est maintenant primordial de développer les mesures à haute résolution, pour disposer de bases de données couvrant une large gamme d'échelles.

Eléments chimiques

Les éléments chimiques dans l'océan peuvent être bénéfiques pour le biota (ce sont les éléments nutritifs et micro-nutritifs) mais également avoir un potentiel toxique (comme certains métaux et métalloïdes, d'autres polluants organiques ou autres). L'étude de leur cycle est donc intrinsèquement liée à celle de leur transport physique, en prenant en compte les interactions avec les matrices telles que les particules et la matière organique, et à celle des écosystèmes.

- Comment la structure et la diversité des communautés biologiques sont-elles régulées par et/ou régulent les flux des éléments mineurs et traces ? Importance des fixateurs d'azote, en particulier dans le Pacifique Sud-Ouest ?
- Comment la pompe biologique est-elle modulée par ces échanges ?
- Quelles sont les sources de ces éléments mineurs et trace, les facteurs de leur biodisponibilité et leur variabilité ?
- Quels sont les rétroactions vers l'atmosphère et en particulier, peut-on améliorer les quantifications des émissions vers l'atmosphère de certains gaz à effet de serre (méthane et oxyde nitreux) ?

Hautes latitudes

Encore très mal connus, les océans et les banquises polaires sont responsables d'importantes incertitudes sur notre compréhension du climat futur et de ses impacts sur les écosystèmes et le niveau global des mers (la fonte de la calotte polaire antarctique est à l'origine de la plus forte incertitude sur le niveau global des mers). Ils sont par ailleurs le théâtre des changements climatiques les plus rapides et les plus violents que nous connaissions actuellement sur le globe :

- Evolution des calottes du Groenland et de l'Antarctique.
- Rôle des interactions océan-glace dans cette évolution.
- Rôle des océans Arctique et Austral dans le puits de carbone global.
- Evolution des banquises arctiques et antarctiques.
- Acidification avec des écosystèmes potentiellement plus rapidement à risques que dans les autres régions du globe.
- Changement de la répartition de l'eau douce avec des impacts sur la stratification et le renouvellement des eaux de fond océaniques...

Il est donc fondamental pour la communauté nationale investie dans la recherche polaire de pouvoir accéder à ces régions, ce qui implique de disposer d'infrastructures spécialisées qui manquent crucialement en France à ce jour et de réfléchir à des solutions pérennes qui permettent de répondre aux défis majeurs que posent ces régions.

Micro-plastiques

Des études émergentes pour lesquelles la communauté française est force de proposition concernent les micro-plastiques, présents dans toutes les régions de l'océan, et leur impact sur le biota que ce soit en hauturier et en côtier. Les environnements côtiers présentant un intérêt particulièrement fort pour l'homme (aquaculture, pêche, tourisme), il est urgent de mieux évaluer comment ces pollutions sont transférées à l'océan, de mieux déterminer l'origine et quantifier les flux de polluants et d'évaluer leur impact sur la qualité des eaux et des écosystèmes.

En conclusion, l'acquisition de plus d'observations *in situ*, souvent à plus haute résolution, des paramètres biogéochimiques fins (ex. : éléments traces), physiques et biologiques (ce qui peut être facilité par des capteurs automatisés) dans des régions contrastées de l'océan est nécessaire pour améliorer la capacité des modèles de climat et des modèles couplant physique-chimie et biologie à représenter d'une part les processus physiques et la variabilité climatique, et d'autre part le développement de la vie à différentes échelles de temps (de l'événement extrême à l'échelle de l'enregistrement « paléo » via la description d'un bloom ou d'une tendance décennale) et d'espace (modèle à l'échelle d'un bassin ou à l'échelle globale). Ces améliorations sont nécessaires afin de réduire les incertitudes sur les projections climatiques fournies par ces modèles, d'améliorer notre compréhension des processus physiques, de l'évolution des cycles, des écosystèmes, des habitats des organismes et des niches écologiques des espèces sous l'effet du changement climatique et de la pression anthropique. Et *in fine* cela permettra d'avoir une meilleure quantification de l'impact de ces évolutions sur la pompe physique et biologique du carbone, et donc sur le cycle du carbone.

Un important défi sera aussi de maîtriser des systèmes d'observations à de multiples échelles, qui requerra aussi l'utilisation et le développement d'instrumentations dédiées et de vecteurs permettant une observation régulière et adaptative, qu'ils soient *in situ* (comme les gliders adaptés, vaisseaux d'opportunité...), ou à distance (satellites, radars...).

2.1.3 Biologie-Ecologie-Biodiversité

Dans le champ de l'écologie, on peut distinguer différentes communautés avec des priorités particulières.

- Une forte communauté se concentre sur le domaine littoral et côtier (dont plateau interne et moyen), en métropole ainsi qu'en Outre-mer. Elle utilise principalement les navires de station, la flotte côtière et les deux N/O polyvalents de tailles intermédiaires dédiés aux régions tropicales. Quel que soit le chantier, les recherches actuelles s'intéressent au couplage benthos-pelagos et au continuum terre-mer et tendent à englober une échelle écosystémique avec une résolution spatiale et temporelle plus fine en vue d'aboutir à une modélisation intégrative. L'impact des usages anthropiques (écotoxicologie, eutrophisation, espèces introduites, développement des énergies marines renouvelables) et le contexte du changement global (réchauffement, modifications de la circulation océanique, acidification des océans, biogéographie changeante des espèces marines, érosion de la biodiversité et des habitats) imposent par ailleurs des études multiparamétriques, couplées à celles des océanographes physiciens et biogéochimistes, nécessitant des campagnes plus ambitieuses en termes d'équipements et de ressources humaines ;
- dans le domaine hauturier pélagique l'ampleur de la diversité taxonomique (protistes) ou métabolique (procaryotes) mise en lumière ces dernières années impose de réviser certains schémas fonctionnels en y intégrant notamment le rôle clef des interactions biologiques durables avec l'identification de quelques zones chantier dans des contextes contrastés où ces processus seraient réexaminés en détail;
- l'accès à la dynamique des communautés planctoniques, côtières et du large, en temps réel et à une résolution spatiale et temporelle fine, de par l'utilisation de capteurs et systèmes de collecte (semi-)automatisés, permettra de mieux caractériser la structure et le fonctionnement des écosystèmes côtiers et océaniques ;

- dans l'étude des écosystèmes benthiques profonds, la communauté française est très reconnue sur le plan international grâce notamment aux moyens d'investigation dont elle dispose (submersibles : HOV, ROV, AUV). La perspective de futures exploitations énergétiques ou minières par grand fond renforce néanmoins l'urgence d'accroître nos connaissances de ces milieux et, au-delà de l'inventaire qui reste largement à faire (explorations dans ou hors ZEE), d'accroître les études sur la dynamique fonctionnelle des communautés potentiellement impactées, et sur la biogéographie et la connectivité des espèces et populations à préserver. Par exemple, la conservation des habitats coralliens profonds du golfe de Gascogne fera l'objet de négociations à l'échelle européenne dans les années à venir, suite à leur classement en sites Natura 2000. Les chalutages et dragages, susceptibles d'occasionner des destructions importantes, sont de moins en moins tolérés par les autorités même dans le cadre de la recherche scientifique. Le recours à des ROV va devoir se généraliser pour les prélèvements;
- bien que cette activité soit de « Service Public », la demande du secteur public de surveiller et caractériser l'état écologique des écosystèmes benthiques et pélagiques en connexion avec les descripteurs d'état de biodiversité et de réseaux trophiques, ainsi que les différentes pressions associées (DCSMM), induit une contrainte croissante sur l'utilisation des navires.

2.1.4 Halieutique

Bien que demeure l'aspect « classique » de l'halieutique, marqué par une finalité opérationnelle d'évaluation des stocks pour la gestion des pêches, depuis plusieurs années le cadre de la recherche en halieutique évolue vers l'approche écosystémique des pêches, et plus récemment de toutes les activités humaines. Ce cadre se développe depuis une vingtaine d'années. Il s'appuie d'une part sur l'amélioration des connaissances dans des domaines scientifiques variés (biologie, écologie, océanographie physique, météorologie....) et les possibilités modernes de modélisation, et d'autre part sur les résolutions issues des sommets mondiaux (Cancun 1992, Reykjavik 2001, Johannesburg 2002...) et les politiques qui en découlent (PCP 1992, DCSMM 2008). Les thématiques halieutiques sont donc multiples : relations entre populations et environnement (couplage biologie-dynamique des masses d'eau), identification d'habitat essentiels au renouvellement des ressources, interactions multi-échelles entre pêche et biodiversité marines, impacts des déterminants économiques et de la gouvernance sur l'effort de pêche et les capacités de captures...L'utilisation de la FOF pour l'acquisition de ces données halieutiques couplée aux données environnementales, impossible ou très difficile à obtenir sur des navires de types professionnels, trouve ici toute sa justification. Il est attendu que cette collecte de données sera complétée dans le futur à partir d'autres plateformes (stations fixes, gliders, etc.,...).

Parmi les défis et verrous scientifiques les plus marquants on peut citer :

- L'intégration d'échelles géographiques et biologiques pour une véritable approche écosystémique ;
- les effets (additifs, synergiques, antagonistes) de stress multiples dans le cadre du changement global (réchauffement climatique, acidification, eutrophisation, pollution, invasions biologiques, altération des habitats, modification de la biodiversité, surexploitation, autres usages, etc...) sur les différents niveaux d'organisation (individus, populations, communautés, écosystèmes) ;
- la prise en compte des compromis entre compartiments de l'écosystème et entre usages/secteurs dans la gestion des activités humaines et la conservation des écosystèmes marins ;
- le développement de méthodes d'observations peu ou pas invasives (en remplacement au chalutage, mortel et destructeur d'habitat, par exemple).

2.1.5 Questions aux interfaces des communautés scientifiques

L'océan est un des compartiments de la Terre qui échange en permanence avec les autres (atmosphère, glace, continent). Quantifier ces flux échangés est la clef pour une description optimale du fonctionnement du « système Terre ». Par ailleurs, l'ensemble de la planète est affecté par les changements globaux, et cela quelle que soit l'échelle de temps et d'espace considérée: l'étude des interfaces entre océans, atmosphère et continents est donc à renforcer dans les prochaines années. Par ailleurs, les découvertes récentes sur l'importance des flux hydrothermaux d'éléments micro-nutritifs (Fe, Zn, Co, Cu...) ainsi que du rôle des marges océaniques sur leurs budgets incitent à intensifier les recherches sur ces milieux. Enfin ces questions d'interfaces sont cruciales entre disciplines pour lever des verrous cognitifs. Ce chapitre traite à la fois des interfaces entre compartiments du système terre mais aussi des questions « mécanistiques » importantes entre (par exemple) le vivant et le minéral.

Couplage Océan-atmosphère

- Quantifier les effets des flux atmosphériques sur la dynamique océanique et des écosystèmes ainsi que les rétroactions de ceux-ci vers l'atmosphère (émissions marines, impact radiatif, impact sur la formation des nuages et le climat) permettra d'améliorer les modèles de climat. Nos connaissances sur les émissions biogéniques marines vers l'atmosphère sont très parcellaires et cette rétroaction n'a pour le moment pas été quantifiée. **Un des enjeux est de réaliser ces mesures couplées des différents flux à travers cette interface pour comprendre l'effet de ces émissions ainsi que leur origine physico-chimique ou biologique.**
- Par ailleurs, les effets du « Black Carbon » sur le fonctionnement biogéochimique et microbien de l'écosystème pélagique restent trop peu documentés. Des mesures existent sur les continents et ponctuellement en zone côtière, mais pas en hauturier. **Une recommandation est de développer plus systématiquement ce type de mesure.**
- Le rôle de l'océan Austral dans les échanges océan-atmosphère de CO₂, la fragilité de sa biologie en regard à l'acidification des eaux de surface, la dynamique des micro-nutritifs et l'identification des facteurs limitants de la production primaire dans ces hautes latitudes sont encore des points non résolus. **Il est fortement recommandé de donner les moyens à la communauté pour explorer au mieux l'océan Austral.**

Transition continent-océan

- Les systèmes générés entre les eaux continentales et marines dans les estuaires et plumes et au sein des plateaux et marges (fronts de dilution, fronts thermiques, courants, marée) structurent de façon complexe, permanente ou temporaire, les différents écosystèmes pélagiques, leur inter-connexion et leurs connexions avec les systèmes benthiques : ces mécanismes conditionnent et limitent parfois la production biologique et la diversité des communautés présentes. **Ces mécanismes physiques, hautement variables, sont complexes à contraindre. Ils requièrent des suivis à haute résolution, temporelle comme spatiale ;**
- la quantification des transferts des espèces chimiques (contaminants ou naturels) entre continents et océans est aussi essentielle que mal connue. Il s'agit d'identifier les flux libérés à partir de la matière déchargée par les fleuves et/ou des sédiments des marges et/ou encore par les décharges d'eau souterraine et de comprendre pourquoi certains contaminants s'enfouissent durablement alors que d'autres sont libérés depuis la matière solide à la rencontre du front salin. Les mécanismes physiques qui favorisent la libération d'espèces chimiques par remise en suspension des sédiments sont *a priori* des processus

intermittents (écoulements dans les zones de fractures, canyons, pockmarks, tourbillons de petite échelle, ondes internes et mélange, événements gravitaires, etc.,...). **Etudier ces mécanismes et le continuum bassin versant-océan –en particulier en périodes de crues, vecteurs de la majorité des dépôts sédimentaires annuels- requièrent des collaborations renforcées entre physiciens et géochimistes, entre les communautés scientifiques, mais aussi des navires capables de réactivité (lors d'événements météorologiques extrêmes par exemple;**

- les questions relatives à la dynamique et à la préservation des habitats marins sont cruciales. Dans un système en équilibre, le sédiment et les vasières fournissent un habitat physique qui est modifié en retour par l'activité biologique (fouisseurs, espèces ingénieures etc.). De même, si on observe un forçage des herbiers sur le substrat, l'inverse aussi se produit. En zone tropicale, les récifs coralliens jouent un rôle de construction du substrat et abritent des niches écologiques. Le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer, les tempêtes et les érosions induites génèrent une réduction de ces habitats, avec des conséquences majeures sur la ressource marine, l'économie côtière en particulier dans la zone inter tropicale ;
- la gestion responsable des activités portuaires et des ressources marines et côtières, tant en matière de pêche, que de conchyliculture ou d'énergies marines ne peut se faire que par une approche systémique, intégrant les milieux physiques et biologiques et les aspects socio-économiques. La thématique des nurseries côtières, récente et en plein essor, nécessite un effort particulier en matière d'acquisition des données et d'amélioration des connaissances. Par exemple, trop peu de recherches sont conduites aujourd'hui sur les impacts écologiques de l'exploitation des granulats marins : les études sont trop courtes, trop localisées et n'abordent pas les effets de la turbidité à moyen terme sur les nurseries par exemple. L'intensification de l'exploitation minière de surface et profonde (P, Ni, Cd, métaux...) et les perturbations induites par ces activités en particulier sur la chaîne trophique (accumulation-détoxification) rendent urgentes ces quantifications;
- d'une manière plus générale, la qualité de l'eau, de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes sont des problématiques transversales et des conditions essentielles à la préservation des écosystèmes et des activités humaines qui en dépendent. Ce sont des enjeux majeurs de gestion intégrée à l'interface terre-mer (DCE, DCSMM).

Pour toutes ces questions touchant au milieu côtier, les réflexions prospectives ont souligné l'importance de travailler à l'échelle écosystémique: très peu d'études des écosystèmes font un bilan de masse, impliquant les producteurs primaires et secondaires à échelle de l'écosystème. Les études *in situ* étant souvent ponctuelles dans l'espace, le changement d'échelle vers l'échelle écosystémique devra pouvoir être faite en lien avec la télédétection. En effet, les nouveaux satellites ont une résolution spatiale et spectrale qui devrait permettre l'étude des écosystèmes côtiers (résolution spatiale) pour un lot de paramètres plus large (matière organique dissoute et particulaire, taxa phytoplanctoniques, résolution spectrale), en lien avec des nouveaux capteurs et systèmes de collecte automatisés.

Pour maîtriser les flux, du sédiment vers l'eau, du sédiment vers l'air (zone intertidale) et vers l'océan, il faut des contraintes dynamiques adaptées.

Le développement indispensable de ces études écosystémiques doit s'accompagner de navires permettant la réalisation de travaux pluridisciplinaires. En outre, il faut se doter de moyens pour réagir aux impacts d'événements extrêmes (crues, tempêtes, submersion littorale). Les moyens de la flotte et la programmation des navires ne permettent pas toujours cette réactivité. Les services d'observations (SOMLIT, MOOSE, Coast-HF), les

« ferrybox » déployées sur les navires de la Brittany Ferry sont autant de moyens de « surprendre » un événement soudain. Il est donc recommandé de développer des capteurs automatisés à déployer sur les navires, en lien avec l'évolution des capteurs satellitaires.

Interface terre profonde-océan : l'hydrothermalisme marin

La circulation hydrothermale résulte de la percolation d'eau de mer dans les sédiments marins et la lithosphère océanique. La composition physico chimique de l'eau est drastiquement modifiée par les interactions eau-roche. L'eau de mer initiale est transformée en un fluide hydrothermal présentant des caractéristiques chimiques soit acide, réductrice et fortement enrichie en métaux pour l'hydrothermalisme de haute température, soit hyperalcaline, réductrice et fortement enrichie en alcalin pour l'hydrothermalisme de basse température (<120°C). Sur les 50 dernières années, les recherches ont mis en évidence la grande diversité et l'ampleur de ces phénomènes, à la fois de hautes et basses températures, dans des substrats basaltiques, dacitiques et périclitiques, dans des contextes d'accrétion et de subduction. La dynamique de l'activité hydrothermale impacte non seulement la composition chimique de la lithosphère océanique et de l'océan profond mais aussi le fonctionnement la diversité des écosystèmes profonds. En résumé, la quantification des transferts de matière et de chaleur liée à la dynamique hydrothermale reste mal connue dans le temps et l'espace et nécessite d'être contrainte. Dans ce large champ pluridisciplinaire, les principales questions portent sur le devenir de ces flux hydrothermaux dans l'océan et leur rôle dans les bilans et cycles biogéochimiques, l'origine et la nature des ligands qui stabilisent ou non les micro-nutriments dans l'eau de mer, leur distribution entre les phases dissoute et particulaire et donc leur bio-disponibilité pour les écosystèmes profonds et de surface, en particulier pour les diazotrophes dans l'océan Pacifique ou, par le biais de la circulation, une fertilisation partielle de l'océan austral.

La quantification des flux hydrothermaux, qui passe par la caractérisation de la géométrie de circulation, par celle des moteurs de cette circulation (thermique? tectonique?) et par la compréhension des mécanismes des interactions eaux-roches, est un des enjeux majeurs de l'étude des transferts de matière et d'énergie entre les grands réservoirs géochimiques. Ces études requièrent des accès aux engins d'exploration profonde, une récurrence des campagnes, des campagnes multidisciplinaires et nécessitent donc l'accès à des grands navires hauturiers.

Interface chimie-biologie –physique (tous compartiments)

Les métaux en traces « micro-nutritifs » sont reconnus comme des éléments nutritifs car sans eux, pas de vie. Cependant, la compréhension des conditions qui les rendent biodisponibles, leur comportement lors de la reminéralisation de la matière organique, et leurs sources (internes comme externes à l'océan) sont autant de verrous qui impliquent des travaux à la frontière entre transport, spéciation chimique fine et développement biologique. La compréhension des processus en jeu entre la cellule vivante et les substances chimiques est encore balbutiante. C'est une frontière « mécanistique » majeure, qui met en jeu les techniques les plus modernes d'observation de la matière et d'identification de la spéciation chimique et biologique.

Les études biogéochimiques sont indissociables des questions de dynamique de l'océan et des échanges à l'interface air-mer. En particulier les processus de méso et sub-mésoéchelle océanique affectent les grandes échelles au travers d'échanges énergétiques (et notamment les flux verticaux à fine échelle), et un des enjeux consiste à quantifier leurs impacts sur la stratification, sur les flux verticaux de carbone et de tous les nutriments, qui sont des facteurs clés dans le changement climatique. Le rôle critique de la circulation sub-mesoéchelle et du

mélange vertical dans la régulation de la structuration des communautés microbiennes planctoniques, de la production primaire et de l'exportation de carbone organique est de plus en plus évident, comme le montrent les récentes observations satellitaires, les mesures *in situ* et les simulations de modélisation. La combinaison de telles observations avec des instruments optiques fournira un aperçu unique de la distribution des particules et des exportations de particules à des échelles sans précédent. On peut également mentionner l'impact potentiel de la production primaire (surtout le phytoplancton) sur le bilan de chaleur océanique via son impact sur la pénétration lumineuse dans la couche de mélange. Ce type de paramètres (Chla, pigments) doit donc être pris en compte et mesuré plus souvent. Cela est fait systématiquement sur les campagnes PIRATA-Fr depuis 6 ans par exemple et avec les flotteurs Argo via le développement de la composante BGC-Argo.

Il s'agira également de quantifier les flux d'éléments d'intérêt biogéochimiques ou toxiques, de comprendre et quantifier les échanges entre les phases particulaires et dissoutes en fonction des conditions biogéochimiques du milieu (T, pH, type et quantité de MOD) et de la dynamique microbienne associée ce qui permettra d'identifier la biodisponibilité de ces éléments.

Seules des études pluridisciplinaires associant chimistes, biologistes et écologistes aux physiciens spécialistes de la petite échelle et les équipements à la mer associés (systèmes de prélèvement propres, incubations, collectes de particules, etc.,...) permettront de progresser sur ces questions.

2.1.6 Défis de l'Outremer

La Flotte Océanographique Française permet de répondre aux enjeux et défis de l'outre-mer français. Si les outre-mers sont des régions essentielles pour étudier des processus de pertinence globale illustrés dans les chapitres précédents (2.1.1 à 2.1.5), des questions plus spécifiques sont abordées en collaboration avec les pays émergents :

- Biodiversité: du gène aux populations/connectivité/inventaires de biodiversité dans les zones éloignées et très peu fréquentées, études du fonctionnement des écosystèmes associés ;
- Bioressources: recherche de nouvelles substances naturelles (venins, molécules anticancéreuses,...), de nouvelles espèces bactériennes, etc.,...
- Suivi des écosystèmes coralliens et associés (récifs, herbiers et mangroves) en parallèle avec les différents impacts du changement global (crises de blanchissement corallien, prolifération d'étoiles de mer prédatrices du corail, espèces envahissantes, relation avec les populations d'oiseaux marins, etc.,...)
- Analyse des effets de la surexploitation (petits et grands pélagiques, requins, poissons coralliens, etc.,...);
- Impact des autres pressions humaines (destruction des habitats, pollution, contamination, etc.,...);
- Amélioration des connaissances sur les écosystèmes pélagiques hauturiers (thonidés, requins, cétagés etc.,...);
- Poursuivre la découverte, l'exploration et l'étude de milieux singuliers exceptionnels :
 - source ultrabasique d'Hydroprony en Nouvelle Calédonie située à très faible profondeur ;
 - récif corallien de l'île volcanique d'Ambitle exposé à une simulation du changement climatique (T° et concentration en CO₂ plus élevées) ;
 - îles « sentinelles » sans impact humain pour évaluer les variations d'habitats et de communautés associées aux différentes composantes du changement global.

Des chantiers ciblés sur l'outremer se développent en Atlantique (Guyane, Antilles, Afrique Occidentale), Indien(Mozambique) et Pacifique. Ces questions peuvent toucher à la fois le milieu côtier, insulaire et l'océan hauturier. Dans le cas du Pacifique, la pression de recherche et la dimension des transits imposés rendent nécessaire de maintenir dans le futur la disponibilité d'un navire tel que le N/O *Alis* basé à Nouméa.

2.2 Un nouvel essor pour l'enseignement et la formation

Le récent recensement des actions de formations embarquées au sein du Réseau des Universités Marines renforce l'intention de conserver et d'étendre les formations à la recherche et observation marines, de différentes durées d'embarquements, et de favoriser l'accès à la FOF d'un plus grand nombre d'étudiants des formations marines.

Trois types de formations à la mer devraient être maintenues et renforcées : 1. Campagnes de formation dédiées (temps à la mer exclusivement réservé à la formation – même si les données pourraient aussi servir à d'autres objectifs) – 2. Campagnes couplées enseignement-observation (ou Service Public, si récurrentes) ; 3. Campagnes de formation couplées enseignement-recherche (de type Universités Flottantes).

La mutualisation des formations sur un site ou une série de campagnes dédiées à la formation serait une piste intéressante à explorer. La possibilité de proposer des modules embarqués lors de campagnes récurrentes (annuelles ou tous les deux-trois ans) sur des navires hauturiers (ou de façade de taille intermédiaire) et de mutualiser missions d'enseignement et observation (ou service public) pourrait permettre également une meilleure formation des étudiants notamment pour les formations avancées de Master ou Doctorat, en complément des appels européens ou internationaux d'écoles embarquées d'été ou universités flottantes.

La connexion entre observation-enseignement serait à renforcer. Ainsi, le tryptique "mutualisation-valorisation-optimisation" permettrait un accès le plus équitable et complet au plus grand nombre d'étudiants des enseignements en océanographie dispensés en France, tout en assurant des enseignements embarqués de qualité.

Les formations hors maquettes (de type écoles d'été) et les formations de type valorisation de transits des navires de la FOF devraient aussi voir leur fréquence augmenter pour peu que leur visibilité et leur accessibilité soient renforcées (via RUM).

Enfin, des modules permettant de suivre en temps réel le quotidien de missions scientifiques, d'observation, de service public et la valorisation de trajets, en connexion directe avec ce qui est proposé pour la communication/vulgarisation de ces campagnes auprès des Ecoles/Collèges/Lycées/Universités, grand public via les centres de vulgarisation maritime, pourraient être renforcés avec l'exploitation de données acquises en continu au sein de modules d'enregistrement de paramètres physico-chimiques et biogéochimiques. Ainsi, une combinaison innovante pédagogique associant l'expérience en mer et la valorisation/formation numérique à distance serait une piste à explorer et à renforcer.

2.3 Les contraintes de service public

Les domaines qui font l'objet de demandes spécifiques des services de l'état sont aujourd'hui l'halieutique et les besoins liés à la politique commune de la pêche (PCP), la DCE, la DCSMM et les permis d'exploitation et les besoins de reconnaissance du plateau continental et au-delà.

2.3.1 Halieutique

Pour les besoins de la PCP, le volume de jours de campagne aujourd'hui est de 220 jours. Ce volume restera identique pour les prochaines années, si les conditions de financement ne sont pas modifiées et si une solution de remplacement du couple *Gwen Drez/Thalia* est trouvée. En effet, si la commission européenne s'engage sur des appels d'offres plutôt que de faire appel à la FOF, ce nombre pourrait être amené à diminuer (ainsi que le financement), ce qui impliquerait également des pertes de capacité de campagnes pour les besoins de la DCSMM (actuellement réalisées via des campagnes d'intérêt public optimisées).

2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

Pour la DCE/état écologique, l'utilisation des navires de stations est plus particulièrement adaptée pour le benthos, parfois en complément de l'Haliotis. Pour la DCE/état chimique, les navires côtiers type *Thalia* ou *Europe* sont demandés.

Les besoins annuels pour la DCE sont de l'ordre de 16 jours sur les navires de station et de 10 à 15 jours sur les navires de façade.

2.3.3 Directive Cadre sur la Stratégie Milieux Marin (DCSMM)

Poissons et céphalopodes : dans le cadre de la DCSMM, il est prévu de créer de nouvelles campagnes côtières pélagiques et démersales. Pour la Manche, des navires professionnels sont d'ores et déjà utilisés (une dizaine de jours par an). **Dès 2018, une campagne côtière APP sera affichée pour 15 à 20 jours par an ;**

- Habitats benthiques (HB) et intégrité des fonds marins : pour l'objet de surveillance HB1 (distribution des HB de l'étage bathyal/approche régionale), le besoin spécifique en nombre de jours reste à définir. L'objet de surveillance HB2 (distribution des HB de l'étage abyssal) n'est pas retenu dans une première phase DCSMM ;

- Habitats pélagiques (HP) : Le besoin en campagnes dédiées (aux saisons non échantillonnées par les campagnes halieutiques), est de 2 campagnes par an et par façade, **d'une durée de 12 jours par campagne en Manche, 12-15 jours par campagne en Atlantique, 12 jours par campagne en Méditerranée, soit 70/80 jours de navires de façade ou intermédiaires.**

- Espèces commerciales : l'action d'optimisation des campagnes pour les besoins de la surveillance DCSMM repose sur les campagnes DCF d'évaluation des stocks : IBTS, PELGAS, MEDITS, PELMED, CGFS et EVHOE ;

- Les suivis DCSMM (déchets, oiseaux, mammifères marins, gélatineux, bruit...) sont également comptabilisés dans les 220 jours de campagnes hauturières dédiés à la collecte de données halieutiques dans le cadre de la PCP.

- Changements hydrographiques : Le programme de surveillance « *Changements hydrographiques* » prévoit l'extension d'un réseau de « cage benthique » constitué dans sa configuration minimale de 8 cages (2 par sous-région marine). Les stations benthiques doivent être relevées et remplacées tous les 3 à 4 mois afin de collecter les données et assurer la maintenance des capteurs. **Le besoin en nombre de jours de mer est estimé à 32 jours hors transit.**

- Contaminants : déploiement des campagnes SELI-MED/LOIRE/SEINE – **besoin de 10 jours par an sur un navire côtier**, sous réserve de financement des agences de l'eau.

Sur les besoins DCSMM, en conclusion : le travail d'identification des jours de mer n'a pas été mené au bout de la réflexion. Des questions restent posées comme : quel type de navire est

nécessaire pour chaque campagne ? La possibilité d'optimisation des campagnes n'a pas non plus été étudiée et les financements ne sont pas identifiés dans leur intégralité.

Néanmoins, la tendance d'une très forte augmentation des besoins de jours de mer est indéniable. Cette augmentation ne pourra se faire que si les moyens de la FOF le permettent, en termes de navires et de budget.

2.3.4 Cartographie du plateau continental

Depuis une quinzaine d'années, la FOF a assuré pour le projet Extraplac des missions de service public d'acquisition de données afin de préparer, auprès de la Commission des Limites du Plateau Continental des Nations unies (CLPC), les demandes françaises de plateau continental étendu au-delà des 200 M. Le projet Extraplac n'est plus demandeur de nouvelle campagne.

2.3.5 Permis d'exploitation AIFM (nodules et sulfures)

Concernant le permis d'exploration « Atlantique », la France s'est engagée à réaliser **trois missions d'exploration de 50 jours sur un navire hauturier (une tous les cinq ans)**. La première campagne se déroulera en mars 2017 sur le *Pourquoi Pas ?* (campagne HERMINE). Il restera donc, à minima, deux campagnes à réaliser sur la zone d'ici à 2029.

2.3.6 Positionnement du SHOM

Pour les besoins hydro-océaniques du SHOM et ses obligations SOLAS, le SHOM identifie les besoins d'un **navire côtier hydro-océanographique à 100 jours par an (90 pour la façade manche Atlantique et 10 pour la Méditerranée)**.

Ce besoin supplémentaire pour répondre aux demandes de Service Public (non financées FOF), nonobstant la nécessité d'en trouver le financement, peut atteindre entre 100 et 150 jours de navires côtiers ou de façade par an.

2.4 Les besoins en termes d'évolution de la flotte, des moyens à la mer et du soutien humain

2.4.1 Besoins en navires et engins profonds

- *Domaine littoral* : le comité prospectif souligne l'importance cruciale des navires de station dont l'accessibilité et la souplesse de programmation doivent être préservées. Une évaluation *a posteriori* des campagnes est recommandée notamment en termes d'archivage et de valorisation des données et échantillons recueillis sur ces navires. **L'importance de prévoir le remplacement du navire de station *Sepia II*, le plus ancien navire de cette flotte (1984), est soulignée.** Ce navire joue un rôle essentiel dans la recherche, l'observation (réseau SOMLIT, REPHY, SRN, RESOMAR, futur réseau d'observation du phytoplancton-PhytObs) et du zooplancton-ZooObs), l'enseignement (au moins 3 Masters adossés, UE de Licence, stages d'accueil nationaux et internationaux), ainsi que le service public (DCE, DCSMM) et la participation actions de communication et vulgarisation scientifique (Fêtes de la Mer, Journée Mondiale de

- l'Océan, Fêtes de la Science) et appui aux centres de vulgarisation scientifique maritime (Nausicaa, MAREIS).
- *Domaine côtier et bord de plateau*: le besoin d'un navire pour accéder aux tout petits fonds (estuaires sur la façade Manche-Atlantique, tirant d'eau de 3 m environ) a été exprimé et des solutions proposées, en particulier autour du redéploiement de *l'Antea*. Le besoin d'un navire intermédiaire (35-40m, 15 scientifiques) à déployer sur la zone Atlantique-Méditerranée pour réaliser des campagnes côtières pluri-disciplinaires et pour remplir la plupart des missions d'observation scientifiques est cependant ressorti comme prépondérant (voir 1.4.3, 1.5.1, 2.1.5, 2.4.4). Une fiche a été transmise au MENESR pour être portée au PIA3. Un document plus exhaustif décrivant avec détails le navire de taille intermédiaire attendu est proposé en Annexe 8. La modernisation du *Côtes de la Manche* (et sa « jumboisation »), avec installation de matériel de chalutage et sondeurs multifaisceaux, de sédiments et augmentation de places à bord est considérée comme une priorité. Une définition exacte des équipements à installer à bord devra se faire en interaction avec l'armement de l'INSU.
 - *Le remplacement de l'Alis* (sortie de Flotte 2025 au plus tard) doit impérativement être envisagé. On s'oriente *a priori* aussi vers un navire intermédiaire (35-40m ; 15 scientifiques) sur la zone Indien-Pacifique pouvant assurer des campagnes côtières et hauturières en mettant en œuvre de manière efficace des équipements variés : chalut, benne, petit ROV, etc.,... Basé à Nouméa, *l'Alis* réalise régulièrement des campagnes en Physique, Biologie et Géophysique dans le Pacifique Sud, de la Papouasie Nouvelle-Guinée à la Polynésie Française. Sa capacité d'embarquement de 6 scientifiques est notoirement insuffisante. Les spécifications de ce navire de taille intermédiaire « Pacifique » sont aussi décrites plus précisément dans le document proposé en Annexe 8.
 - *Mers englacées* : Le seul brise-glace français, *l'Astrolabe* (ou son futur remplaçant), n'est pas un bateau de recherche. Son utilisation pour l'océanographie au large de la Terre Adélie, subordonnée à la logistique de ravitaillement de la base française de Dumont D'Urville, est toujours restée limitée du fait des fortes contraintes logistiques pesant sur la programmation du bateau et conduisant à une offre de temps bateau réduite et très occasionnelle pour les activités de recherche, qui plus est dans un périmètre géographique très contraint (la région côtière de la Terre Adélie). L'accès à un navire polaire équipé pour la recherche scientifique est le dispositif incontournable d'une recherche de qualité sur les océans et leurs interfaces en Arctique et en Antarctique. En effet, celle-ci doit pouvoir s'appuyer sur des stratégies d'échantillonnage et une programmation maîtrisées, tant pour des déploiements et récupérations d'équipements que pour des programmes de prélèvements et de mesures de terrain d'envergure. Des dispositifs d'accès aux bateaux des pays dotés de moyens polaires sont actuellement en cours de réflexion au niveau européen et international (en particulier pour l'Arctique, ARICE), ceux-ci restent des solutions d'appoint et n'auront pas vocation à répondre aux besoins importants de notre communauté sur les deux pôles.
 - *Plus spécifiquement pour l'halieutique* et les exigences croissantes des services publics (DCSMM), envisager un nouveau navire de taille moyenne (25-30 m) permettant le chalutage (chaluts à panneau et à perche) et le dragage est indispensable en remplacement des *N/O Gwen Drez* et *Thalia* pour l'évaluation des ressources halieutiques vertébrées et invertébrées en zone côtière et très côtière (*i.e.*, tirant d'eau adapté aux faibles profondeurs, soit moins de 3,50m). Ce navire devrait être en capacité d'accueillir 10 à 12 scientifiques et équipé pour couvrir d'autres compartiments en plus du chalutage halieutique pour une approche écosystémique : profils hydrologiques verticaux type CTD, prélèvements hydrologiques (matière organique et phytoplancton : bouteille Niskin),

prélèvement zooplanctonique (filet WP2 et Bongo), échantillonnage d'ichtyoplancton (filet MIK), échantillonnage d'œufs (CUFES miniaturisé).

- *Domaine hauturier benthique profond* : le comité prospectif recommande de conserver deux engins submersibles grande profondeur (6000 m) opérationnels, HOV Nautil et ROV Victor, dont la complémentarité et l'association avec l'AUV 6000 (réalisation en cours) garantiront de pouvoir réaliser tous types d'intervention (de l'exploration au chantier d'observation, cf 2.1.3; Annexe 5). Le HOV Nautil est un moyen possédant une valeur ajoutée (charge utile, mobilité, manipulation en visuel direct) pour les interventions au fond, complétant parfaitement le ROV Victor, adapté aux approches de types chantier avec ascenseur dédié en plongées longues permettant des mesures répétées, prélèvements et observations vidéo. **Il est nécessaire d'assurer la pérennité et l'évolution de ces deux engins et d'en renforcer la complémentarité pour les 20 prochaines années, non seulement pour répondre aux besoins scientifiques mais aussi en appui à la politique publique.** Par exemple, il est recommandé de réfléchir à opérer le ROV Victor tout en déployant d'autres équipements au fond par câble (ascenseur, mouillages) afin de limiter au maximum les lests de mouillage laissés en fond de mer. Sont aussi soulignés le besoin d'améliorer la panoplie de capteurs physiques et chimiques sur les engins et le développement d'une sismique numérique.
- *Le remplacement de l'Atalante à échéance 2030*. Ce navire aura 40 ans alors. Il est extrêmement demandé pour des campagnes de tous types. Son remplacement est donc à envisager dès 2030.

2.4.2 Faire évoluer les équipements des navires

En ce qui concerne les équipements des navires, sont soulignés :

- L'importance de moderniser les équipements des navires, comme par exemple l'acquisition d'un câble électro-porteur pour les prélèvements de surface (carottiers, ...), tels qu'en sont équipés les navires allemands (R/V *Meteor* par ex.), et engin tracté capable de remonter en temps réel la video HD (nouvelle caméra) et de lui redonner la possibilité d'atteindre les 6000m.
- Maintenir en bon état le système complet de prélèvement propre, et développer le plus largement possible l'utilisation de câbles kevlar pour opérer les CTD rosette dépourvues de métal.
- Développer la faisabilité de carottages longs à bord des navires hauturiers et côtiers, un enjeu important pour la FOF. Un groupe de travail a été mis en place pour mener une réflexion sur l'étude des différents outils de prélèvement, leur amélioration et leur implémentation sur les navires non encore pourvus, comme l'implémentation du carottage CALYPSO sur l'Atalante.
- Etudier la faisabilité de réaliser des mesures systématiques de cartographie des fonds marins pendant les transits, ce qui comblerait de façon optimisée le manque de données notamment sur les plaines abyssales, loin des frontières de plaques.
- En domaine hauturier ainsi que côtier pélagique, il est fortement souhaité de développer la valorisation des transits et des missions via la mise en place de capteurs bio-optiques et biogéochimiques automatisés connectés à des points d'arrivée d'eau de mer propre alimentant des thermo-salinomètres (existants) et des systèmes multi-analyses en continu de type FerryBox ou Pocket Ferrybox.

- Installer un système de purification d'eau indispensable pour les études géochimiques et microbiologiques et des salles propres ou au moins des hottes à flux laminaires performantes sur tous les navires
- Mettre en œuvre de la R&D pour le traitement de données et de l'information (automatisation, validation, extraction d'informations utiles, approche multi-échelle) pour les acquisitions en route et pour les observatoires.
- Le SHOM exprime également des besoins en outremer pour un navire équipé d'un SMF et capable de projeter une vedette hydrographique petit-fonds.

2.4.3 Le matériel embarqué

Plusieurs besoins d'équipements et améliorations fonctionnelles sont proposés :

- Pérenniser et améliorer les moyens communs existants dans les parcs avec accès à tous ces moyens quelle que soit la tutelle, avec un soutien pour la mise en œuvre du matériel. **Le besoin d'une liste consolidée de cette instrumentation commune existante est clairement exprimé.** Cela s'accompagne de la mobilisation de moyens budgétaires pour garantir, dans la durée, la qualité et le bon fonctionnement des équipements communs, mais également l'évolution de tous les outils (OBS, sismique, carottage, capteurs physiques, bio-optiques, géotechniques et chimiques in-situ, etc.,...).
- Mettre à disposition le matériel mobile indispensable pour la caractérisation non-destructive des carottes sédimentaires (matériel installé dans un ou plusieurs conteneurs mobiles comprenant : photographie, spectro-colorimétrie, vitesse, gamma-densité, susceptibilité magnétique, radiographie, scanner XRF) ;
- Réaliser un système opérationnel de sismique multitraces tractée près du fond, sur la base du prototype « SYSIF » réalisé en 2014, afin de permettre une identification inframétrique des déformations sédimentaires présentes dans les sédiments superficiels par toutes profondeurs d'eau et ce avec une précision inégalée;
- Mettre en place un dispositif de forage télé-opéré en entamant une réflexion sur la possibilité d'obtenir un tel outil au sein de la FOF ou via des accords avec des partenaires européens (Exemple : British Geological Survey).
- Développer des capteurs chimiques *in-situ* permettant de tracer l'impact des flux hydrothermaux sur la colonne d'eau et le développement des écosystèmes marins ; ceci implique aussi de palier aux lacunes instrumentales entre le prélèvement de fond du flux hydrothermal *-i.e.* seringue Titane étanche, PEPITO et celui de la colonne d'eau via une rosette CTD propre.
- Acquérir un wave glider pour la communication avec les sites fond de mer. Ce glider serait à opérer par la DT INSU.
- La standardisation des protocoles entre campagnes halieutiques et écosystémiques génère positivement une mutualisation de l'instrumentation (CTD, rosette, Ferry-box et Pocket Ferry-box, capteurs bio-optiques automatisés, Zoocam, etc.). Il s'avèrerait judicieux qu'une partie des moyens soit maintenu à bord ou stocké par Genavir, qui pourrait pour partie en assurer la maintenance et l'étalonnage annuels.
- La plongée autonome au-delà de 60 m (limite de la plongée autonome à l'air) va se développer avec la nécessité de mesures spécifiques de sécurité (caisson décompression à bord).
- En halieutique, l'application des règles d'éthique quant à l'euthanasie des animaux pour des raisons scientifiques s'appliquera dans le futur aux échantillonnages de poissons lors des campagnes halieutiques. Cela pousse à une évolution des moyens d'observation en halieutique avec soit la mise en place de systèmes d'euthanasie « propres » à bord (ex. :

bains d'anesthésiant sur-dosé) pour l'échantillonnage direct soit avec la généralisation de moyens d'observation non-invasifs (acoustique, video, eDNA) dont certains restent à inventer.

2.4.4 Les observatoires

Une caractéristique importante des observatoires (réseaux de stations ou stations fixes, sites instrumentés) est le retour régulier sur des régions géographiques sélectionnées. Cela implique *de facto* une définition à long terme de zones de travail et de la mobilité géographique des navires et des engins qui peuvent y être associés (ROV Victor, AUVs et HOV Nautile). **Bien que ces programmations récurrentes conduisent à des contraintes pour l'attribution de jours de mer sur les navires de la flotte française, la reconnaissance de ce besoin par les instances d'évaluation a été une avancée significative qu'il est indispensable de maintenir.**

Le développement de nouveaux outils et le besoin d'appréhender l'écosystème marin dans son ensemble (du système physico-chimique aux communautés biologiques) tendent à faire évoluer les stratégies d'observation long-terme vers :

- des approches pluridisciplinaires et multi-outils
- l'utilisation d'engins lourds (Nautile, Victor, sismique multitraces, pénétromètre)
- l'utilisation de parcs d'instruments en grand nombre (profileurs, OBS, gliders...)
- des interventions régulières, que ce soit pour la mise en œuvre d'observatoires permanents en domaine pélagique côtier et du large, et en milieu profond (programme ex EMSO), pour l'enchaînement d'études sur un chantier (dont PIRATA, MOOSE, OISO, SURVOSTRAL....)
- la réalisation de mesures automatiques sur sites ateliers (mouillages instrumentés), sur engins dérivants (flotteurs, gliders, AUV), à partir d'instruments embarqués
- un regain d'intérêt pour la zone côtière et le plateau continental avec utilisation de mesures automatisées réalisées en continu entre la côte et les marges continentales (et au-delà)
- l'absence de possibilité d'avoir des SNO pour les équipes INEE, par exemple pour les campagnes récurrentes qui sont réalisées tous les ans autour des Kerguelen (THEMISTO, REPCOOAI) et qui ne peuvent pas prétendre à une labellisation, ce qui leur éviterait de devoir resoumettre un dossier tous les ans.

Le besoin essentiel de travailler sur l'intersection côte-large, notamment sur l'ensemble du plateau continental dans le Golfe de Gascogne et aussi au large en Manche-Mer du Nord, mers Celtiques, mer Méditerranée (MOOSE) nécessite un navire possédant une grande autonomie (20-30 jours) et de taille suffisante afin de s'affranchir au maximum des conditions météorologiques et pour embarquer la quantité de matériel nécessaire pour les opérations de maintenance de mouillages (ex. : 5 mouillages MOOSE + 2 bouées Météofrance). L'utilisation de navires plus petits est désormais impossible, ou imposerait une logistique appropriée compliquée et très coûteuse (plusieurs escales avec matériels de mouillages expédiés dans les ports d'escale). **Le besoin actuel est un navire intermédiaire équipé de capacité de levage adaptée pour la maintenance des bouées de surface et lignes de mouillages profonds et pouvant embarquer env. 15 personnes.**

Les navires de recherche hauturiers sont équipés d'appareils permettant l'acquisition en route et la transmission d'observations en temps réel vers le centre Coriolis. La procédure est opérationnelle et doit être maintenue pour les thermo-salinomètres, ADCP de coque et stations météo automatiques. De nouveaux capteurs pourraient y être associés. Les services d'observation sont très demandeurs de ces mesures d'accompagnement qui peuvent être fournies par ces instruments.

En zone côtière, ou à l'échelle de petits bassins, une action similaire se met en place avec les « Ferry-Box ». Les avancées techniques et l'intérêt croissant d'autres disciplines pour les mesures en route nécessitent la prise en compte d'autres paramètres et l'extension à d'autres paramètres (pCO₂, cytométrie en flux, autres mesures bio-optiques). Des systèmes de prise d'eau libre sont également souhaitables.

La maintenance de tels réseaux instrumentaux est lourde et doit être structurée pour garantir la qualité de la mesure et la pérennité des séries temporelles : sélection des plateformes appropriées, choix des paramètres pertinents, identification des équipes maintenance et validation, crédits récurrents associés.

Cette structuration pourrait sans doute être élargie aux navires d'opportunité pour la réalisation des radiales régulières, souvent inaccessibles par les navires de recherche. Ces démarches, actuellement à la charge des équipes de recherche, seraient certainement plus aisées si elles étaient traitées au niveau des organismes.

En outre-mer, l'absence d'observatoire national devra à terme être comblée car ces territoires sont particulièrement impactés par le changement climatique (zone polaires et tropicales)

2.5 Le financement : jours de mer, préparation des campagnes et recherches post-campagne

Le constat général est qu'il est actuellement trop difficile de réunir les financements nécessaires à la réalisation d'une campagne en mer et principalement à son exploitation dans de bonnes conditions. L'accès au temps navire est obtenu par le biais des projets soumis aux Commissions Nationales de la Flotte (CNFs). Mais les financements nécessaires à la bonne réalisation des projets sont actuellement mal assurés et aléatoires. En 2015, l'Ifremer a ouvert un fonds de soutien aux campagnes avec pour objectif de financer les coûts directement associés à la réalisation des campagnes (frais de mission, coût de transport des matériels et échantillons). Ce fonds a été plébiscité mais il ne résout pas tous les problèmes. L'INSU, par ses appels d'offre pré- et post-campagnes, permet dans la plupart des cas d'éviter l'annulation du projet, mais ne permet pas de fournir les moyens suffisants pour financer les coûts consolidés relatifs aux traitements des données et aux analyses des échantillons, (le soutien post-campagne est typiquement inférieur à 10k€ par campagne). En 2016, l'INSU a contribué à ce dispositif de fonds de soutien, en y reversant les sommes affectées initialement aux appels d'offre pré- et post-campagnes. Les laboratoires sont obligés de co-financer des aspects de logistique de campagne, et en absence de financements pour la science post campagne, les données et échantillons ne sont que trop partiellement exploités. Les formats des appels d'offre ANR ou européens ne sont pas adaptés en raison du non-phasing avec le calendrier d'évaluation et de programmation des campagnes à la mer, alors que le calendrier de l'évaluation a été avancé pour être en phase avec les demandes ANR. Par ailleurs il n'y a pas de financements intermédiaires entre les projets ANR et les projets INSU, et surtout la chronologie est quasi impossible à bâtir entre les CNFs et ces autres sources de financements éventuels. Il n'y a donc pas de cohérence entre le choix de programmer la campagne et la mise à disposition des moyens pour l'exploiter et la valoriser. Par exemple, les appels d'offre pour le Royaume Uni, les Etats-Unis et l'Allemagne financent l'intégralité du projet, c'est à dire jours de bateau et engins, logistique, science post-campagne ainsi que le personnel (doctorants, post-docs, ingénieurs) et à long terme (projets de ~ 4 ans).

Pour répondre à ce problème, la communauté consultée souhaite que le budget lié aux campagnes soit individualisé au sein d'un guichet unique de la FOF à travers des accords avec l'ANR et les organismes, permettant une exploitation poussée des données et des échantillons acquis lors des campagnes. L'idéal, qui reproduirait le fonctionnement de nos principaux partenaires internationaux (ex.: UK, Allemagne), serait un guichet unique comprenant une ou des commissions habilitées à évaluer les projets dans leur intégralité et ce pour toutes les disciplines

utilisatrices de la flotte. La nouvelle structure FOF pourrait être mandatée et mettre en place de telles commissions, pour l'évaluation et le financement complet des projets, incluant post docs et contrats (avis favorable sur la qualité de la recherche → programmation → financement pré-campagne → financement post-campagne).

Le financement de certaines campagnes en mer soulève également la question de l'articulation fonds publics-fonds privés. Ces projets financés par des fonds privés sont par exemple le projet Pamela-Total (pour lequel l'INSU et des représentants des universités participent au COPIL) menés dans le cadre strict du contrat d'objectif de l'Ifremer et les projets de prestation utilisant le grand carottage du Marion Dufresne menés par l'IPEV. Les projets liés à l'exploration des ressources minérales des grands fonds et aux études de biodiversité qui s'y greffent sont quant à eux menés sous pilotage interministériel en appui à la politique publique sur fonds propres institutionnels et communiqués pour information aux commissions d'évaluation.

2.6 Les besoins en soutien humain

2.6.1 *Besoin de personnel dédié*

Le manque de personnel IT est criant dans la plupart des disciplines et des laboratoires (CNRS, IRD, Universités...) du fait des politiques de recrutement propres à chaque institut. Dans le contexte actuel de pénurie, il faut s'organiser de la façon la plus pragmatique possible. En particulier, nous pensons qu'une meilleure articulation entre les laboratoires et les services techniques est souhaitable. Par exemple, dans le cas de projets d'instrumentations ou de certaines campagnes très techniques, comme les campagnes de maintenance d'observatoires, la mise en ligne d'un AUV 6000 m, couplée à HOV Nautil et ROV VICTOR, nécessite une expertise spécifique pour le traitement des données micro-bathymétriques et d'imagerie, et donc un personnel dédié à ces tâches afin d'optimiser l'exploitation scientifique des données.

Les campagnes purement dédiées aux observatoires ne nécessitent en général pas un nombre de personnel embarqué important, **mais obligatoirement qualifié**, et dans sa grande majorité permanent, pour assurer la pérennité et la qualité de l'acquisition des données. Les équipements embarqués classiques sont généralement suffisants, mais il peut y avoir des demandes particulières en moyens de levage notamment pour assurer la maintenance de mouillages ou de sites instrumentés profonds.

Cependant, la montée en pression des services d'observation (SO) souffrira rapidement du manque de postes CNAP, dont les titulaires ont pour mission principale de coordonner, animer les services d'observation et leur exploitation scientifique.

En outre, devant le flux de données toujours grandissant lié au déploiement de nouveaux outils (par exemple généralisation des FerryBox) et la multiplication des possibilités d'acquisition des données (par exemple en valorisant systématiquement les transits entre les campagnes) nous soulignons également l'importance d'augmenter en adéquation les moyens humains pour gérer, mettre en œuvre et superviser la collecte des données ainsi que réaliser les premiers traitements de données (dans une approche qualité).

Les objectifs d'archivage/stockage/mise à disposition de données nécessitent aussi un personnel dédié, afin d'assurer que les données acquises lors de campagnes océanographiques soient dans le domaine public après les périodes de moratorium. Il en est de même pour le stockage/archivage/accès des échantillons de roches, carottes, fluides, organismes, après bien sur les périodes de moratorium.

Enfin, le passage systématique des campagnes halieutiques à une approche écosystémique, notamment pour répondre aux besoins de la DCSMM, nécessitera une refonte de l'organisation du travail à bord pour certains opérateurs afin d'accroître la flexibilité des horaires de travail, notamment de nuit.

2.6.2 *Besoin de l'identification d'une personne qui fasse fonction d'interface avec le chef de mission, à terre comme en mer*

En ce qui concerne l'organisation des campagnes, la communauté des utilisateurs est unanime pour souligner qu'il est indispensable d'avoir une personne embarquant présente dès les réunions de préparation des campagnes pour (1) faciliter la transmission des informations techniques, logistiques etc ..., (2) assurer une continuité entre la préparation et la réalisation des opérations à bord et (3) assurer une interface efficace entre le chef de mission et le personnel technique à terre comme à bord. Il s'agit bien d'un besoin d'une fonction, pas d'une personne en plus.

Une telle fonction permettrait d'anticiper et pallier à de nombreux potentiels problèmes logistiques (d'acheminement de matériel, dédouanage etc...), administratifs (missions, demande d'autorisation de travaux), ou techniques (utilisation des équipements du bord).

Une telle organisation est mise en œuvre depuis de nombreuses années sur le *Marion Dufresne* et est plébiscitée par les utilisateurs.

2.6.3 *Besoin d'un service de logistique au sein de la flotte*

Au sein des parcs comme dans la communauté des utilisateurs, les compétences n'existent pas actuellement pour gérer efficacement des questions douanières, des transports de produits dangereux... même en relation avec des prestataires privés ou via ULISSE. Le temps consacré à ces tâches l'est au détriment d'autres tâches de fond prioritaires que sont la maintenance et la préparation du matériel pour les campagnes.

Le repositionnement des activités de logistique au sein de la flotte permettrait de créer un véritable service spécialisé. Ce service assurerait (financement ET réalisation) la logistique de l'opérateur mais aussi des équipes scientifiques et des équipements issus des parcs instrumentaux mobilisés pour une mission.

Ce thème rejoint également la question des compétences nécessaires puisque les services dédiés à la logistique au sein de l'IPEV n'intégreront pas la flotte.

2.6.4 *Besoin d'une cellule juridique au sein de la flotte*

Le montage de projets multi-partenaires à la mer comporte beaucoup d'aspects juridiques (autorisations de travailler dans les eaux étrangères mais aussi françaises, mise en place des protocoles de Nagoya, établissement de contrats multi-partenaires fixant les droits et les devoirs de chacun...).

Le durcissement des règles environnementales liées à la préservation des milieux marins et l'augmentation du nombre des zones marines protégées qui en résulte entraînent des changements et des délais importants dans les procédures de demandes d'autorisations de travaux, non seulement dans les eaux étrangères mais également dans les eaux françaises.

Pour assurer une réponse efficace, une cellule dédiée devrait être mise en place au sein de la FOF afin de mettre en place et suivre les dossiers ; le chef de mission n'intervenant que pour les questions relevant de la nature des travaux de recherche qui seront entrepris. Faute de cela, de nombreuses régions pourraient devenir ou demeurer pratiquement inaccessibles pour les équipes françaises.

2.6.5 *Besoin d'une harmonisation de l'accès aux parcs instrumentaux*

Pour les parcs instrumentaux, à ce stade, la restructuration de la flotte n'est pas de nature à faire évoluer leurs rôles et places par rapport à l'organisation actuelle. Néanmoins, tous les équipements de ces parcs sont destinés à être embarqués sur les navires de la FOF et sont donc concernés, de facto, par la réorganisation de la FOF. En conséquence, pour faciliter la mise à disposition des équipements pour les utilisateurs de la FOF, il est souhaitable d'avoir une seule interface commune à l'ensemble des parcs instrumentaux ce qui permettra de visualiser l'ensemble des différents matériels et instruments disponibles pour la communauté.

In fine, il est recommandé d'augmenter la mutualisation des moyens techniques, voire d'envisager un rapprochement de certains parcs nationaux (comme les sismomètres de fond de mer OBS). Par exemple, une réflexion est engagée pour intégrer le matériel mobile de l'IPEV destiné au carottage (banc de découpe, banc d'analyse etc...) dans un parc instrumental disponible à l'ensemble des utilisateurs de la FOF. Une réflexion est également en cours sur l'élargissement des missions et des compétences « carottage sédimentaire long » de la cellule existante « océan » du C2FN, Centre de Carottage et de Forage National (c2fn.dt.insu.cnrs.fr).

Une telle réorganisation demande un renforcement des moyens humains pour harmoniser le fonctionnement de ces parcs : pour mettre en place une interface commune, pour assurer le développement, l'adaptation et la maintenance des équipements destinés aux navires côtiers et hauturiers, ainsi que leur mise en œuvre en mer sur les campagnes hauturières.

Il convient donc également de renforcer les compétences multidisciplinaires des services en charges de ces parcs. Par exemple, dans les parcs actuels, les compétences pour gérer du matériel de chimie font défaut. Si ce type de matériel doit à l'avenir être géré en parc plus que dans les labos il faudrait donc trouver les compétences correspondantes.

En outre, cette réorganisation des parcs simplifiera la collaboration internationale en facilitant l'emprunt et le prêt de matériel pour les utilisateurs.

2.7 Les attentes du personnel IT

La réorganisation de la FOF va impacter l'ensemble du personnel naviguant et des services techniques de l'IFREMER, du CNRS et de l'IRD. S'il n'y a pas d'inquiétude majeure sur le devenir des agents au sein des services actuels de l'IFREMER concernés par la réorganisation de la FOF, il faut tout de même souligner que ces services sont dimensionnés aux besoins actuels de la flotte opérée par GENAVIR et que ces agents soulignent qu'ils ne pourront pas répondre à eux seuls à la surcharge de travail qui résultera de l'intégration de nouveaux navires dans la FOF. Les agents de l'IPEV et ceux du CNRS affectés à l'IPEV, à la DT-INSU et à son armement sont particulièrement concernés par la réorganisation de la FOF. Celle-ci suscite un questionnement général sur l'avenir de ces personnels autant en termes de carrière (statut, salaire, prime, récupération, avancement...) que sur leurs places, rôles et fonctions à venir au sein de la nouvelle structure. Les organismes de rattachement des agents concernés par cette restructuration devront faire en sorte que la nouvelle gouvernance propose rapidement un projet de reclassement des personnels, réponde aux questions sur l'organisation du travail et facilite l'intégration des agents des différents organismes.

2.7.1 *L'urgence de la réorganisation*

Le comité prospectif souligne l'importance et l'urgence de définir la nouvelle organisation des services, les besoins en personnel, les tâches à remplir (fiches fonctions), afin que chaque agent puisse intégrer la nouvelle structure en connaissance de cause **et que les utilisateurs**

identifient leurs interlocuteurs. Le comité a aussi perçu qu'en l'absence de perspectives d'avenir, les personnels avec lesquels les chercheurs interagissent étroitement lors des montages et réalisations de campagnes risquent d'être fortement démotivés, ce qui inquiète fortement les scientifiques. Certains agents ont d'ores et déjà exprimé le vœu de changer d'affectation. De graves dysfonctionnements pourraient résulter de trop nombreux départs.

En ce qui concerne les opérations en mer, la nécessité d'avoir une vision claire des tâches à réaliser à bord, de leur répartition et des conditions de travail est un élément très important pour continuer à trouver des embarquant motivés au niveau des fonctions support. Ce point est d'autant plus vrai à l'échelle des agents CNRS qui embarquent sur la base du volontariat et qui ont du mal à faire reconnaître la partie opérationnelle de leurs activités dans leur déroulement de carrière.

2.7.2 Pour une utilisation des compétences de l'ensemble des personnels de la FOF

De manière générale, il convient d'analyser le fonctionnement de tous les services actuels - quel que soit leur organisme de rattachement - et d'y identifier toutes les compétences pour en tirer parti et optimiser l'organisation et la réalisation des campagnes à la mer.

Par exemple, si dans un souci d'homogénéisation des activités il est probable que l'IFREMER souhaitera installer ses propres logiciels d'acquisition de données, de navigation etc ... à bord des navires du CNRS et du Marion Dufresne, il conviendra également d'analyser les logiciels existants à bord de ces navires et d'identifier ceux qui pourraient être conservés, intégrés, maintenus et développés dans le système IFREMER. En effet, certains de ces logiciels, qui ont le mérite d'être simples, efficaces et robustes, ont donné entière satisfaction à la communauté des utilisateurs.

2.8 L'archivage et la mise à disposition des données et échantillons

Cette préoccupation n'est pas directement du ressort de la prospective FOF, mais elle est intrinsèquement liée aux campagnes en mer et il est légitime de l'aborder dans ce document et de lister quelques recommandations majeures.

On peut d'abord rappeler qu'il existe un catalogue en ligne, maintenu par le SISMER, des campagnes de l'ensemble des missions françaises, qu'un DOI est systématiquement attribué aux campagnes de la FOF. Par ailleurs, l'ensemble des données navires et engins Ifremer est bancarisé dans une structure unique (maintenue par le Sismer). Dans l'avenir, il est souhaitable que les données des autres navires de la FOF suivent le même chemin. Le processus est enclenché pour les navires de l'IRD.

La communauté plébiscite la mise en place de la dématérialisation des dossiers associés aux campagnes en mer (saisie, évaluation, attribution *doi*...) et le travail entrepris par la BLP, l'INIST et l'IRD pour un suivi des références bibliographiques relatives à l'activité de la FOF, travail dont le fruit est illustré en 1.3. Les recommandations portent aujourd'hui sur une amélioration des lieux de stockage et archivages des échantillons marins en particulier pour les carottes sédimentaires collectées pendant les campagnes océanographiques. Ils ont une immense valeur, compte tenu du coût très élevé de leur acquisition ; de ce fait leur stockage, archivage, recensement, visibilité et accessibilité doivent être améliorés pour être à la disposition de l'ensemble de la communauté. L'état des lieux sur cette question est détaillé en Annexe 9.

Plusieurs propositions reviennent systématiquement :

- Un portail unique web interrogeable regroupant toutes les métadonnées accessibles par toute la communauté scientifique nationale, toute tutelle confondue (cf. Cybercarothèque

initiée par l'Equipex CLIMCOR, site Web BDD Bigood, site Web MNHN, SEANOE d'Ifremer).

- La mise en place d'un moratoire (2 ans prolongeable à 4 ans) durant lesquels l'accès est réservé aux participants à la campagne et à leurs collaborateurs, avant ouverture et accessibilité à la communauté scientifique. La mise en ligne (avec accès protégé) doit être réalisée dans les meilleurs délais après chaque campagne afin de permettre une mise à disposition publique automatique à la fin de la période de moratoire.
- Une amélioration des lieux de stockage et archivages des échantillons marins en particulier pour les carottes sédimentaires collectées pendant les campagnes océanographiques. Ils ont une immense valeur, compte tenu du coût très élevé de leur acquisition ; de ce fait leur stockage, archivage, recensement, visibilité et accessibilité doivent être améliorés pour être à la disposition de l'ensemble de la communauté.
- La mise en ligne des rapports de campagne complets, y compris rétroactivement.
- La contrainte de lier la programmation de campagnes et leur financement au respect de la mise à disposition des données, même rétroactivement.

3. Références Citées

- Andreani, M., Escartin, J., Delacour, A., Ildefonse, B., Godard, M., Dymont, J., Fallick, A.E., Fouquet, Y., 2014. Tectonic structure, lithology, and hydrothermal signature of the Rainbow massif (Mid-Atlantic Ridge 36°14'N), *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 15, 3543–3571, doi:10.1002/2014GC005269.
- Babonneau, N., Cattaneo, A., Ratzov, G., Déverchère, J., Yelles-Chaouche, A., Lateb, T., Si Bachir, R., 2016. Turbidite chronostratigraphy off Algiers, central Algerian margin: A key for reconstructing Holocene paleoearthquake cycles. *Marine Geology. Special issue*, doi:10.1016/j.margeo.2016.10.017
- Cannat, M., Sauter, D., Escartín, J., Lavier, L., Picazo, S., 2009. Oceanic corrugated surfaces and the strength of the axial lithosphere at slow spreading ridges. *Earth Planet. Sci. Lett.* 288, 174–183.
- Chaalali A., Beaugrand G., Boët P., Sautour B., 2013. Climate-Caused Abrupt Shifts in a European Macrotidal Estuary. *Estuaries and Coasts*, 36 (6), 1193-1205. doi:10.1007/s12237-013-9628-x
- Da-Allada, C.Y., du Penhoat, Y., Jouanno, J. et al. 2014. Modeled mixed-layer salinity balance in the Gulf of Guinea: seasonal and interannual variability. *Ocean Dynamics*, 64: 1783. doi:10.1007/s10236-014-0775-9
- Da-Allada, Y.C., Alory, G., du Penhoat, Y., Kestenare, E., Durand, F., Hounkonnou, N.M., 2013. Seasonal mixed-layer salinity balance in the Tropical Atlantic Ocean: mean state and seasonal cycle. *J Geophys Res Oceans* 118(1):332–345. doi:[10.1029/2012JC008357](https://doi.org/10.1029/2012JC008357)
- Driussi, O., Maillard, A., Ochoa, D., Lofi, J., Chanier, F., Gaullier, V., Briaes, A., Sage, F., Sierro, F., Garcia, M., 2015.
- Messinian Salinity Crisis deposits widespread over the Balearic Promontory : insight from new high-resolution seismic data, *Marine and Petroleum Geology*, 66, 41-54
- Escartín, J., Mével, C., Petersen, S., Bonnemaïn, D., Cannat, M., Andreani, M., Augustin, N., Bezos, A., Chavagnac, V., Choi, Y., Godard, M., Haaga, K., Hamelin, C., Ildefonse, B., Jamieson, J., John, B., Leleu, T., MacLeod, C.J., Massot-Campos, M., Nomikou, P., Olive, J.A., Paquet, M., Rommevaux, C., Rothenbeck, M., Steinfuhrer, A., Tominaga, M., Triebe, L., Campos, R., Gracias, N., Garcia, R., 2017. Tectonic structure, evolution, and the nature of oceanic core complexes and their detachment fault zones (13°20'N and 13°30'N, Mid Atlantic Ridge), G-cubed, in press, doi 10.1002/2016GC006775, 2017.
- Escartín, J., Leclerc, F., Olive, J., Mével, C., Cannat, M., Petersen, S., Augustin, N., Feuillet, N., Deplus, C., Bezos, A., Bonnemaïn, D., Chavagnac, V., Choi, Y., Godard, M., Haaga, K.A., Hamelin, C., Ildefonse, B., Jamieson, J.W., John, B.E., Leleu, T., Macleod, C.J., Massot-campos, M., Nomikou, P., Paquet, M., Rommevaux-jestin, C., Rothenbeck, M., Steinführer, A., Tominaga, M., Triebe, L., Campos, R., Gracias, N., Garcia, R., Andreani, M., Vilaseca, G., 2016. First direct observation of coseismic slip and seafloor rupture along a submarine normal fault and implications for fault slip history. *Earth Planet. Sci. Lett.* 450, 96–107, doi: 10.1016/j.epsl.2016.06.024, 2016.
- Goberville, E., Beaugrand, G., Sautour, B., Tréguer, P., SOMLIT Team, 2010. Climate-driven changes in coastal marine systems of Western Europe. *Marine Ecology Progress Series* 408, 129–147. doi : <https://doi.org/10.3354/meps08564>
- Gottschalk J., Vázquez Riveiros N., Waelbroeck C., Skinner L.C., Michel E., Duplessy J.-C., Hodell D., Mackensen A., 2016. Carbon isotope offsets between benthic foraminifer species of the genus *Cibicides* (*Cibicidoides*) in the glacial sub-Antarctic Atlantic. *Paleoceanography*, **31**(12), 1583-1602, doi:10.1002/2016PA003029
- Landschützer P., Gruber N., Haumann F.A., Rödenbeck C., Bakker D.C.E., Van Heuven S., Hoppema M., Metzl N., Sweeney C., Takahashi T., Tilbrook B., Wanninkhof R., 2015. The reinvigoration of the Southern Ocean carbon sink. *Science*: Vol. 349, Issue 6253, pp. 1221-1224 DOI: 10.1126/science.aab2620
- Leclerc, F., Feuillet, N., Deplus, C., 2016. Interactions between active faulting, volcanism, and sedimentary processes at an island arc: Insights from Les Saintes channel, Lesser Antilles arc. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, v. 17, no. 7, p. 2781-2802.
- Le Quéré et al., 2015. Global Carbon Budget 2015. *Earth Syst. Sci. Data*, 7, 349-396. doi:10.5194/essd-7-349-2015
- Leroy S., Razin, P., Autin, J., Bache, F., d'Acremont, E., Watremez, L., Robinet, J., Bellahsen, N., Lucazeau, F., Rolandone, F., Rouzo, S., Serra Kiel, J., Robin, C., Guillocheau, F., Tiberi, C., Basuyau, C., Beslier, M.A., Ebinger, C., Stuart, G., Ahmed, A., Khanbari, K., Al Ganad, I., de Clarens, P., Unternehr, P., Al Toubi, K., Al

- Lazki, A., 2011. From rifting to oceanic spreading in the Gulf of Aden: a synthesis. *Arab J Geosciences*, 5:859–901.
- Lienart C., N. Savoye, Y. Bozec, E. Breton, P. Conan, Va. David, E. Feunteun, K. Grangeré, P. Kerhervé, B. Lebreton, S. Lefebvre, S. L'Helguen, L. Mousseau, P. Raimbault, P. Richard, P. Riera, P.-G. Sauriau, G. Schaal, F. Aubert, S. Aubin, S. Bichon, C. Boinet, L. Bourrassseau, M. Bréret, J. Caparros, T. Cariou, K. Charlier, P. Claquin, V. Cornille, A.-M. Corre, L. Costes, O. Crispi, M. Crouvoisier, M. Czamanski, Y. Del Amo, H. Derriennic, F. Dindinaud, M. Durozier, V. Hanquiez, A. Nowaczyk, J. Devesa, S. Ferreira, M. Fournier, F. Garcia, N. Garcia, S. Geslin, E. Grossteffan, A. Gueux, J. Guillaudeau, G. Guillou, O. Joly, N. Lachaussée, M. Lafont, J. Lamoureux, E. Lecuyer, J.-P. Lehodey, D. Lemeille, C. Leroux, E. Macé, E. Maria, P. Pineau, F. Petit, M. Pujo-Pay, P. Rimelin-Maury, E. Sultan, 2017. Dynamics of particulate organic matter composition in coastal systems: a spatio-temporal study at multi-systems scale. In press. *Progress in Oceanography*.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2017.03.001>
- Magalhães, L., Freitas, R., Dairain, A., De Montaudouin, X., 2016. Can host density attenuate parasitism? *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-9. doi:10.1017/S0025315416001107
- Maia, M., Sichel, S., Briais, A., Brunelli, D., Ligi, M., Ferreira, N., Campos, T., Mougél, B., Brehme, I., Hémond, C., Motoki, A., Moura, D., Scalabrin, C., Pessanha, I., Alves, E., Ayres, A., Oliveira, P., 2016. Extreme mantle uplift and exhumation along a transpressive transform fault. *Nature Geoscience* doi:10.1038/ngeo2759.
- Pailler K., Bourlès B., Gouriou Y., 1999. The Barrier Layer in the Western Tropical Atlantic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 26: 2069-2072.
- Rouby D, Braun, J., Dauteuil, O., Deschamps, F., Robin, C., 2013. Vertical movement of passive margins: interactions between surface transfer, flexural isostasy and 3D thermal subsidence. *Tectonophysics*. 604, 83-103.
- Sauter, D., Cannat, M., Rouméjon, S., Andreani, M., Birot, D., Bronner, A., Brunelli, D., Carlut, J., Delacour, A., Guyader, V., MacLeod, C.J., Manatschal, G., Mendel, V., Ménez, B., Pasini, V., Ruellan, E., Searle, R., 2013. Continuous exhumation of mantle-derived rocks at the Southwest Indian Ridge for 11 million years. *Nature Geoscience* 6, 314–320 (2013) doi:10.1038/ngeo1771
- Singh, S.C., Hananto, N., Mukti, M., Robinson, D.P., Das, S., Chauhan, A., Carton, H., Gratacos, B., Midnet, S., Djajadiharja, Y., Harjono, H., 2011. Aseismic zone and earthquake segmentation associated with a deep subducted seamount in Sumatra. *Nature geoscience*, v. 4, p. 308–311, DOI: 10.1038/NNGEO1119.
- Singh, S.C., Hananto, N., Qin, Y., Leclerc, F., Avianto, P., Tapponnier, P.E., Carton, H., Wei, S., Nugroho, A.B., Gemilang, W.A., Sieh, K., Barbot, S., 2017. The discovery of a conjugate system of faults in the Wharton Basin intraplate deformation zone. *Science Advances*, v. 3, no. 1, p. e1601689, doi: 10.1126/sciadv.1601689.
- Szafranski K.M., Piquet B., Shillito B., Lallier F.H., Duperron S., 2015. Relative abundances of methane- and sulfur-oxidizing symbionts in gills of the deep-sea hydrothermal vent mussel *Bathymodiolus azoricus* under pressure. *Deep - Sea Res. I – Oceanogr. Res. Papers*, 101: 7-13. Doi : 10.1016/j.dsr.2015.03.003
- Testor P., Bosse, A., Houpert, L., Margirier, F., Mortier, L., Legoff, H., Dausse, D., Labaste, M., Karstensen, J., Hayes, D., Olita, A., Ribotti, A., Heslop, E., D'Ortenzio, F., Mayot, N., Lavigne, H., de Fommervault, O., Coppola, L., Prieur, L., Taillandier, V., Durrieu de Madron, X., Bourrin, F., Many, G., Damien, P., Estournel, C., Marsaleix, P., Taupier-Letage, I., Raimbault, P., Waldman, R., Bouin, M.N., Giordani, H., Caniaux, G., Somot, S., Ducrocq, V., Conan, P.,
- Van Beveren E., Bonhommeau S., Fromentin, J.M., Bigot J.L., Bourdeix J.H., Brosset P., Roos D., Saraux C. 2014. Rapid changes in growth, condition, size and age of small pelagic fish in the Mediterranean. *Marine Biology* 161: 1809-1822.
- Waelbroeck C., Skinner L.C., Labeyrie L., Duplessy J.-C., Michel E., Vazquez Riveiros N., Gherardi J.-M., Dewilde F., 2011. The timing of deglacial circulation changes in the Atlantic. *Paleoceanography*, DOI: 10.1029/2010PA002007