



Vers une meilleure gestion de la production halieutique par le biais de la modélisation écosystémique avancée du plancton

Baye Cheikh Mbaye, François Simard, Olivier Maury, André Abreu, Lars Stemmann

SEPTEMBRE 2021



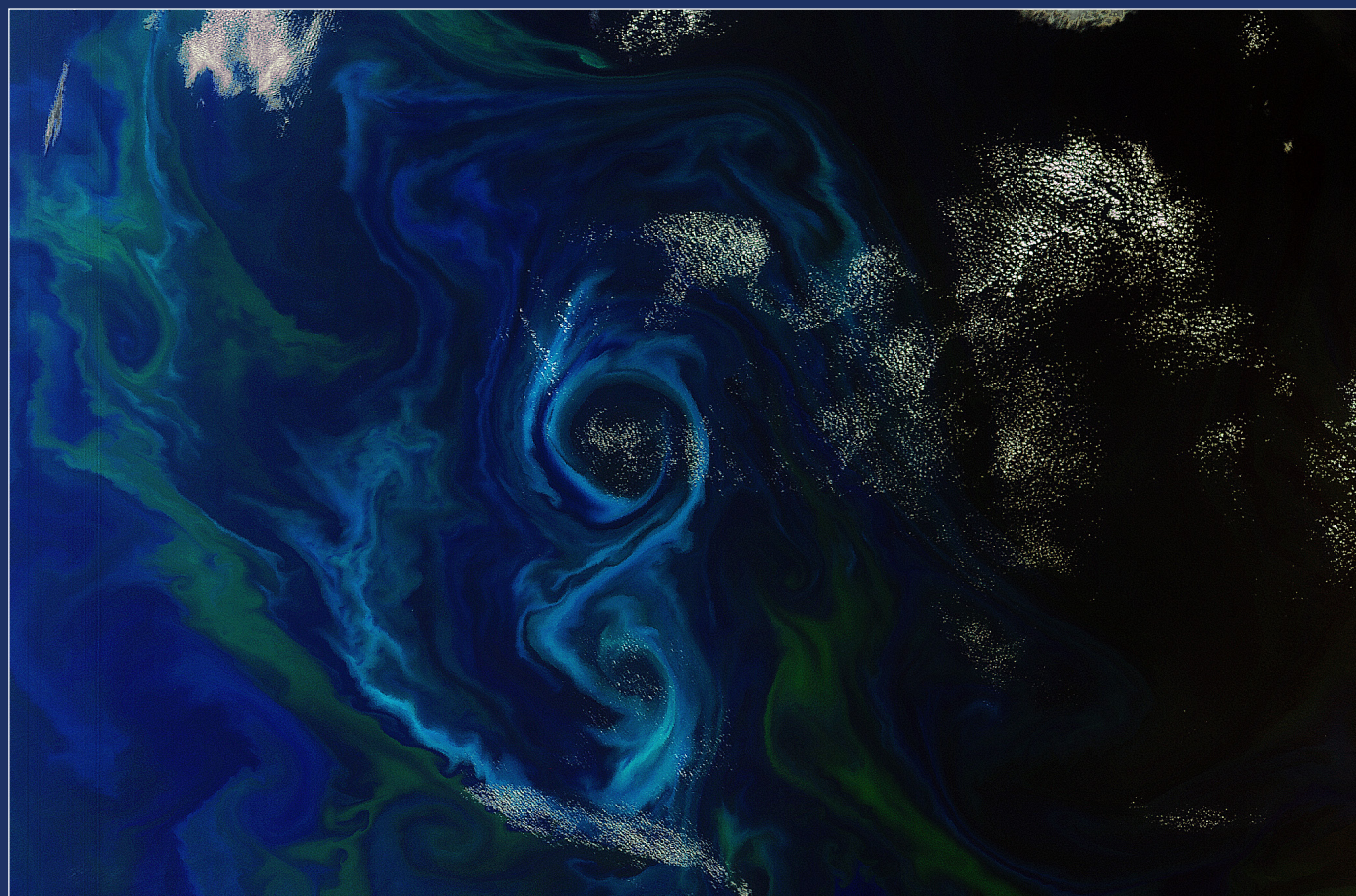
FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

Fondation
taraocéan
explorer et partager

Avant-propos

Avec la crise climatique actuelle, des impacts cumulatifs sur les écosystèmes marins et la pêche sont observés dans la plupart des régions océaniques. Acidification, hausse des températures, renforcement de la stratification et désoxygénation sont les principales menaces associées aux impacts anthropiques directs tels que la pollution et la surpêche.

Depuis la 20^e Conférence des Parties (COP20) de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) qui s'est tenue au Pérou en 2014, les experts nous mettent en garde sur les conséquences dramatiques du changement climatique sur certains stocks de poissons, avec un impact sévère pour les pays dépendant de la production halieutique, comme le Pérou, la Mauritanie ou le Sénégal. Au cours de la dernière décennie, de nombreuses études ont suggéré que les communautés planctoniques, allant des organismes unicellulaires, connus sous le nom de microbiome, jusqu'aux métazoaires, sont déjà affectées par les changements affectant leur habitat. Mais comment évaluer ces impacts climatiques sur la vie marine, depuis les minuscules créatures jusqu'aux poissons? Le couplage de modèles écosystémiques marins réalistes, validés par les données d'observation, avec des scénarios climatiques issus des modèles du système terrestre permet de prévoir les trajectoires des écosystèmes. Cependant, la faible disponibilité des données sur le plancton et des connaissances sur les interactions trophiques tout au long de la chaîne alimentaire rend difficile la prévision des changements affectant les poissons. Le présent document se base sur les avancées récentes en microscopie, en génomique, en bio-informatique et sur les outils de modélisation développés au cours de la dernière décennie par la communauté scientifique au sein de laquelle le consortium Tara Oceans joue un rôle important. Nous proposons ici que l'ajout de nouvelles observations et connaissances tenant compte du spectre de taille des communautés planctoniques permettrait de développer des modèles écosystémiques susceptibles d'être intégrés avec succès à la modélisation des stocks halieutiques. Un tel développement contribuera à mieux informer les décideurs en matière de gestion des pêches.



- 1 • La dépendance de la production halieutique vis-à-vis du plancton
- 2 • Inclure le plancton dans la gestion des pêches au moyen de la modélisation écosystémique
- 3 • Les opportunités et défis de l'observation soutenue du plancton
- 4 • Les moyens de mettre en oeuvre des modèles écosystémiques de bout en bout pour la gestion des pêches



© Christian Sardet & les Macronautes - Chroniques du Plancton

Direction éditoriale et coordination

Romy HENTINGER / Responsable projet plaidoyer et coopération internationale / Fondation Tara Océan

Rédaction

Baye CHEIKH MBAYE / Post-doctorant Sorbonne université / Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (LOV) / Institut de recherche pour le développement (IRD) / Unité mixte de recherche Biodiversité marine, exploitation et conservation (MARBEC)

François SIMARD / Consultant indépendant / Ancien directeur adjoint du programme global marin et polaire de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN)

Olivier MAURY / Directeur de recherche / Unité mixte de recherche Biodiversité marine, exploitation et conservation (MARBEC) / Institut de recherche pour le développement (IRD) / Université de Montpellier / Centre national de la recherche scientifique (CNRS) / Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER)

André ABREU / Directeur des politiques internationales / Fondation Tara Océan

Lars STEMMANN / Professeur à Sorbonne université / Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (LOV)

Traduction

Delphine SIRET / Traductrice indépendante

Coordination éditoriale, direction artistique et mise en pages

Bruno MARIE / insularis@me.com

Photographie de couverture: © GettyImages - 519510629 - GuidoMontaldo

Introduction

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), les poissons constituent au moins 20 % de l'apport quotidien en protéines animales pour plus de 3,3 milliards de personnes dans le monde. Les stocks halieutiques fournissent une part importante des produits de la mer et sont particulièrement importants pour les populations les plus démunies. Dans de nombreux pays en développement, le poisson constitue une source importante de nourriture, ainsi qu'un revenu pour financer les activités des gouvernements nationaux et importer des aliments pour la consommation intérieure. En conséquence, il contribue grandement à la sécurité alimentaire nationale, à la diversification des régimes alimentaires et à la croissance du commerce dans les pays en développement. Alors que la population mondiale continue d'augmenter, la pression sur cette précieuse ressource naturelle s'intensifie et de nombreuses zones de pêches sont surexploitées. Le problème résulte de la surpêche et parfois de l'utilisation d'engins et de méthodes de pêche endommageant les habitats naturels. En 2020, la FAO a indiqué que la consommation mondiale de produits de la mer a augmenté de 122 % au cours des 30 dernières années et que plus d'un tiers des stocks mondiaux de poissons sont désormais pêchés au-delà des limites durables, avec une tendance vers une détérioration sensible dans le futur. Cela met en évidence la nécessité de prendre des mesures pour mettre en œuvre une gestion efficace des pêches et empêcher l'épuisement total des stocks. La gestion des pêches comprend l'ensemble des méthodes utilisées pour gérer la pêche des espèces commercialisées. Elle s'applique à de nombreuses espèces de poissons vivant dans différents écosystèmes, et vise à garantir que les populations de poissons

© Wirestock - ID 200568314 - Dreamstime.com - Vieilles cordes et filets de pêche sous la lumière du soleil



© Krill - Maéva Bardy - Fondation Tara Océan

et d'invertébrés soutenant ces pêches restent productives et durables. Depuis le milieu des années 1990, suite à l'adoption de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (CNUDM), des efforts nationaux et internationaux ont été initiés pour soutenir et reconstruire le secteur de la pêche marine et accroître sa contribution à la sécurité alimentaire mondiale. Ces mesures de gestion des pêches se sont principalement concentrées sur les modèles classiques d'évaluation des stocks d'une seule espèce. De plus, cette approche considère souvent la variabilité environnementale comme un « bruit de fond ». L'hypothèse de base est que la biomasse des stocks de poissons dépend principalement de la mortalité par pêche. Bien qu'il soit indéniable que la récolte affecte l'abondance, le recrutement des poissons dépend souvent très peu de l'abondance des stocks de poissons, mais peut être largement déterminé par des régimes environnementaux périodiques. Parmi ceux-ci, on compte un large éventail de facteurs physiques et écologiques tels que les changements de température, l'enrichissement en nutriments et la variabilité des proies ou du plancton. La fluctuation de la biomasse planctonique ou de la taille des individus, par exemple, a un impact significatif, à court et à long terme, sur la condition, la croissance et le recrutement des poissons. Parmi les facteurs environnementaux affectant l'abondance de poissons, ce document se concentre sur le plancton et vise à :

- 1) examiner pourquoi le plancton est important pour la gestion des pêches,
- 2) évaluer les modèles existants présentant des approches adaptées aux modèles écosystémiques planctoniques,
- 3) proposer des modèles et des moyens d'observation de la répartition des tailles du plancton pouvant être utilisés pour développer des modèles permettant de mettre en place une gestion écosystémique des pêches, et
- 4) informer les scientifiques et les décideurs sur ces modèles et proposer des modalités de mise en œuvre au niveau institutionnel.

Plancton et microbiomes

« Plancton » vient du grec *planktós*, qui signifie « errant ». Un organisme est considéré comme planctonique s'il est transporté par les marées et les courants et ne nage pas suffisamment bien pour se déplacer contre ces forces. Certaines espèces dérivent ainsi pendant tout leur cycle biologique. D'autres sont seulement classées comme plancton lors de leur phase juvénile, mais deviennent ensuite suffisamment grosses pour échapper aux courants. Le plancton est généralement microscopique (mesurant souvent moins de quelques centimètres de longueur), mais ce groupe comprend également des espèces plus grandes comme certains crustacés (p. ex. le krill) et méduses. Les scientifiques classent le plancton de plusieurs manières, notamment par

taille, type et durée de dérive. Les catégories les plus élémentaires divisent le plancton en deux groupes : le phytoplancton (plantes) et le zooplancton (animaux) (<https://oceanservice.noaa.gov/facts/plankton.html>). Au sein du plancton, les micro-organismes unicellulaires jouent un rôle essentiel dans l'écosystème océanique, représentant plus des deux tiers de la biomasse océanique. Ils sont à la base de la chaîne alimentaire marine complexe qui alimente une grande partie de l'humanité. L'efficacité du transfert, depuis les minuscules organismes jusqu'aux poissons, dépend de la structure des communautés de consommateurs (herbivores et carnivores planctoniques) qui servent, à leur tour, de nourriture aux poissons.

1

La dépendance de la production halieutique vis-à-vis du plancton

Le plancton constitue la base des réseaux trophiques marins soutenant la plupart des communautés de poissons pêchées. Les plus petits individus planctoniques sont les bactéries et les protistes, mesurant de quelques microns à quelques centaines de microns (1-200 μm). Formant un ensemble appelé microbiome, ces micro-organismes sont le premier élément constitutif de la biomasse. Les organismes hétérotrophes plus grands (de 20 μm à 20 mm), principalement composés de métazoaires sont, quant à eux, essentiels au transfert de biomasse vers les communautés de poissons. La production halieutique est plus élevée dans les régions à forte productivité planctonique, notamment les zones de remontée d'eau (p. ex. les systèmes d'upwelling de bord Est), les fronts et les mers épicontinentales riches en nutriments. En tant que proie des larves et des poissons juvéniles, le plancton joue un rôle essentiel dans les processus de recrutement en augmentant

le taux de survie de ces prédateurs, ce qui a des effets majeurs sur les stocks de poissons adultes. D'importants efforts ont été faits pour estimer le potentiel de rendement des pêches sur la base de la production primaire planctonique. De nombreuses études font état de relations directes entre la production primaire planctonique, estimée à partir de la concentration de chlorophylle-a, et les débarquements de pêches totaux au sein de régions ou de sous-ensembles de systèmes (Marshak et Link 2021). Ceci perpétuant l'utilisation de la production primaire planctonique comme indicateur des prises halieutiques et moteur des projections de captures, malgré des études fournissant de solides preuves contraires à l'échelle mondiale (Stock et al. 2017). Ce désaccord persiste même avec des études plus récentes utilisant des données sur les captures mondiales de poissons provenant de tous les grands écosystèmes marins (GME).

Grands écosystèmes marins

Les grands écosystèmes marins (GEM) sont de vastes étendues d'espace océanique le long des marges continentales, couvrant approximativement 200 000 kilomètres carrés et s'étendant depuis les estuaires et les bassins fluviaux jusqu'aux marges extérieures des grands courants ou aux limites des plateaux continentaux. Ce sont les zones océaniques les plus productives au monde, au sein desquelles la majeure partie (environ 90 %) des prises mondiales de poissons sont effectuées. Les GEM abritent également des niveaux élevés de

biodiversité et fournissent d'importants services écosystémiques. Au total, les océans côtiers du monde sont divisés en 66 GEM, chacun défini par une topographie sous-marine, une dynamique de courants, une productivité marine et des interactions de la chaîne alimentaire uniques. Collectivement, les GEM fournissent des services directs estimés à près de 3000 milliards de dollars américains chaque année. Cependant, leur constante dégradation menace la santé humaine, la sécurité alimentaire et le développement économique.

Bien qu'il ait été largement démontré que les débarquements de pêche sont généralement dérivés de la production primaire planctonique, Marshak et Link (2021) ont observé des exceptions dans des régions connues pour leur grande activité de pêche. Le courant de Humboldt, par exemple, montre des débarquements élevés de poissons dans un système d'upwelling présentant une productivité primaire planctonique moyenne. Dans les deux études susmentionnées, les auteurs ont souligné le rôle d'autres facteurs contribuant à la productivité primaire planctonique tels que la boucle microbienne et les liens trophiques susceptibles

d'affecter significativement la relation production primaire planctonique-prise de poisson. Pour prendre en compte les variations de la structure du réseau trophique marin et renforcer la relation plancton-pêche, il est possible de considérer le plancton dans la chaîne trophique des modèles écosystémiques, ce qui permettrait à terme de résoudre ce désaccord. Le phytoplancton a toujours été mieux représenté que le zooplancton dans ces modélisations du réseau trophique planctonique. Cela empêche une meilleure compréhension du rôle du zooplancton dans le fonctionnement des écosystèmes lorsque l'accent est mis sur des niveaux

trophiques plus élevés. Or, le zooplancton est essentiel dans la transmission d'énergie entre les producteurs primaires et les niveaux trophiques supérieurs tels que les poissons. Il détermine la manière dont l'énergie issue de la production primaire circule au sein des écosystèmes marins suivant un réseau trophique microbien lorsque les nutriments sont rares, ou suivant une chaîne alimentaire classique lorsque des conditions riches en nutriments se développent. Ainsi, les moyens selon lesquels le zooplancton transfère matière et énergie vers les niveaux trophiques supérieurs déterminent non seulement les rendements potentiels, mais aussi leur stabilité et durabilité. De plus, le zooplancton est un contributeur substantiel à l'exportation des flux de carbone depuis la couche supérieure de l'Océan vers les profondeurs,

ce qui peut fortement influencer le transfert trophique au sein des écosystèmes et contrôler la production halieutique benthique et démersale. Malgré leur importance dans le fonctionnement des écosystèmes marins, les connaissances actuelles sur le rôle écologique des communautés zooplanc-toniques sont encore limitées comparativement à celles concernant le phytoplancton du fait de contraintes logistiques et des difficultés d'échantillonnage, notamment à de grandes profondeurs. La combinaison des données d'observation avec les avancées récentes dans le domaine de la modélisation représentant les flux d'énergie à travers le réseau trophique planctonique pourrait être une bonne approche pour élucider les différences de prise de poissons entre les systèmes.

Gestion des pêches

Stock: fraction exploitée d'une population de poissons. L'utilisation du terme « stock de poissons » implique généralement qu'une population particulière est plus ou moins isolée sur le plan de la reproduction des autres stocks de la même espèce et est donc autosuffisante.

Mortalité: terme technique faisant référence à la proportion du stock de poissons prélevée lors des activités de pêche par unité de temps (p. ex., un taux de mortalité par pêche de 0,2 signifie qu'environ 20 % de la population moyenne sera pêchée en un an). La mortalité par pêche peut être traduite en un

taux d'exploitation annuel, exprimé en pourcentage, à l'aide d'une formule mathématique.

Recrutement: dans le secteur de la pêche, le recrutement fait référence à la quantité de poissons entrant dans le stock chaque année. Ces poissons doivent passer par un certain nombre de stades du cycle biologique (p. ex. œuf, larve, juvénile, etc.) au cours desquels ils sont très sensibles aux changements survenant au sein du plancton, avant de devenir accessibles aux engins de pêche (<https://fishionary.fisheries.org/>).



2

Inclure le plancton dans la gestion

des pêches au moyen de la modélisation écosystémique

Les modèles écosystémiques marins, qualifiés de niveau trophique inférieur (Low Trophic Level, LTL), utilisent des structures de base très différentes pour représenter le réseau trophique planctonique et les liens entre eux. Les composants de l'écosystème peuvent être représentés par des classes de taille, des groupes fonctionnels, des niveaux trophiques, des groupes d'espèces et des stades du cycle biologique, tandis que les liens peuvent être représentés par des réseaux alimentaires (« qui mange qui »), la composition du régime alimentaire ou le transfert d'énergie. L'énergie issue du réseau trophique planctonique, estimée à partir de modèles écosystémiques représentant le type fonctionnel du phytoplancton et du zooplancton, combinée aux données mondiales sur les prises de poissons et l'effort de pêche, peut permettre de réconcilier les différences de capture interrégionales (Stock et al., 2017). Ces auteurs ont montré qu'une fraction de la

variation des prises maximales à travers les écosystèmes répartis sur l'ensemble du globe peut s'expliquer par des considérations relatives au réseau trophique planctonique et au transfert trophique. En alternative ou en complément de la modélisation des principaux groupes fonctionnels planctoniques, la modélisation d'organismes basée sur des caractéristiques du cycle biologique telles que la taille, offre de nouvelles possibilités pour mieux représenter le phytoplancton et le zooplancton. Les modèles basés sur la taille reposent sur des observations empiriques selon lesquelles les processus individuels et communautaires tels que la croissance, la respiration, les relations prédateur-proie et la position trophique évoluent tous avec la taille corporelle.

Depuis les travaux précurseurs de Sheldon et de ses coauteurs (1972), 50 années d'observation ont mis en évidence que cette approche montre une cohérence remarquable des distributions

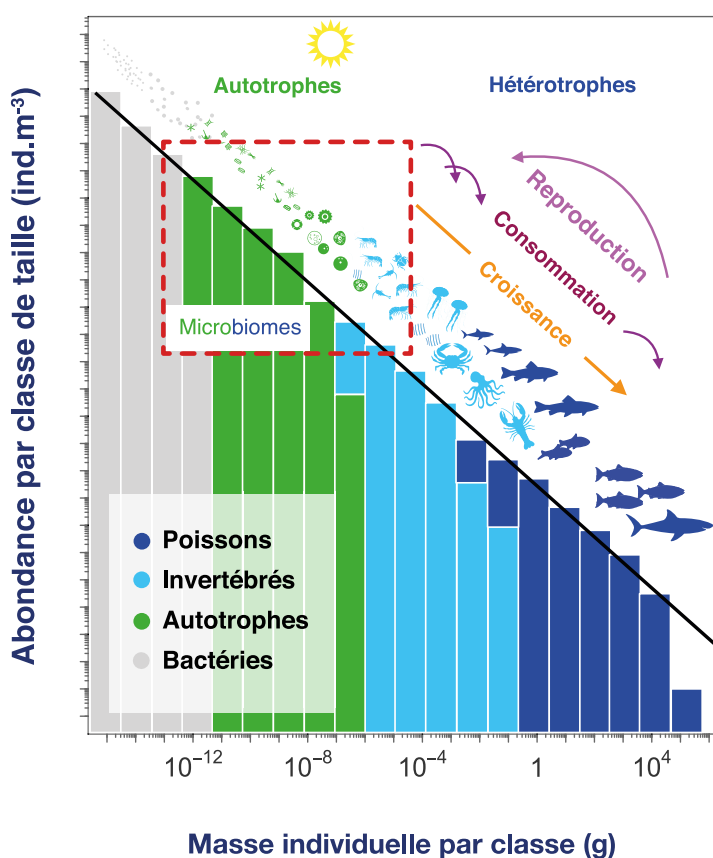


Figure 1 : Illustration conceptuelle des répartitions d'abondance des organismes en fonction de la taille, des bactéries aux poissons (redéfini selon Hatton et al., 2021). Le diagramme montre la diminution de l'abondance à mesure que la taille des organismes augmente et les processus fournissant la biomasse fixée par les producteurs primaires (autotrophes) aux poissons via le zooplancton métazoaire (ici appelé invertébré). La croissance, la consommation et la reproduction font partie des processus actuellement inclus dans le modèle DEB.

de l'abondance ou de la biomasse des organismes par rapport à la taille pour une gamme de tailles allant « des bactéries jusqu'aux baleines » (Fig. 1).

Les nouvelles technologies d'imagerie (Lombard et al., 2019) et la reconnaissance automatisée basée sur l'apprentissage automatique (Irisson et al., 2021) ouvrent une voie prometteuse à l'observation à l'échelle mondiale de la taille corporelle des organismes, et par là même, au développement et à la validation de modèles basés sur la taille. Les modèles écosystémiques actuels résolvant la dynamique du zooplancton en fonction de la taille, n'incluent généralement pas explicitement les poissons. Aucun ne tente réellement de comparer les résultats du modèle avec l'observation, car de telles données font défaut. Un effort important est actuellement fait par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) en partenariat avec le consortium Tara Oceans pour représenter simultanément la dynamique du zooplancton et des poissons, en se basant sur la taille, dans le modèle global de bout en bout APECOSM (Maury et al., 2010) forcé par des facteurs environnementaux (température, oxygène, courants et phytoplancton) à partir du modèle de biogéochimie océanique NEMO-PISCES. Contrairement aux autres modèles, celui-ci relie la dynamique des communautés pélagiques

et mésopélagiques du zooplancton et des poissons par la prédation opportuniste, qui dépend du rapport de taille entre les prédateurs et leurs proies. Les processus physiologiques tels que la croissance, la reproduction et la mortalité sont représentés sur la base de la théorie des budgets d'énergie dynamiques (Dynamic Energy Budget, DEB). Les simulations préliminaires indiquent que la répartition des tailles de zooplancton dans la version actuelle du modèle correspond aux observations faites pendant l'expédition Tara Oceans (Fig. 2). En conséquence, les résultats du modèle actuel, qui résout explicitement le plancton au moyen de deux classes fonctionnelles de phytoplancton et d'un spectre de taille du zooplancton, sont prometteurs et pourraient permettre de mieux comprendre la trophodynamique, depuis le microbiome jusqu'aux poissons. Les prochaines étapes consistent à augmenter davantage la résolution du modèle et/ou à l'appliquer à des cas spécifiques, ou encore à exécuter des scénarios de changement global. Dans le contexte de la gestion écosystémique des pêches, qui devrait tenir compte des conditions environnementales changeantes et incertaines, le développement de modèles axés sur les écosystèmes résolvant la complexité planctonique est d'une grande importance pour une gestion durable des pêches.

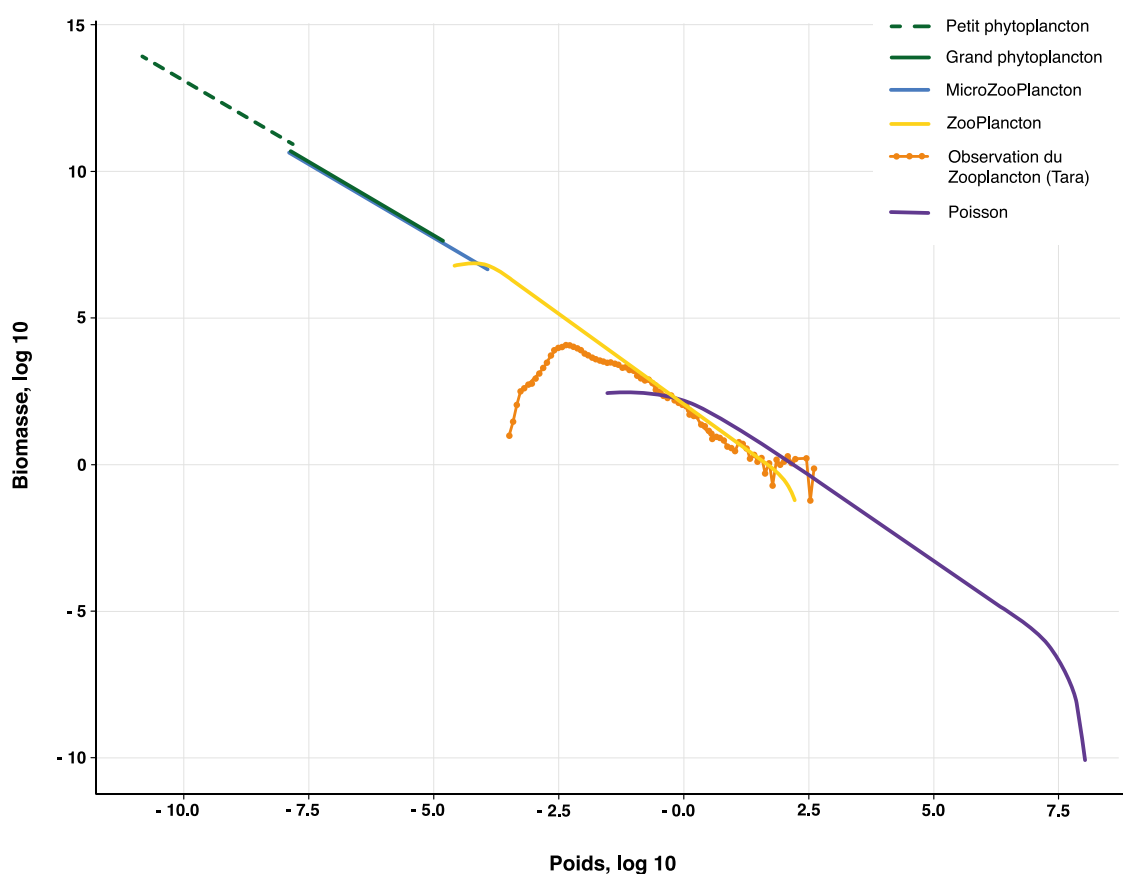


Figure 2: Distribution du spectre des tailles du plancton et des poissons à partir du modèle APECOSM développé par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) en partenariat avec le consortium Tara Oceans. Le zooplancton (jaune) et les communautés de poissons (violet) se nourrissent de proies des niveaux trophiques inférieurs simulés par le modèle NEMO-PISCES (phytoplancton en vert, microzooplancton en bleu). Les données d'observation sur la structure des tailles de zooplancton provenant du jeu de données Tara Oceans sont comparées aux résultats du modèle et représentées en orange.

Théorie des budgets d'énergie dynamiques

La théorie des budgets d'énergie dynamiques (DEB) offre une perspective d'étude des mécanismes d'acquisition et d'utilisation de l'énergie par les individus ayant des conséquences sur l'organisation physiologique et la dynamique des populations et des écosystèmes. Il en résulte que le cycle biologique complet d'un individu (microorganisme, plante ou animal) est suivi dans un environnement changeant. Si nous voulons mieux prévoir les futures tendances en matière de biodiversité, de répartition et d'abondance,

il est important de bien comprendre les mécanismes sous-jacents aux interactions entre les changements de l'environnement physique et les réponses du milieu et des organismes.

Les modèles DEB expliquent, de manière mécanique, comment les facteurs physiques se traduisent par des réponses pertinentes d'un point de vue biologique et écologique, en se basant sur l'hypothèse selon laquelle la nourriture et la température sont les principaux moteurs du système métabolique d'un organisme.





© Maéva Bardy - Fondation Tara Océan - Déploiement de la rosette CTD (conductivity temperature depth) à bord de la goélette Tara

Le programme scientifique Tara Oceans

Depuis 2003, les expéditions scientifiques menées par la Fondation Tara Océan ont contribué à constituer une importante base de données de mesures, exhaustive et libre d'accès, portant sur l'un des premiers composants sous-tendant tous les services fournis par les océans: le plancton. Par le biais de l'approche holistique proposée par le programme scientifique Tara Oceans, cette ressource unique a le potentiel de complètement changer notre compréhension de l'écosystème marin dans son ensemble, tout en faisant progresser les outils nécessaires à l'établissement d'une réglementation en matière de protection de la biodiversité novatrice et fondée sur des données factuelles.

Les récents développements au sein de Tara Oceans et d'autres programmes océanographiques pertinents, utilisant la génomique, l'imagerie à haute définition et la bio-informatique, produisent et analysent un grand nombre de données quantitatives. La taille de millions d'organismes planctoniques a été mesurée dans tous les océans du monde, fournissant les données requises pour adapter les modèles basés sur la taille à une gestion axée sur les écosystèmes. Cette nouvelle exploration scientifique du plancton nous permettra de mieux identifier les corrélations, les fonctions et la symbiose entre organismes et d'estimer les valeurs des services écosystémiques essentiels fournis par le plancton.

3

Les opportunités et défis de l'observation soutenue du plancton

Étant donné l'importance du plancton, les modèles doivent correctement représenter sa dynamique. Comme discuté précédemment, des progrès significatifs ont été faits ou sont en cours afin de mieux modéliser le plancton. Cependant, il existe un manque d'évaluation des modèles, processus selon lequel la sortie des modèles est comparée aux données observées, dans le temps et l'espace, pour évaluer leur performance. Un obstacle majeur réside dans le manque de données d'observation à comparer avec les simulations. De plus, lorsque les observations sont disponibles, celles-ci ne sont généralement pas similaires à la résolution des variables planctoniques modélisées, contrairement à d'autres paramètres facilement mesurés comme la température. Enfin, les données planctoniques sont dans un format très différent de celles

modélisées (abondance d'espèces au lieu de masse d'azote ou de carbone). De nombreuses méthodes qualitatives et quantitatives d'échantillonnage du plancton existent et fournissent des jeux de données hétérogènes, difficiles à comparer, ce qui gêne l'observation synoptique requise pour la modélisation. Heureusement, des progrès dans l'observation globale sont attendus prochainement, le plancton ayant été identifié comme variable essentielle océanique (Essential Ocean Variable, EOVS) dans le cadre du système mondial d'observation de l'Océan (Global Ocean Observing System, GOOS – <https://www.goosocean.org/>) et variable essentielle climatique (Essential Climate Variable, ECV) dans le cadre du système mondial d'observation du climat (Global Climate Observing System, GCOS – <https://gcos.wmo.int/>).

GOOS et GCOS

GOOS est un système collaboratif durable d'observations océaniques englobant des réseaux in situ, des systèmes satellitaires, des gouvernements, des agences des Nations Unies et des scientifiques. GCOS est un système opérationnel à long terme, piloté par l'utilisateur, capable de fournir les observations complètes requises pour surveiller le système climatique. Il permet de détecter et déterminer les causes du changement climatique, évaluer les impacts de la variabilité et du changement climatiques, et soutenir la recherche vers une meilleure compréhension, modélisation et prévision du système climatique. Il aborde le système climatique dans son ensemble, y compris

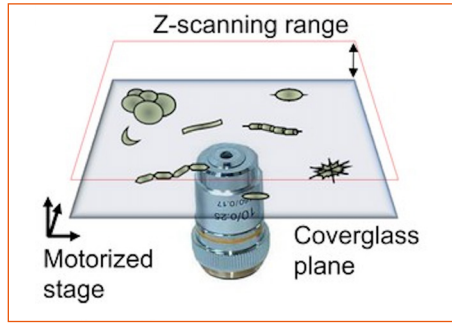
les propriétés physiques, chimiques et biologiques, et les composantes atmosphériques, océaniques, hydrologiques terrestres et cryosphériques (<https://www.ncdc.noaa.gov/gosic/global-climate-observing-system-gcos>). Parmi les méthodes identifiées pour fournir la qualité de données requise figurent les techniques d'imagerie modernes qui livrent d'importants jeux de données d'images du plancton, sur site ou collecté. Associées à des algorithmes d'intelligence artificielle actualisés, ces techniques fournissent des informations sur la composition des communautés planctoniques du microbiome et les plus grands organismes zooplanctoniques.

En ce qui concerne le plancton, l'évaluation du modèle en utilisant des spectres de taille est un choix prometteur. En effet, l'importante masse de données provenant des nouvelles techniques d'imagerie mesurant la taille de chaque individu dans une communauté permettra de facilement comparer les observations aux résultats des modèles de spectre de taille (Fig. 2). C'est l'approche suivie au sein du consortium Tara Oceans en développant des modèles écosystémiques de bout en bout, basés sur la taille, qui représentent le plancton de manière dynamique et dont les résultats sont comparables aux observations des jeux de données

Tara Oceans. La plateforme d'imagerie embarquée à bord de la goélette Tara mesure en continu les variations de l'eau de surface et du plancton qu'elle contient, en tenant compte notamment de la quantité, des tailles, de l'efficacité photosynthétique, et permet également de photographier les échantillons. La plateforme se compose de divers équipements, incluant des filets à plancton et plusieurs systèmes d'imagerie (tels que Flowcam, UVP5/UVP6, ZoosScan) qui permettent de suivre le plancton de différents groupes de taille à une échelle sans précédent et nous renseignent sur la distribution spatio-temporelle de la biomasse et la diversité planctonique (Fig. 4).



© Tara Oceans



© Colin et al., 2017



© Hydroptic



© Fluid Imaging



© LOV

Figure 3: Exemples d'instruments d'optique et d'imagerie utilisés à bord de la goélette scientifique Tara pour étudier la répartition des tailles du plancton et des particules marines. De haut en bas, et de gauche à droite, le cytomètre en flux Accuri, le microscope à au débit, le flowcam, le scanner de laboratoire Zooscan et les caméras in situ UVP5 déployées au moyen d'un câble.

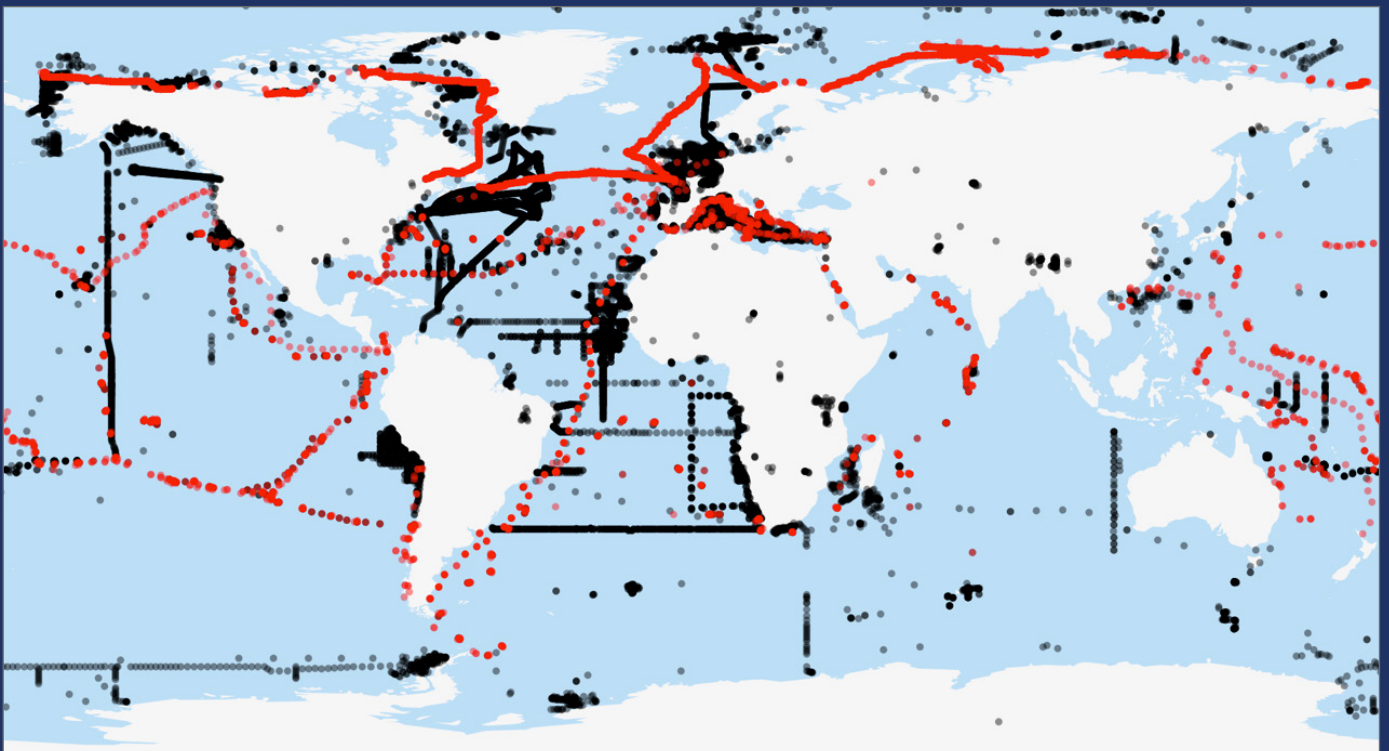


Figure 4: Disponibilité actuelle des données planctoniques obtenues au moyen de divers instruments d'imagerie dans un unique référentiel de données initialement développé pour le programme Tara Oceans (<https://ecotaxa.obs-vlfr.fr/>). Cette base de données héberge plus de 160 000 000 d'images de plancton et de particules marines obtenues au cours des 40 dernières années sur plus de 90 000 sites océaniques. Les sites prélevés lors des différentes expéditions de la goélette Tara depuis 2009 apparaissent en rouge, tandis que ceux prélevés par les institutions partenaires sont représentés en noir. D'autres référentiels sont actuellement en cours de développement dans différents pays.

4

Les moyens de mettre en œuvre des modèles écosystémiques de bout en bout

pour la gestion des pêches

Depuis les années 1980, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), et les instituts nationaux des pêches ont adopté le concept de gestion des pêches basée sur les écosystèmes (ecosystem-based fisheries management, EBFM) et d'approche écosystémique des pêches (AEP) et ont exploré les moyens de les rendre applicables.

Gestion écosystémique

Selon le Conseil national de la recherche des États-Unis en 1998, la gestion écosystémique est « une approche qui prend en compte les principaux composants et services — à la fois structurels et fonctionnels — d'un écosystème dans la gestion des pêches [...] Elle valorise l'habitat, adopte une perspective multi-espèces et s'engage à comprendre les processus écosystémiques [...] Son objectif est de reconstituer et de maintenir les populations, les espèces, les communautés biologiques et les écosystèmes marins à des niveaux élevés de productivité et de diversité biologique afin de ne pas mettre en péril une grande variété de biens et de services assurés par les écosystèmes marins, tout en fournissant de la nourriture, des revenus et des loisirs aux hommes ». Mais à la suite de la Consultation d'experts de la FAO à Reykjavik, la FAO n'a pas adopté ce concept et a défini l'approche éco-

systemique des pêches en 2002 comme: « une extension de la gestion conventionnelle des pêches reconnaissant plus explicitement l'interdépendance entre le bien-être humain et la santé des écosystèmes, et la nécessité de maintenir la productivité des écosystèmes pour les générations présentes et futures (p. ex., en conservant les habitats critiques, en réduisant la pollution et la dégradation, en minimisant les déchets et en protégeant les espèces menacées) ». La Consultation d'experts de la FAO tenue à Reykjavik a convenu que « l'objectif d'une approche écosystémique de la gestion des pêches est de planifier, de développer et de gérer la pêche d'une manière qui réponde à la multiplicité des besoins et des désirs sociétaux, sans compromettre la possibilité pour les générations futures de bénéficier d'une gamme complète de biens et de services fournis par les écosystèmes marins. »

Le besoin de données, la complexité des écosystèmes marins, en particulier en haute mer, la capacité des structures et des administrations de gestion des pêches et le secteur privé ont rendu difficile la mise en œuvre complète et efficace de cette approche. Afin de progresser vers un développement durable des pêches, il est crucial de trouver des moyens d'instaurer une AEP complète qui s'applique à l'ensemble du réseau trophique, y compris les stocks de poissons, le plancton et le microbiome. Pour remplir cet objectif, les organes régionaux des pêches (ORP) ont un rôle primordial à jouer. Ils comprennent 23 organes consultatifs régionaux des pêches et 23 organisations régionales de gestion des pêches (ORGP) couvrant la plupart des océans

et des eaux intérieures du monde. Les ORP sont au premier rang des stratégies et pratiques de gestion des pêches. Grâce à leurs comités scientifiques et techniques, les chercheurs peuvent échanger des idées et promouvoir de nouvelles approches pour la gestion des pêches. Parmi ces organes, le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM), créé en 1902 et doté d'une convention officielle en 1964, est l'organe consultatif pour l'océan Atlantique Nord et les mers adjacentes. Il s'agit de l'organisation de pêche la plus puissante en termes d'expertise scientifique, et certainement l'un des forums les plus adaptés pour promouvoir des approches innovantes de la gestion des pêches. En Afrique de l'Ouest à la Commission

sous-régionale des pêches (CSRP) est l'organe consultatif pertinent pour introduire et discuter des concepts innovants de gestion des pêches. En Afrique de l'Est, la Commission des pêches du sud-ouest de l'océan indien (CPSOOI) a une fonction similaire; en Amérique du Sud, il s'agit de l'Organisation latino-américaine de développement des pêches (Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero, OLDEPESCA). Les organisations régionales de gestion des pêches (ORGP) telles que la Commission générale des pêches pour la Méditerranée (CGPM), la Commission des pêches de l'Atlantique du Nord-Est (CPANE) et l'Organisation des pêches de l'Atlantique nord-ouest (OPANO) sont chargées de gérer les pêches dans leur domaine de compétence, qui peut ne concerner que la haute mer ou inclure également les eaux

relevant de la juridiction nationale. Les ORGP prennent des décisions juridiquement contraignantes qui s'appliquent à leurs membres ou aux parties contractantes. Elles sont chargées de mettre en œuvre l'approche écosystémique des pêches (AEP). Dans le cadre des mesures de gestion des pêches, le concept d'écosystème marin vulnérable (EMV) est désormais largement utilisé. Grâce à la mise en place des EMV, la dégradation d'écosystèmes importants et d'habitats essentiels du poisson peut être évitée. Jusqu'à présent, cette approche a été mise en œuvre pour les pêches de fond (au moyen, par exemple de chalutiers), mais elle pourrait être étendue aux eaux pélagiques et considérer le plancton et le microbiome comme faisant partie intégrante des habitats essentiels du poisson.

Écosystèmes marins vulnérables

Selon la FAO, les écosystèmes marins vulnérables (EMV) sont des groupes d'espèces, des communautés ou des habitats pouvant être vulnérables aux impacts des activités de pêche. La vulnérabilité d'un écosystème est liée à celle de ses peuplements, de ses communautés ou de ses habitats. Les Directives internationales sur la gestion de la pêche profonde en haute mer (FAO, 2009) fournissent des critères détaillés pour identifier les EMV, incluant certaines caractéristiques du cycle biologique telles que: la maturation à un âge relativement avancé, des taux de croissance lents, une longue espérance de vie et un recrutement

faible ou imprévisible. Les communautés et les habitats présentant ces caractéristiques pourraient être des candidats aux EMV et devraient être examinés en vue de l'application de mesures de protection. Les concepts clés liés aux EMV sont la vulnérabilité et des impacts négatifs importants. Le concept d'EMV est appliqué dans le contexte d'une réponse de gestion aux impacts de la pêche profonde en haute mer et sont généralement intégrés dans le processus de gestion des organisations ou dispositions régionales de pêche, bien que les États individuels aient adopté des politiques similaires dans de nombreux cas.



Comité des pêches de la FAO

Le Comité des pêches (Committee on Fisheries, COFI), organe subsidiaire du Conseil de la FAO, a été créé lors de la treizième session de la Conférence de la FAO en 1965. Le comité constitue actuellement le seul forum intergouvernemental mondial au sein duquel les principaux problèmes et enjeux internationaux relatifs à la pêche et à l'aquaculture sont périodiquement examinés à l'échelle mondiale et des recommandations adressées aux gouvernements, aux organes régionaux des pêches, aux ONG, aux travailleurs du secteur de la pêche, à la FAO et à la communauté internationale.

Des accords mondiaux et des instruments juridiquement non contraignants sont également négociés au sein du COFI. Le comité organise sa conférence mondiale tous les deux ans pour discuter des questions de gestion des pêches et mettre en place le plan de travail de la FAO. La réunion du COFI est un cadre approprié pour présenter les méthodes et outils de gestion des pêches, notamment grâce à l'organisation d'événements parallèles. Il facilite le dialogue entre les gestionnaires des pêches, les scientifiques, les organes régionaux des pêches et les ONG.



© Poisson frais en vente sur le marché de Bodrum (Turquie) - GettyImages - 507451209 - Delpixart

À plus grande échelle, la tendance actuelle est d'aborder la gestion des ressources marines de manière intégrée, dans le cadre de l'approche écosystémique. Les organismes environnementaux intergouvernementaux tels que le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et la Convention sur la diversité biologique (CDB) sont de plus en plus impliqués dans les questions relatives au secteur de la pêche à travers diverses approches telles que la planification spatiale marine (PSM) ou les Objectifs de développement durable (ODD). Un certain nombre de groupes de travail rassemblent des scientifiques spécialisés dans la pêche et en biodiversité pour collaborer sur des questions communes telles que les aires marines protégées (AMP) et autres mesures de conservation efficaces par zone (AMCEZ). Par exemple, le Groupe d'experts des pêches de la Commission de la gestion des écosystèmes (CGE) de l'Union internationale pour la conservation de la nature collabore avec la FAO et la CDB sur l'identification des AMCEZ. Ces groupes de travail mixtes sont également pertinents pour discuter d'approches innovantes telles que le modèle écosystémique marin de bout en bout. De plus, le référentiel des zones d'importance écologique et biologique (ZIEB) de la CDB, liste des sites méritant attention, et potentiellement protection, dans tous les océans et mers du monde, serait certainement favorable

à une approche de bout en bout, puisque les critères des ZIEB incluent non seulement la présence d'espèces importantes, mais aussi les fonctions clés soutenues par l'écosystème. La prise en compte du microbiome et du plancton dans l'identification des ZIEB constituerait ainsi un net progrès. Enfin et surtout, les négociations en cours sur la conservation de la biodiversité marine des zones ne relevant pas de la juridiction nationale (biodiversity beyond national jurisdiction, BBNJ) se déroulant dans le cadre de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (CNUDM) préparent le terrain pour de nouvelles approches de gestion des ressources (y compris la pêche), sans remettre en cause les accords existants. Dans ce cadre, un débat est mené sur les outils de gestion par zone (OGZ), notamment les AMP. L'identification des OGZ devra être basée sur des preuves scientifiques robustes. Ni le microbiome ni le plancton ne sont généralement ciblés pour les aires protégées. Toutefois, une approche intégrée et écosystémique permettrait de baser l'identification des zones importantes de biodiversité en haute mer sur la qualité du microbiome et ses fonctions dans la chaîne trophique. Une telle approche innovante rassemblerait les parties prenantes de la haute mer sur le concept de conservation des fonctions écosystémiques plutôt que sur la conservation des espèces ou des habitats.



© Maéva Bardy - Fondation Tara Océan

Références

FAO (2008) Fisheries management. 2. The ecosystem approach to fisheries. 2.1 Best practices in ecosystem modelling for informing an ecosystem approach to fisheries. (Technical Guidelines No. 4, Suppl. 2, Add. 1), FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. FAO, Rome.

Ian A. Hatton, Ryan F. Heneghan, Yinon M. Bar-On, Eric D. Galbraith (2021)

The global ocean size-spectrum from bacteria to whales doi: <https://doi.org/10.1101/2021.04.03.438320>

Irissou J.O., Ayata S.D., Lindsay D.J., Karp-Boss L. and Stemmann L. (2022) Machine Learning for the Study of Plankton and Marine Snow from Images. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 14:18.1–18.25

Lombard, F., E. Boss, A. M. Waite, M. Vogt, J. Uitz, L. Stemmann, H. M. Sosik, J. Schulz, J.-B. Romagnan, M. Picheral, J. Pearlman, M. D. Ohman, B. Niehoff, K. M. Moeller, P. Miloslavich, A. Lara-Lpez, R. Kudela, R. M. Lopes, R. Kiko, L. Karp-Boss, J. S. Jaffe, M. H. Iversen, J.-O. Frisson, K. Fennel, H. Hauss, L. Guidi, G. Gorsky, S. L. C. Giering, P. Gaube, S. Gallager, G. Dubelaar, R. K. Cowen, F. Carlotti, C. Briseno-Avena, L. Berline, K. Benoit-Bird, N. Bax, S. Batten, S. D. Ayata, L. F. Artigas, and W. Appeltans. 2019. Globally Consistent Quantitative Observations of Planktonic Ecosystems. *Frontiers in Marine Science* 6. doi: 10.3119/fmars.2019.00196

Marshak, A.R. and Link, J.S. (2021) Primary production ultimately limits fisheries economic performance. *Sci Rep* 11, 12154, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91599-0>

Maury, O. (2010). An overview of APECOSM, a spatialized mass balanced “Apex Predators ECOSystem Model” to study physiologically structured tuna population dynamics in their ecosystem. *Progress in Oceanography*, 84(1–2), 113–117. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.09.013>

Stock C.A., John J.G., Rykaczewski R.R., Asch R.G., Cheung W.W., Dunne J.P., Friedland K.D., Lam V.W., Sarmiento J.L. and Watson R.A. (2017). Reconciling fisheries catch and ocean productivity. *Proc Natl Acad Sci USA* 114(8): E1441–E1449, PMID: 28115722, doi: 10.1073/pnas.1610238114

UN FAO State of Food Security and Nutrition in the World (Sofia 2020).

La Fondation Tara Océan : explorer et partager

La Fondation Tara Océan, première fondation reconnue d'utilité publique consacrée à l'Océan en France. Elle porte deux missions principales : explorer l'océan pour mieux le comprendre et partager les connaissances scientifiques sur l'océan afin de créer une prise de conscience citoyenne et collective. Depuis 18 ans, elle développe une science de l'Océan ouverte, innovante et inédite qui nous permettra demain de prédire, anticiper et mieux gérer les risques climatiques.

Véritable laboratoire scientifique flottant, la goélette Tara a déjà parcouru plus de 400 000 kilomètres, faisant escale dans plus de 60 pays lors de 4 expéditions majeures, menées en collaboration avec des laboratoires internationaux d'excellence (CNRS, CEA, PSL, EMBL, MIT, NASA...). La Fondation utilise cette expertise scientifique de très haut niveau pour sensibiliser et éduquer les jeunes générations, mobiliser les décideurs politiques au plus haut niveau et permettre aux pays émergents et en développement d'utiliser ce nouveau savoir autour de l'Océan. La Fondation Tara Océan est également Observateur spécial à l'ONU et participe activement aux Objectifs du développement durable de l'Agenda 2030 de l'ONU. Nous souhaitons faire de l'Océan une responsabilité commune. Étudier et protéger l'Océan c'est prendre soin du système global de notre planète.

www.fondationtaraocean.org

L'expédition et le programme de recherche Tara Oceans

Initiée par la Fondation Tara Océan et le biologiste cellulaire et marin Eric Karsenti (Laboratoire de Biologie Moléculaire Européen - EMBL/CNRS), l'expédition Tara Oceans a permis de fédérer différents laboratoires internationaux et spécialités scientifiques dans un projet ambitieux : établir à l'échelle planétaire la première description biologique complète des organismes planctoniques jusqu'à 1 000 m de profondeur.

Pendant 4 ans (2009-2013), la goélette *Tara* et les 25 laboratoires associés ont sillonné les mers du globe, y compris l'Arctique et l'Antarctique, et collecté 35 000 échantillons de virus, de bactéries, d'algues et de zooplanctons. Grâce à la mobilisation des dernières technologies disponibles (séquençage génétique à haut débit, imagerie microscopique à haut débit, bio-informatique, intelligence artificielle, etc.), l'expédition a permis de grandes avancées. C'est à ce jour le plus grand effort de séquençage génétique jamais réalisé sur les organismes marins, mettant en évidence une majorité d'espèces, et aussi de gènes microbiens inconnus jusque-là. Depuis 2015, le programme de recherche Tara Oceans a généré directement et indirectement près de 300 publications dont une trentaine majeures dans les revues *Nature*, *Science*, *Cell*, etc. Les données Tara Oceans sont en accès libre à l'Institut européen de bio-informatique (EBI), EuroBioImaging et sur Pangaea pour la communauté scientifique internationale et constituent aujourd'hui une référence pour la biodiversité planctonique marine pour mieux comprendre sa répartition, son évolution et son adaptation.

Cette exploration inédite par son échelle et son approche holistique a également contribué à faire prendre conscience le grand public de la fascinante beauté de cette diversité d'espèces invisibles, et de leur importance dans les grands équilibres de la vie sur Terre. Une Fédération de recherche CNRS Tara Oceans fut créée en 2020 pour soutenir et valoriser cette interdisciplinarité rare.



© Sacha Bollet - Fondation Tara Océan

Chiffres clés:

- 35 000 échantillons prélevés partout dans le monde pendant 4 ans (2009-2013)
- 25 laboratoires partenaires, 250 scientifiques issus de nombreux pays
- 12 disciplines impliquées dans le projet
- 150 millions de nouveaux gènes analysés et séquencés
- 130 000 nouvelles espèces marines microscopiques découvertes
- 150 publications du consortium dans les revues les plus prestigieuses (Science, Nature, etc.)
- Près de 200 000 types de virus révélés soit 97 % de notre connaissance

Le projet Plancton océanique, climat et développement porté par le Fonds français pour l'environnement mondial et la Fondation Tara Océan

Ce document a été produit par la Fondation Tara Océan, avec le soutien du Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM) dans le cadre du projet Plancton océanique, climat et développement porté qui a débuté en 2016. Le FFEM est un fonds public qui finance des projets dans les pays émergents et en développement qui concilient la préservation de l'environnement, le développement des territoires et le renforcement de leur résilience face aux changements climatiques. Le projet a pour objectif de **structurer un programme de recherche et de plaidoyer dans le domaine des écosystèmes océaniques pour renforcer les capacités des pays à répondre à leurs enjeux de développement et de gouvernance de l'Océan** à l'échelle locale, régionale et internationale, notamment en haute mer.

www.ffem.fr



Fondation
taraocéan
explorer et partager

 **FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL**

 **SORBONNE
UNIVERSITÉ**
CRÉATEURS DE FUTURS
DEPUIS 1257

 **LOV**

 **marbec**
marine biodiversité
exploitation & conservation

 **Institut de Recherche
pour le Développement
FRANCE**

8 rue de Prague, 75012 Paris, France / www.fondationtaraocéan.org

Ce document a été réalisé avec le soutien du Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM)